ДОРОГИЕ ДРУЗЬЯ!

Вы держите в руках сборник, в который вошли лучшие статьи участников Научно-образовательного соревнования молодых исследователей «Шаг в будущее, Москва», проходившего 16-20 марта 2015 года в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Статьи подготовлены школьниками в рамках конкурса проектных работ и публикуются в авторской редакции.

Основной задачей научно-образовательного соревнования «Шаг в будущее, Москва» является выявление и вовлечение в научно-исследовательскую работу, в сферу инженерного творчества учащихся образовательных учреждений, организация сотрудничества исследователей и ученых разных поколений, создание специальных условий в стенах МГТУ им. Н.Э. Баумана для воспитания профессионально-ориентированной, склонной к научной работе молодежи, осуществление комплексного подхода к оценке интеллектуального и творческого потенциала будущего студента. «Шаг в будущее, Москва» является уникальным методом профессиональной подготовки, которая осуществляется круглогодично в научно-исследовательских лабораториях школьников, созданных на базе кафедр Университета и ведущих предприятий Москвы, и индивидуально с преподавателями МГТУ им. Н.Э. Баумана, которые выступают в качестве научных руководителей в течение одного, двух и более лет.

Результатом такой подготовки становится научно-исследовательская работа, оформленная в соответствии с требованиями, соизмеримыми с требованиями на курсовые работы и отчеты по НИР, и представляемая для публичной защиты на научных секциях конференции, которые проводятся на кафедрах МГТУ им. Н.Э. Баумана при участии ведущих преподавателей, ученых и специалистов. Научными направлениями конференции являются: Машиностроительные технологии; Информатика и системы управления; Радио-опто-электроника; Биомедицинская техника; Специальное машиностроение, Энергетика и экология, Автоматизация, робототехника и механика; Инженерный бизнес и менеджмент; Фундаментальные науки; Образовательно-реабилитационные технологии.

В рамках ежегодного научно-образовательного соревнования проводится: Выставка-конкурс программных разработок, которая за многие годы своего существования стала традиционным смотром достижений школьников, увлеченных захватывающим процессом создания компьютерных программ, и доказала свою состоятельность оригинальностью и новизной программных продуктов, участвовавших в Выставке и использовавшихся в дальнейшем в научных работах, учебном процессе, коммерческой реализации. Также проводились региональные и окружные научные

конференции, экскурсии на ведущие предприятия Москвы и в музей МГТУ им. Н.Э. Баумана, научно-методические совещания и семинары для профессиональных работников, другие интеллектуальные и творческие мероприятия.

Благодаря научно-образовательной и профессионально-ориентированной подготовке на базе научно-исследовательской работы молодежи в стенах МГТУ им. Н.Э. Баумана, наша страна получает целеустремленных и энергичных молодых специалистов, способных создавать высокие технологии, новую технику, проводить фундаментальные научные разработки.

Научно-образовательное соревнование «Шаг в будущее, Москва» носит не только научный, образовательный и социальный характер, но представляет собой соревнование, на котором выбираются победители в различных номинациях. Всем участникам вручаются свидетельства участника научно-образовательного соревнования. Победители на торжественном закрытии награждаются дипломами и ценными подарками от МГТУ им. Н.Э. Баумана, промышленных предприятий и спонсоров.

Такая система непрерывных профессиональных образовательных технологий «школа-вуз» направлена на решение проблем, стоящих перед системой образования:

- устойчивая мотивация к приобретению профессиональных знаний в выбранной области, основанная на практической деятельности под руководством преподавателей вузов;
- ранняя активная и осознанная профессиональная ориентация;
- развитие сопровождающей научно-исследовательской и профессиональной подготовки в общеобразовательных учреждениях;
- разработка новых методик и новых обучающих технологий для развития современного образования.

В рамках мероприятий Центра довузовской подготовки проводится цикл научно-методических семинаров «Инженер – профессия творческая» для учителей, профессиональных работников, преподавателей, заместителей директоров образовательных учреждений по научной работе, представителей органов управления образованием и других заинтересованных лиц, занимающихся организацией научно-исследовательской деятельности молодежи.

Организаторы программы и составители данного сборника надеются, что такая форма работы заинтересует учителей и преподавателей учебных заведений Москвы и Московской области и поможет успешному развитию творческих возможностей довузовской молодежи в сфере научно-технической деятельности.

СОДЕРЖАНИЕ:

СЕКЦИЯ VII. Специальное машиностроение……8

Бородина И.В., Артемова М.О.
Разработка пистолета-пулемета с отсечкой очереди……...8

Григулецкий М.А., Котов Е.А.
Робот-исследователь оптимального места установки ветрогенератора……...……32

Наумова А.Я., Машков К.Ю.
Многофункциональное роботизированное базовое шасси……55

Терницкий Е.П., Смирнов А.А.
Разработка балансирующего двухколесного транспортного средства……75

СЕКЦИЯ VIII. Энергетика и экология……109

Метельков И.А., Зенкин В.А.
Программа для эскизного проектирования цилиндропоршневой группы
дизельного двигателя внутреннего сгорания ……...109

Фролов И.Д., Иванов В.Л.
Использование защитных покрытий в газовых турбинах…….…….138

Куркин Н.А., Шевич Ю.А.
Усовершенствование экологического холодильника «Пот ин пот»…….……..195

Саркисян А.П., Очков А.А.
Расчет и изготовление конструкции аэрографа……222

Станишевский Г.Ю , *Марков П.В.*
Возможность использования термоэлектрического преобразователя
в составе АСММ……...……..243

Соколюк В.В., Галахова О.Б.
Исследование активности почвенных микробных сообществ в условиях
воздействия на них ароматических соединений…….……..270

Костомаров К.К., Акинфиев А.А.
Разработка и изготовление комплекта для измерения давления в
гидросистемах…….…….296

СЕКЦИЯ IX. Автоматизация, робототехника и механика ……..…324

Ковтун А.С., Зуев В.А.
Разработка принципов логистической концепции космических станций и летательных аппаратов……...324

Демин К.В., Чернятин А.С.
Численное-аналитическое моделирование деформирования систем, Работающих на изгиб в условиях развитых пластических зон……..….358

.

Туровецкий М.В., Федорук В.Г.
Интеграция контроллера Leap Motion в системы моделирования …….……...385

Подлесный Д.А., Гаврюшин С.С.
Робот-инспектор по поиску дефектов в магистральных трубопроводах…….…….404

СЕКЦИЯ X. Инженерный бизнес и менеджмент …….429

Лёвина И.В., Клементьева С.В.
Оценка экономической эффективности различных вариантов тары для упаковки соков …….429

Задорожный Е.Н., Клементьева С.В.
Оценка эффективности использования альтернативных источников энергии на территории Российской Федерации……..…455

Кутикина А.В., Омельченко И.Н.
Система маркетинга и ориентация на потребителя…….469

Середина Д.О., Омельченко И.Н.
Логистическо-ориентированный анализ ООО «Военно-промышленная компания»…….…..507

Сосенко Н.С., Ляхович Д.Г.
Совершенствование маркетинговой модели наукоемкого предприятия с целью обеспечения импортозамещения на российском рынке (на примере ОАО «ВНИИКП», Кабельная промышленность)……514

Смирнова К.В., Малинин В.Л.

Проведение исследований и расчетов для формирования пакета документации инновационного стартапа на примере проекта «Cake print»……551

Дюндюков М.С., Соколов Е.В.
Услуги в системе обязательного медицинского страхования..……..……574

Абрамова Е.А., Иванов П.Д.
Внедрение автономного теплоснабжения в гражданском строительстве РФ ….……595

Курбатов Ф.А., Александров Д.В.
Разработка бизнес-плана по созданию носимой электроники типа «Навигационный кулон» ……..625

Лысый Д.Ю., Филобокова Л.Ю.
Малоэтажное строительство в сельской местности ……..……..643

СЕКЦИЯ XI. Фундаментальные науки……..……660

Локтионова О.А., Ткачев С.Б.
Применение регулярной грамматики для управления перемещением колесного робота ……..…..660

Радько П.И., Юрасов Н.И.
Изучение влияния структуры глобулярного фотонного кристалла (ГФК) на его оптические характеристики……691

,

СЕКЦИЯ XII. Конструкторская секция

Петрова А.Н., Маркарова М.Б.
Модернизация узла управления элеронами ……..711

СЕКЦИЯ VII. Специальное машиностроение

Разработка пистолета-пулемета с отсечкой очереди

БОРОДИНА Ирина Вадимовна
р.п. Львовский, МОУ СОШ №4, 11 класс

Научный руководитель:
Артемова Марина Олеговна,
к.т.н., доцент кафедры
«Ракетные и импульсные системы»
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Введение.

Целью работы является повышение эффективности стрельбы пистолета-пулемета (ПП) путем введения дополнительного вида огня (отсечка очереди по два выстрела), что позволит вести прицельную стрельбу с высокой кучностью и низким расходом боеприпасов. Для этого решались задачи:

- анализ существующих образцов ПП, предназначенных как для войсковых подразделений, так и для полицейских отрядов и спецчастей;
- составление циклограммы работы частей автоматики;
- расчет передаточных чисел и коэффициентов полезного действия взаимодействующих деталей;
- расчет автоматики ПП: приведенных масс и сил, скоростей и перемещений основного звена;
- модернизация ПП путем введения отсечки очереди;

- разработка ударно-спускового механизма, позволяющего вести стрельбу одиночным, автоматическим огнем и отсечкой очереди.

ПП является индивидуальным оружием ближнего боя и используется наравне с пистолетами и автоматами для решения целого перечня различных задач, как для войсковых подразделений, так и для полицейских отрядов и спецчастей, что накладывает на конструкцию данного вида вооружения определенные требования.

Развитие и внедрение ПП является актуальным, поскольку по сравнению с пистолетами и автоматами он имеет ряд существенных преимуществ.

Так, например, в отличие от пистолета ПП имеет возможность создания высокой кучность огня, что повышает площадь поражения мишени и, как следствие, вероятность поражения цели. И даже такой недостаток, как больший вес оружия, по сравнению с пистолетом компенсируется большей устойчивостью оружия при стрельбе, поскольку данные системы ведут стрельбу патронами одинаковой мощности.

В свою очередь автоматы позволяют вести одиночную и автоматическую стрельбу на большие дальности по сравнению с ПП и пистолетами, что связанно с применением более мощных автоматных патронов. Однако главные задачи, особенно спецслужб и полицейских подразделений, зачастую состоят не в необходимости поразить мишень, а осуществить останавливающее действие на небольших дистанциях. Поэтому применение

пистолетных патронов с большим останавливающим действием по сравнению с автоматными является скорее преимуществом, чем недостатком. В том числе по сравнению с автоматами ПП отличается компактностью и значительно меньшим весом, что позволяет осуществить, в том числе, скрытное ношение оружия. И не стоит забывать о жестких требованиях на габариты для индивидуального оружия, используемого экипажами танков и боевых машин, которые легко решаются с помощью применения ПП.

Однако целью работы является не только разработка ПП, отвечающего данным требованиям, но и его модернизация. Связанно это с тем, что современные ПП позволяют вести стрельбу только одиночной либо автоматической очередью.

Как известно, преимуществом одиночной стрельбы является возможность ведения прицельной стрельбы с эффективным расходом боеприпасов. Однако в случае промаха требуется затрата значительного времени на переприцеливание, что не гарантирует попадания в цель, особенно в случае движения ее со значительной скоростью. Данный недостаток компенсируется возможностью ведения стрельбы автоматическим огнем. Автоматическая стрельба также позволяет получить значительную площадь поражения мишени. Однако при воздействии значительных сил отдачи происходит увод оружия с первоначальной прицельной линии и промаха всех выстрелов очереди. Следующим недостатком автоматической стрельбы является большой расход боеприпасов за

короткий промежуток времени, что в свою очередь грозит стрелку остаться без возможности защиты и нападения при отсутствии дополнительного боекомплекта.

Отсечка очереди сочетает в себе наилучшие черты одиночной и автоматической стрельбы, то есть возможность вести прицельную стрельбу с высокой кучностью. Также она гарантирует повышение эффективности стрельбы, создание площади поражения, возможность вести прицельную стрельбу высоким темпом, возможность переприцеливания.

Помимо этого, отсечка поможет стрелку концентрироваться на самой стрельбе, а не на том, чтобы следить за использованием патронов с ручной отсечкой при автоматической стрельбе.

Анализ существующих образцов пистолетов-пулеметов приведен в табл. 1. В таблице представлены основные ПП и их технические характеристики. Как видно, ПП ранее разрабатывали по схеме свободный затвор. К ним относятся ППД, ППШ, ППС, ПП Коровина и др. Однако, недостатком схемы со свободным затвором является нагруженная гильза и для соблюдения ее прочности необходимо введение большой массы подвижных частей, т.е. затвора, и, как следствие, происходят значительные удары в крайнем переднем и заднем положениях. Введение большой массы ведет к низким скоростям движения подвижных частей и, как следствие, низкому темпу стрельбы (ППШ, ПП Коровина, ППС).

Таблица 1. Данные существующих образцов пистолетов-пулеметов.

Название	Страна	Принцип работы автоматики	Калибр, мм	Вес, кг	Длина, мм	Темп стрельбы	Емкость магазина
ППД-34	СССР	СЗ	7,62х25	3.63	788	800	71/25
ППШ-41	СССР	СЗ	7,62х25	3,63	843	900	71/35
ППС-43	СССР	СЗ	7,62х25	3,04	615 / 820	700	35
ППШ-2	СССР	СЗ	7.62х25	3.4	810	550	35
ПП Коровина 1941	СССР	СЗ	7.62х25	3,52	913 / 682	500	35
ПП-19	Россия	СЗ	9х18 7.62х25 9х19	2,1	425 / 660	600-700	64
ПП-19-01	Россия	СЗ	9х19	3,0	460 / 698	750	30
ПП-90	Россия	СЗ	9х18	1,83	485 270 Х 90 Х 32	600-800	30
ПП-91	Россия	СЗ	9х18	1,55	530 / 305	1000	20/30
ПП-93	Россия	СЗ	9×18	1,47	325 / 577	600 - 800	20/30
ПП-93 ПП-90М1	Россия	СЗ	9х19	1,7	424 / 620	500	32/64

ПП-2000	Россия	СЗ	9х19	1.4	340 / 582	600	20/30
АЕК-919 К	Россия	СЗ	9х18	1.65	325 / 485	900	20/30
ОЦ-02	Россия	СЗ	9х18	1,57	590 / 317	900	20/30
СР2М	**Россия**	**ГД**	**9х21**	**1,61**	**367 / 603**	**900**	**20/30**
К6-92	Армения /Россия	СЗ	9х18	1.96	370 / 700		17/25/30

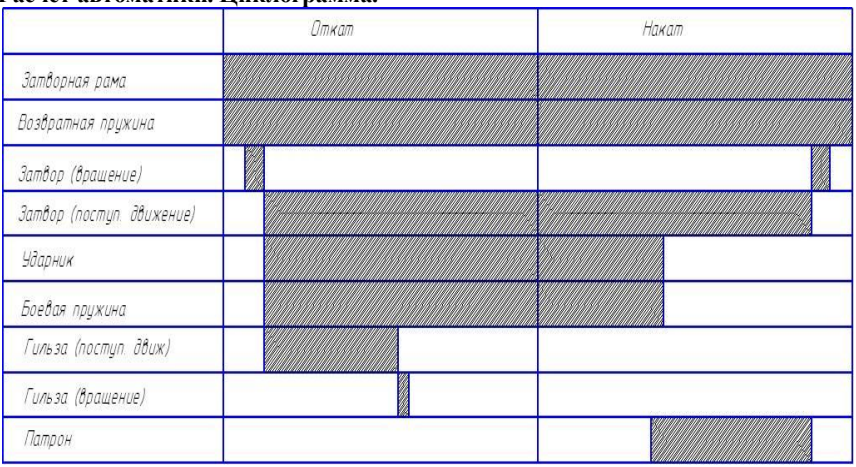
Поднятие темпа стрельбы связано с разрывами гильз при стрельбе, поскольку свободный затвор никак не связан со стволом и удерживает гильзу только собственной массой. Еще одним недостатком систем со свободным затвором являются различные скорости движения подвижных частей и, как следствие, различный темп стрельбы для внешних условий стрельбы. Как известно, требованием военных к оружию является ведение стрельбы в следующем диапазоне температур: от +50 до -50 град. С. При низкой температуре темп стрельбы будет значительно ниже, а при высокой будет ощутимо возрастать. Связано это с горением пороха и внутренней баллистикой оружия. Кроме того, при высокой температуре гильза сильно нагружена и будут ожидаться ее разрывы. Поэтому основной идеей в ПП СР2М было применение газового двигателя, как в автоматных схемах. Данные системы

снабжены простым механическим регулятором газового двигателя и решают недостатки, описанные выше.

Однако это усложняет конструкцию и изготовление образца, поэтому вторым направлением развития является применение свободного затвора с простейшей конструкцией – ПП-90, АЕК и др. Кроме того, из таблицы видно, что разработчики увеличивают темп стрельбы. Так, например, 550, 700, 800 выстр./мин. - у образцов 40-х годов и 900, 1000 выстр./мин. - у современных образцов.

Мною для модернизации был выбран образец СР2М с высоким темпом стрельбы и газоотводом. Он имеет малую массу оружия в целом. Подготовка исходных данных для расчета автоматики (рис. 1, 2).

Расчет автоматики. Циклограмма.



Массовые характеристики

№	Название элемента	Масса, кг
1	Затворная рама	0,16
2	Затвор	0,03
3	Возвратная пружина	0,27
4	Ударник	0,01
5	Боевая пружина	0,006
6	Гильза	0,04
7	Патрон	0,011

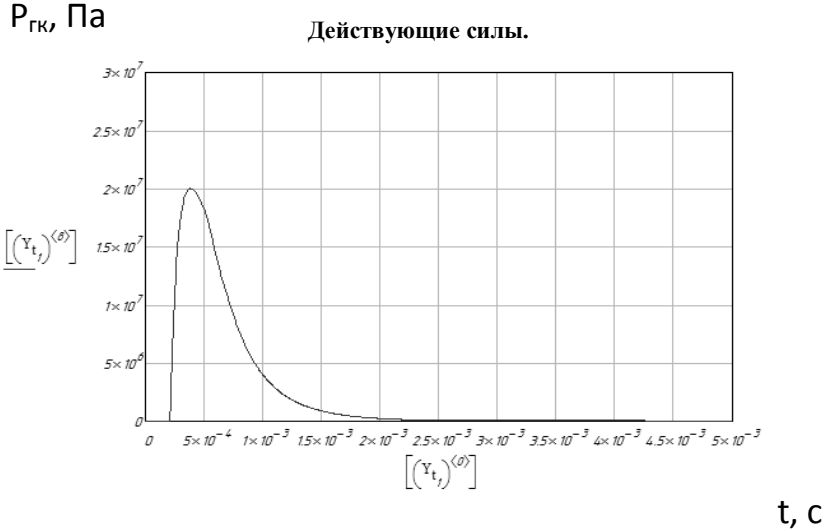


Рис. 1. Сила давления в газовом двигателе.

Отпирание/запирание:

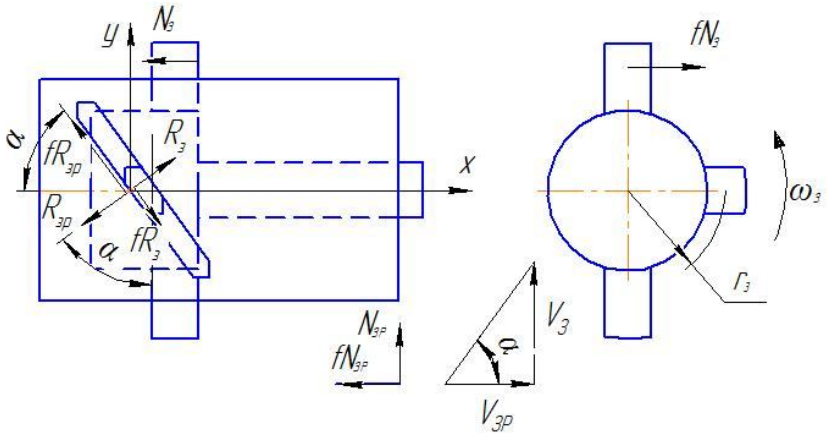


Рис. 2. Расчетная схема отпирания затвора.

Расчет передаточных чисел и коэффициентов полезного действия.

$$\alpha = 35°;\ r_э = 0.016;\ f = 0.1$$

$$æ_э = \frac{\omega_э}{V_{эр}}$$

$$\omega_э = \frac{V_э}{r_э}$$

$$V_э = V_{эр} tg\alpha$$

$$\omega_э = \frac{V_{эр} tg\alpha}{r_э}$$

$æ_з = \frac{V_{зр} tg\alpha}{r_з V_{зр}} = \frac{tg\alpha}{r_з} = \frac{tg35^\circ}{0.016} = 43.8$ (1/м)- Передаточное число связи.

Сумма проекций реакций, действующих на затворную раму, на направление движения затворной рамы – ось X:

$\sum R_{зр} = R \cdot sin\alpha + f \cdot R \cdot cos\alpha + f(R \cdot cos\alpha + f \cdot R \cdot sin\alpha) = R \cdot [sin\alpha \cdot (1 + f^2) + 2f \cdot cos\alpha]$

.

Сумма проекций моментов, действующих на затвор, на направление движения затворной рамы – ось Y:

$\sum M_з = r_з \cdot R \cdot cos\alpha - r_з \cdot f \cdot R \cdot sin\alpha - r_з \cdot f(R \cdot sin\alpha + f \cdot R \cdot cos\alpha) = r_з \cdot R \cdot [cos\alpha \cdot (1 - f^2) - 2f \cdot sin\alpha]$

.

$\frac{æ_з}{\eta_з} = \frac{\sum R_{зр}}{\sum M_з} = \frac{R \cdot [sin\alpha \cdot (1+f^2) + 2f \cdot cos\alpha]}{r_з \cdot R \cdot [cos\alpha \cdot (1-f^2) - 2f \cdot sin\alpha]} = \frac{sin\alpha \cdot (1+f^2) + 2f \cdot cos\alpha}{r_з \cdot (cos\alpha \cdot (1-f^2) - 2f \cdot sin\alpha)}$

- Коэффициент приведенных сил.

$\eta_з = æ_з \cdot r_з \cdot \frac{cos\alpha \cdot (1-f^2) - 2f \cdot sin\alpha}{sin\alpha \cdot (1-f^2) + 2f \cdot cos\alpha} = \frac{tg\alpha}{r_з} \cdot r_з \cdot \frac{cos\alpha \cdot (1-f^2) - 2f \cdot sin\alpha}{sin\alpha \cdot (1-f^2) + 2f \cdot cos\alpha}$

=

$= tg\alpha \cdot \frac{cos\alpha \cdot (1-f^2) - 2f \cdot sin\alpha}{sin\alpha \cdot (1-f^2) + 2f \cdot cos\alpha}$- КПД связи

$\eta_з = tg38^\circ \cdot \frac{cos35^\circ \cdot (1-0{,}1^2) - 2 \cdot 0.1 \cdot sin35^\circ}{sin35^\circ \cdot (1-0{,}1^2) + 2 \cdot 0.1 \cdot cos35^\circ} = 0.654$

$\frac{æ_з}{\eta_з} = \frac{43.8}{0{,}654} = 66.97$

$\frac{æ_з^2}{m_з} = \frac{43.8^2}{0,654} = 2933.39$ - Коэффициент приведенных масс

Отражение гильзы (рис. 3).

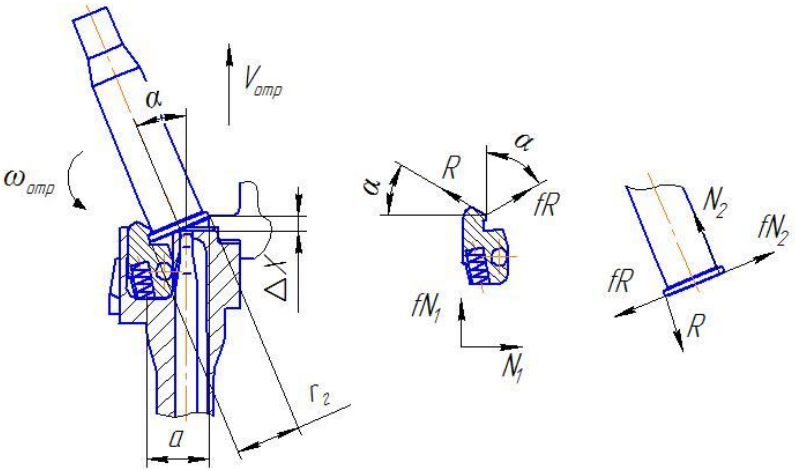


Рис. 3. Схема отражения гильзы.

$r_г = 0.005; \alpha = 20°.$

$æ_{отр} = \frac{\omega_г}{V_з}$

$\omega_г = \frac{V_г}{r_г}$

$V_з = V_г \cdot cos\alpha$

$V_г = \frac{V_з}{cos\alpha}$

$$æ_{отр} = \frac{V_з}{r_г \cdot V_з \cdot cos\alpha} = \frac{1}{r_г \cdot cos\alpha} = \frac{1}{0.005 \cdot cos20^\circ} = 21.28\ (1/м)$$ -

Передаточное число связи

Сумма проекций реакций, действующих на гильзу – ось X:

$$\sum R_г = R \cdot cos\alpha + f \cdot R \cdot sin\alpha$$

Сумма проекций реакций, действующих на затвор – ось Y:

$$\sum R_з = -f \cdot N_1 + f \cdot R \cdot sin\alpha + R \cdot cos\alpha$$

$$N_1 = R \cdot sin\alpha - f \cdot R \cdot cos\alpha$$

$$N_2 = R$$

$$\sum R_з = -f \cdot (R \cdot sin\alpha - f \cdot R \cdot cos\alpha) + f \cdot R \cdot sin\alpha + R \cdot cos\alpha = -f \cdot R \cdot sin\alpha + f^2 \cdot R \cdot cos\alpha + f \cdot R \cdot sin\alpha + R \cdot cos\alpha = R \cdot cos\alpha \cdot (1 + f^2)$$

$$\frac{æ_{отр}}{\eta_{Отр}} = \frac{\sum R}{\sum M} = \frac{R \cdot cos\alpha + f \cdot R \cdot sin\alpha + R \cdot cos\alpha \cdot (1 + f^2)}{N_2 \cdot r_г + N_2 \cdot r_г} = \frac{R\,(cos\alpha + f \cdot sin\alpha + cos\alpha \cdot (1 + f^2))}{R \cdot 2r_г} = \frac{cos\alpha \cdot (2 + f^2) + f \cdot sin\alpha}{d_г}$$

- Коэффициент приведенных сил

$$\frac{æ_{отр}}{\eta_{Отр}} = \frac{cos20^\circ \cdot (2 + 0.1^2) + 0.1 \cdot sin20^\circ}{0.01} = 192.3$$

$$\eta_{Отр} = \frac{\sum M}{\sum R} \cdot æ_{отр} = \frac{d_г}{cos\alpha \cdot (2 + f^2) + f \cdot sin\alpha} \cdot æ_{отр} = \frac{0.01}{cos20^\circ \cdot (2 + 0.1^2) + 0.1 \cdot sin20} \cdot 21.28 = 0.111$$

- КПД связи

$$\frac{æ^2_{Отр}}{\eta_{Отр}} = \frac{21.8^2}{0.111} = 4281$$ - Коэффициент приведенных масс

Расчет приведенных масс.

Приведенные массы определяем по формулам:

$$M_{пр} = M_0 + \sum_{i=1}^{n} J_i \frac{\omega_i^2}{\eta_i} - \text{для звеньев имеющих вращательное движение;}$$

$$M_{пр} = M_0 + \sum_{i=1}^{n} M_i \frac{v_i^2}{\eta_i} - \text{для звеньев имеющих поступательное движение;}$$

Где $M_i - \text{масса } i - \text{ого рабочего звена;}$

J_i – момент $i - \text{ого рабочего}$ инерции звена;

Звеном приведения считаем затворную раму.

Вычисление приведенной массы во время отката по участкам

Распределение масс по участкам отката представлены в табл. 2 и на рис. 4.

Таблица 2. Распределение масс по участкам отката.

№ участка	Длина участка, мм.	Что происходит
1.	0…7	Свободный ход
2.	7…13	Отпирание затвора
3.	13…5	Поступательное движение затвора+ присоединение ударника+ пост. Движение гильзы
4.	59…61	Экстракция гильзы
5.	61…96	Свободный ход

№ участка	Масса, кг
1.	$M_{Пр1} = M_0 + \frac{1}{3}M_в = 0,16 + 0,009 = 0,169$
2.	$M_{Пр2} = M_0 + \frac{1}{3}M_в + J_к \cdot \frac{\omega_2^2}{\eta_з} == 0,16 + 0,009 + 0.1126 = 0,281$
3.	$M_{Пр3} = M_0 + \frac{1}{3}M_в + M_з + M_т + \frac{1}{3}M_з + M_{уд} = 0.16 + 0.009 + 0.03 + 0.01 + 0.002 + 0.004 = 0.215$
4.	$M_{Пр4} = M_0 + \frac{1}{3}M_в + M_з + \frac{1}{3}M_б + M_{уд} + J_г \cdot \frac{\omega_г^2}{\eta_г} = -0.16 + 0.009 + 0.03 + 0.01 + 0.002 + 0,002336 - 0,214$
5.	$M_{Пр5} = M_0 + \frac{1}{3}M_в + M_{уд} + M_с + \frac{1}{3}M_б = 0.16 + 0.03 + 0.009 + 0.01 + 0.002 = 0.211$

Рис. 4. Изменение приведенной массы в период отката.

Вычисление приведенной массы во время наката по участкам

Распределение масс по участкам наката представлено в табл. 3 и на рис. 5.

Таблица 3. Распределение масс по участкам наката.

№ участка	Длина участка, мм	Что происходит
1.	96…60	Свободный ход
2.	60…57	Досылание патрона
3.	57…13	Досылание патрона
4.	13…7	Запирание
5.	7…0	Свободный ход

№ участка	Масса, кг
1.	$M_{Пр1} = M_0 + \frac{1}{3}M_в + M_{уп} + M_0 + \frac{1}{3}M_б = 0.16 + 0.03 + 0.009 + 0.01 + 0.002 = 0.211$
2.	$M_{Пр2} = M_ч + \frac{1}{3}M_в + M_з + M_{уп} + \frac{1}{3}M_р + M_т = 0.16 + 0.03 + 0.009 + 0.01 + 0.002 + 0.011 = 0.222$
3.	$M_{Пр3} = M_0 + \frac{1}{3}M_в + M_з + M_п = 0.16 + 0.03 + 0.009 + 0.011 = 0.21$
4.	$M_{Пр4} = M_0 + \frac{1}{3}M_в + J_з \cdot \frac{в_з^2}{r_в} = 0,16 + 0,009 + 0.1126 = 0,2816$
5	$M_{Пр5} = M_0 + \frac{1}{3}M_в = 0,16 + 0,009 = 0.169$

Рис. 5. Изменение приведенной массы в период наката.

Расчет автоматики.

Уравнение движения основного звена в период отката:

$$\mathrm{M}_{\mathrm{пр}} \frac{dV}{dt} = p_{\mathrm{гд}} \cdot S_{\mathrm{п}} - \Pi_{\mathrm{пр}}$$

$$\frac{dx}{dt} = V$$

Силой сопротивления пружины по сравнению с силой $p_{\mathrm{гд}} \cdot S_{\mathrm{п}}$ пренебрегаем.

Уравнение движения основного звена в период наката:

$$\mathrm{M}_{\mathrm{пр}} \frac{dV}{dt} = \Pi_{\mathrm{пр}}$$

$$\frac{dx}{dt} = V$$

Результаты расчета представлены на рис. 6 - 9.

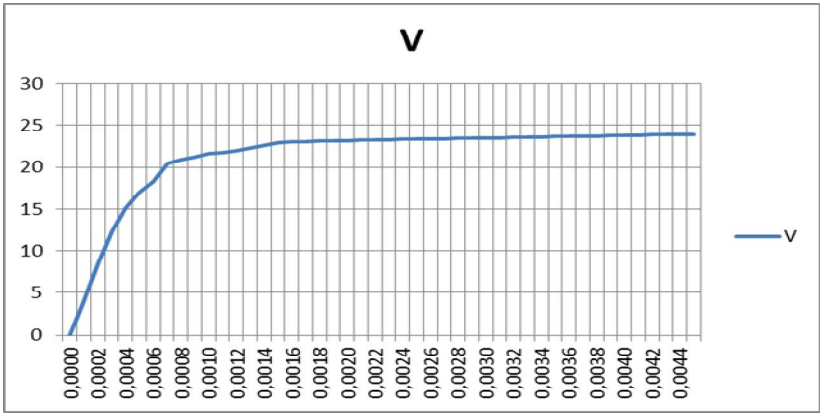


Рис. 6. Изменение скорости основного звена в период отката.

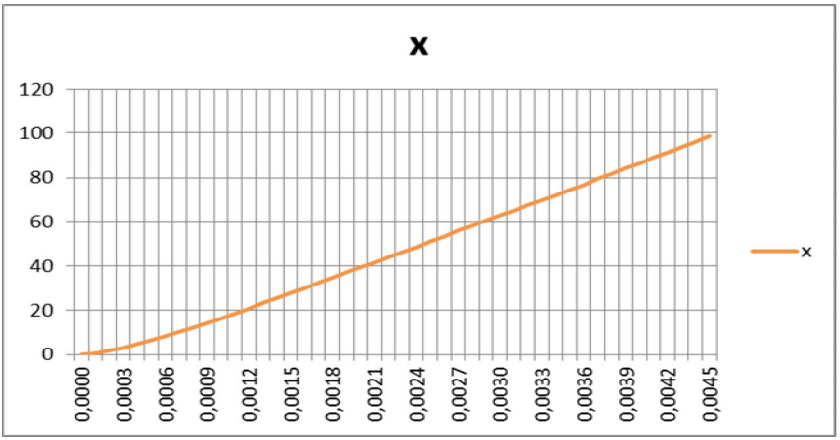


Рис. 7. Перемещение основного звена в период отката.

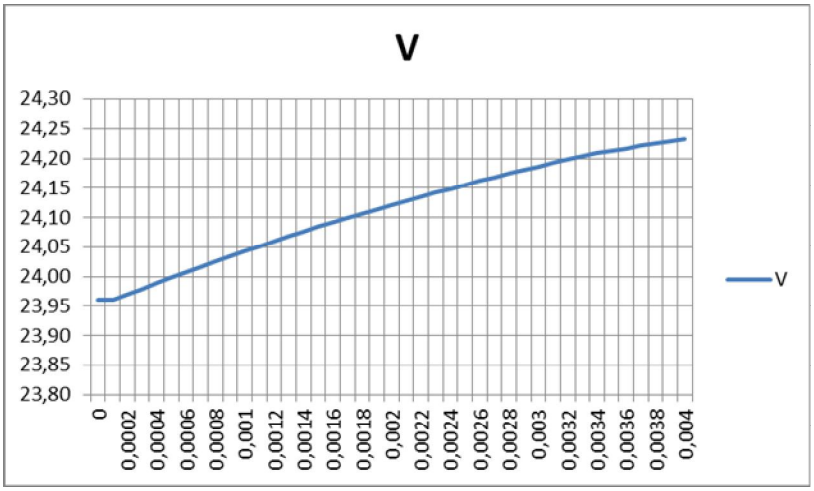


Рис. 8. Изменение скорости основного звена в период наката.

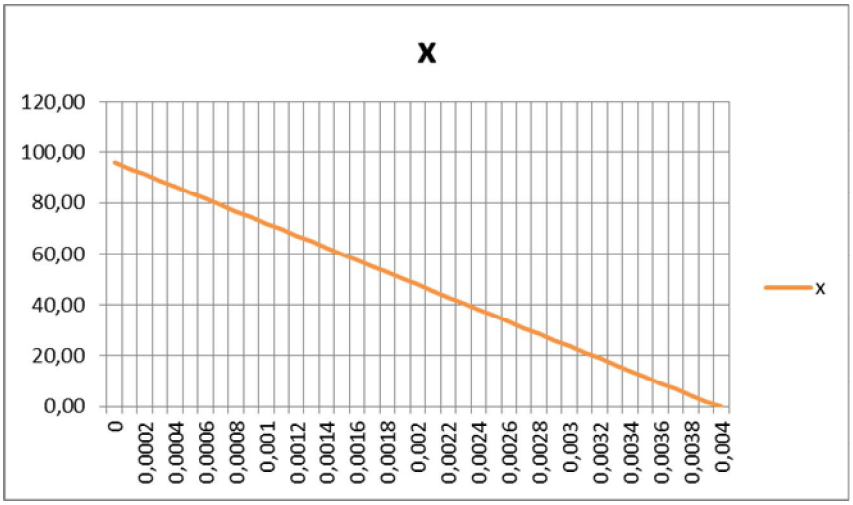


Рис. 9. Перемещение основного звена в период наката.

Модернизация спускового механизма.

Модернизация спускового механизма (рис. 10-12) связана с введением дополнительного вида огня – отсечка очереди по два выстрела.

Работа спускового механизма.

Оружие на предохранителе, переводчик в режиме “двойка” (верхнее положение).

Снимаем с предохранителя - флажок повернуть вниз, ось освобождает рычаг втулки спусковой.

Перезаряжание: отводим раму в крайнее заднее положение и отпускаем. Под действием пружин рама приходит в переднее положение.

При приходе рамы назад прямой рычаг автоспуска поднимается вверх, выступ заходит в защемление с фиксирующей втулкой, разобщитель удерживается от поворота зубом втулки спусковой.

При накате подвижной системы вперед, ударник останавливается на автоспуске, затвор досылает патрон в патронник.

При подходе затворной рамы в переднее положение происходит спуск ударника с автоспуска. Автоспуск поворачивается под действием выступа рамы с левой стороны. Правым выступом рама поворачивает поворотную втулку, которая, взаимодействуя с выступом, поворачивает фиксирующую втулку до упора последней своим рычагом в дно коробки. При повороте поворотной втулки далее произойдет расцепление втулок, скользя по фаске. Втулка поворотная сожмет пружину и откатится в сторону. Втулка,

фиксирующая под действием пружины, вернется под отгибку разобщителя, так как он удерживался втулкой спусковой. Оружие заряжено и готово к стрельбе.

При нажатии на спусковой крючок, втулка спусковая повернет шептало и спустит ударник. Он разобьет капсюль-воспламенитель – произойдет выстрел, подвижные части начнут откатываться назад.

При накате ударник пройдет над разобщителем и станет на автоспуск, затворная рама правым выступом повернет втулку поворотную, которая повернет втулку фиксирующую - рычаг разобщителя повернется. После разобщителя втулка фиксирующая упрется в разобщитель. Правым выступом затворная рама повернет автоспуск и спустит ударник – произойдет выстрел. Произойдет откат.

При накате ударник станет на разобщитель. Затворная рама повернет автоспуск и втулки. После разобщения фиксирующая втулка останется на разобщителе.

Для производства очередных выстрелов, необходимо отпустить спусковой крючок. При отпускании спускового крючка повернется спусковая втулка и своим зубом поднимет разобщитель, ударник перескочит на шептало, и фиксирующая втулка займет свое место под загибкой разобщителя. Оружие готово к стрельбе.

Автоматическая (непрерывная) стрельба.

Для перехода на автоматический огонь необходимо повернуть флажок переводчика в среднее положение. При повороте переводчика, выступ на оси переводчика, частично блокирует

поворотную втулку при подъеме рычага (откат), что не позволит выступу войти в зацепление с фиксирующей втулкой. При повторениях циклов стрельбы фиксирующая втулка не будет выходить из-под загиба разобщителя. Для остановки стрельбы необходимо отпустить спусковой крючок.

Одиночная стрельба - флажок в нижнем положении.

При повороте флажка штифт на оси переводчика поворачивает фиксирующую втулку, и она выходит из зацепления с разобщителем. При стрельбе разобщитель свободно поворачивается. После каждого выстрела ударник встает на разобщитель, при отпускании спускового крючка перескакивает на шептало. Для произведения каждого выстрела необходимо нажать на спусковой крючок.

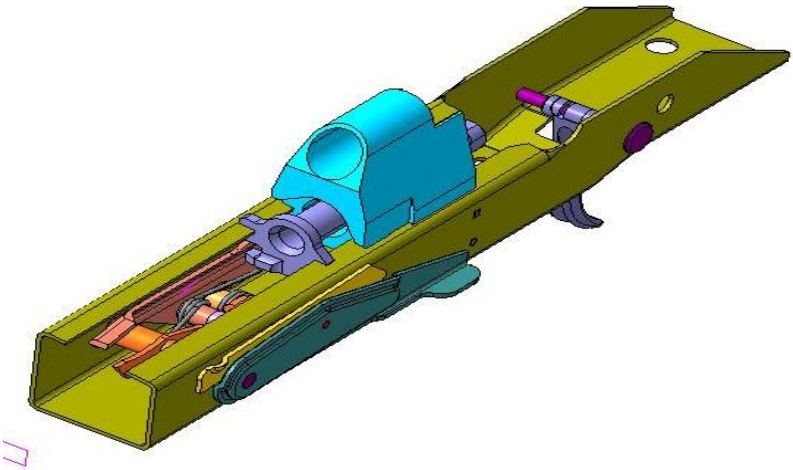


Рис. 10. Спусковой механизм. Общий вид.

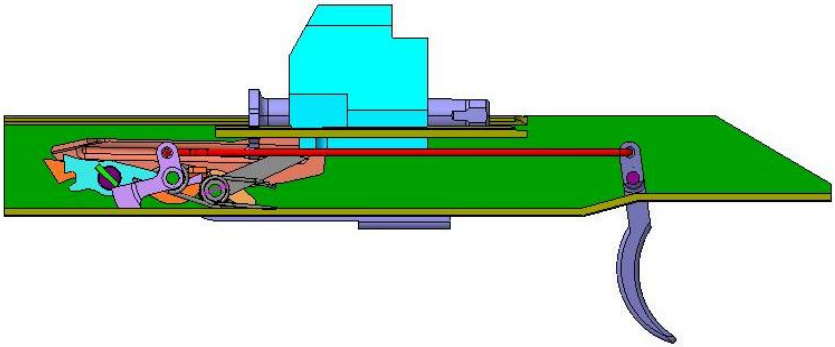


Рис. 11. Спусковой механизм в разрезе.

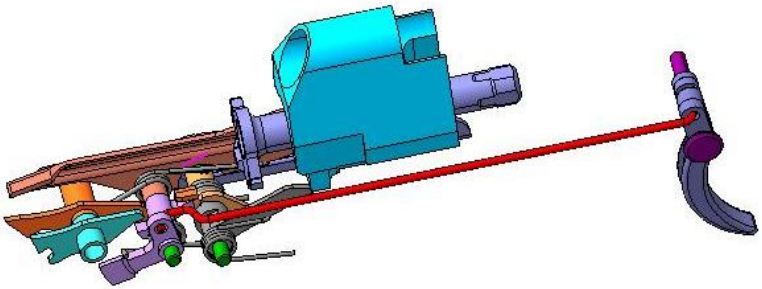


Рис. 12. Спусковой механизм без кожуха.

Выводы.

В ходе работы был проведен анализ существующих образцов ПП, предназначенных как для войсковых подразделений, так и для полицейских отрядов и спецчастей и их тактико-технических

характеристик. Выявлены основные преимущества и недостатки данного вида вооружения.

На основе образца аналога ПП составлена циклограмма работы частей автоматики. На основе циклограммы был произведен расчет приведенных масс подвижных звеньев, скорости и перемещения основного звена автоматики. Для расчета приведенных масс были определены передаточные числа и коэффициенты полезного действия взаимодействующих деталей.

В работе была реализована модернизация штатного ПП в плане спускового механизма. Модернизация спускового механизма позволяет вести стрельбу из ПП одиночным и автоматическим огнем, а также с отсечкой очереди. Таким образом, ПП с данным спусковым механизмом позволит вести прицельную стрельбу с высокой кучностью и низким расходом боеприпасов.

В работе представлена трехмерная модель модернизированного спускового механизма, а для доказательства возможности реализации данной модели изготовлен прототип из полимерного материала, распечатанный на 3d-принтере.

Робот-исследователь оптимального места установки ветрогенератора

ГРИГУЛЕЦКИЙ Марк Андреевич
г. Москва, ГБОУ Гимназия №1516, 11 класс

Научный руководитель:
Котов Евгений Анатольевич,
к.т.н., доцент кафедры «Специальная робототехника и мехатроника»
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Введение.

В настоящее время в мире сложилась ситуация дефицита энергетических ресурсов, в то время как энергопотребление только увеличивается. Человечество давно пришло к необходимости поиска альтернативных источников электроэнергии, среди которых на передний план выходят восполняемые энергоресурсы.

Историю данного проекта можно разделить на 2 этапа:

1) Идея проекта зародилась еще в 2013 году. В ходе прогулки по микрорайону было замечено, что в местах, где дома стоят под определенным углом, скорость ветра увеличивается относительно открытых участков. Дома образуют «воронку», в месте сужения которой скорость ветра значительно больше и потоки воздуха непрерывны (рис. 1).

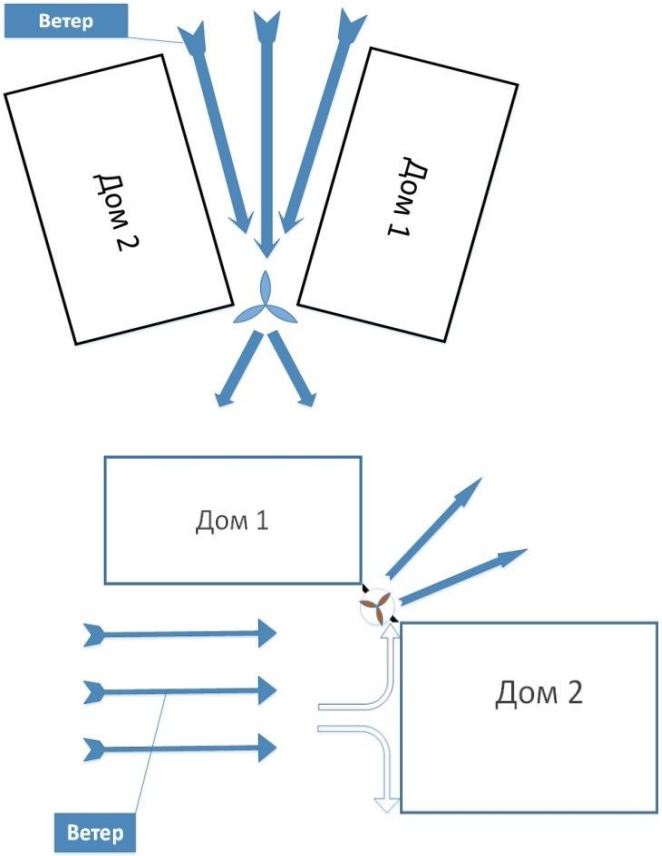


Рис. 1. Схема взаимного расположения домов.

Изначально стояла задача доказать потенциальную возможность установки ветрогенераторов в местах с подходящими для этого условиями, и выяснить, возможно ли преобразовать кинетическую энергию ветра в электрическую энергию в заданных условиях. Это могло бы способствовать снижению общей

загруженности электросети микрорайона, а также снижению себестоимости электроэнергии.

Для этого была построена модель ветрогенератора и проведены эксперименты. Предлагается размещать ветрогенераторы в местах наибольшего сужения «воронки», где по закону Бернулли достигается максимальная скорость потока.

В ходе исследований удалось установить, что размещение ветрогенератора в предполагаемых местах действительно возможно и целесообразно. В качестве примера получилось зажечь светодиодную лампу от тока, вырабатываемого ветрогенератором (рис. 2). Стоит отметить, что модель была собрана из подручных материалов без использования новых технологий и компонентов, поэтому промышленная значимость данного исследования не приводится, однако потенциальная возможность получения электроэнергии путем преобразования кинетической энергии ветра установлена (таблица 1,2).

Рис. 2. Построенный ветрогенератор.

Таблица 1. Средние показатели скорости ветра в микрорайоне в течение дня.

Средние показатели скорости ветра в течение дня (м/с)			
Утро(8-12ч)	**День**(12-16ч)	**Вечер**(16-20ч)	**Ночь**(20-23ч
2,5	2,3	2,4	2,6

Таблица 2. Сводная таблица показателей скорости ветра в Москве в течение года.

Средние показатели скорости ветра (м/с)												
Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год
2,5	2,5	2,5	2,5	2,2	2,1	1,9	1,8	2	2,4	2,5	2,6	2,3

2) После доказательства возможности и целесообразности установки ветрогенератора в местах с благоприятными условиями была поставлена задача - определить конкретное местоположение ветрогенератора. Расстояние между домами даже в самом узком месте «воронки» достаточно большое (более 12 метров). В связи с различными вариациями взаимного расположения домов, моделирование процессов полета частиц, а также определение их скорости и траектории движения - очень сложная математическая задача. Поэтому для нахождения наиболее оптимального места расположения ветрогенератора в так называемой «воронке» предлагается построить робота-исследователя, способного определять наиболее подходящее место установки ветрогенератора.

Выбор объекта и предмета исследования.

Объект исследования: Прибор для измерения показаний тока, вырабатываемого ветрогенератором. Геометрия взаимного расположения домов в микрорайоне.

Предмет исследования: влияние геометрии взаимного расположения домов в микрорайоне на возможность выработки электроэнергии с помощью тихоходного ветрогенератора. Влияние изменения скорости ветра на показания датчика тока и воспроизводимый роботом звук.

Цель и задачи исследования.

Цель: построение робота-исследователя, способного определять наиболее оптимальное место установки ветрогенератора в заданных условиях.

Задачи: Изучить различные варианты взаимного расположения домов в микрорайоне, выявить идентичные варианты с точки зрения скорости воздушного потока:

1. Изучить динамику изменения параметров ветра в данной местности в течение года на основании данных из открытых источников информации.
2. Установить оптимальную конфигурацию генератора исходя из условий данной задачи.
3. Построить робота.
4. Разработать программное обеспечение для робота.
5. Разработать программное обеспечение для android-смартфона.
6. Провести эксперименты, проанализировать результаты.

Принцип действия робота.

На роботизированную платформу, управляемую оператором путем беспроводной связи по Bluetooth-каналу, устанавливается ветрогенератор, вырабатывающий ток. К ветрогенератору подключается резистор и датчик, регистрирующий изменение тока. В зависимости от скорости ветра генерируется различное напряжение и по закону Ома меняется сила тока. Датчик считывает значения силы тока и преобразует их в аналоговый сигнал, который подается на контроллер. На контроллере аналоговый сигнал конвертируется в цифровой. Получая какое-либо значение силы тока, робот издает 2 звука различной частоты. Если сила тока увеличивается, задержка между первым и вторым сигналом уменьшается, и наоборот. Таким образом, робот, попадая в место с наибольшей скоростью ветра, издает сигналы с помощью встроенного динамика с минимальным временем задержки между ними. Оператор, управляющий роботом, имеет возможность понять, где может находится наиболее оптимальное место для установки ветрогенератора.

Устройство робота.

Аппаратная часть:

1. Платформа Arduino Uno (2 шт.).
2. Драйвер моторов на базе микросхемы L298N.
3. Bluetooth-модуль HC-06.
4. Датчик тока ACS713, основанный на эффекте Холла.
5. Динамик (8 Ом, 0.5 Вт).

6. Повышающий преобразователь напряжения 5V Step-Up Voltage Regulator U1V11F5.
7. Электромотор (9 В).

Программная часть:

1. Android-приложение BL_4WD, написанное на языке java.
2. Программы для платформ Arduino (2 шт.), написанные на Си-подобном языке.

Для разработки программного обеспечения для android-смартфона использовалась среда разработки Eclipse. Для разработки программного обеспечения для платформы Arduino использовалась стандартная Arduino IDE с возможностью написания кода на Си-подобном языке

Фрагменты кода программы:

При программировании одной из платформ Arduino Uno, отвечающей за обработку данных, получаемых с датчика тока, применяется следующий сглаживающий алгоритм:

```
// сглаживающий алгоритм

float average // среднее значение

int numReadings // количество повторений

 For (int i=0; i < numReadings; i++)

 {

    average = average + (0.0264*(analogRead(0)-
512))/numReadings; // подробное описание данной формулы
и коэффициентов находится в приложении № 3
```

Для увеличения скорости работы программы использовались команды прямой записи в регистр порта, что позволило увеличить скорость считывания и записи портов в десятки раз. Пример :

```
DDRB = B10000000:  //  устанавливаем 13-ый пин как
```

Фрагмент программы, отвечающий за воспроизведение звука через динамик:

```
tone (5, 500);

delay_ms(400);

noTone(5);

delay_ms(zaderzhka);  // количество миллисекунд между звуковыми сигналами ( высчитывается в процессе выполнения программы в зависимости от показаний датчика тока

tone(5, 100);

delay_ms(400);
```

Фрагмент программы, отвечающий за обработку полученных данных с Bluetooth модуля.

```
while(1){

  if (Serial.available() > 0){ // если поступили UART данные с
Bluetooth-модуля

    incomingByte = Serial.read();

    switch(incomingByte){

     case(cmdL): // если пришли для левого двигателя

         command = cmdL;

         memset(L_data,0,sizeof(L_data));

         L_index = 0;

        break;
```

Основанием робота служит деревянный каркас с закрепленными на него шасси и 2-мя электромоторами (рис. 3,4).

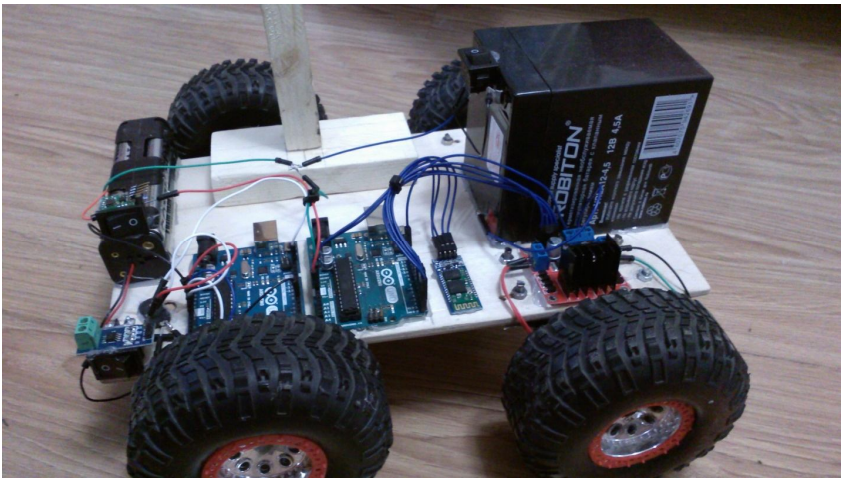


Рис. 3. Платформа робота.

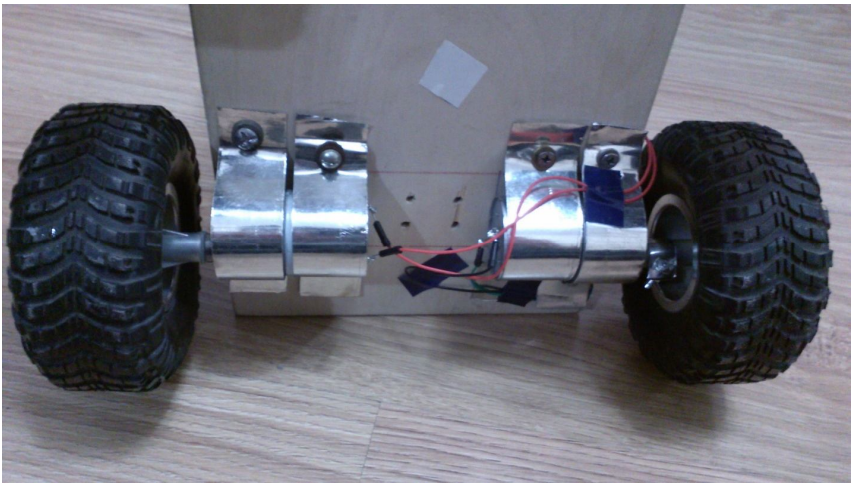


Рис.4.Электромоторы.

С помощью отдельного управления каждым мотором осуществляется поворот робота в зависимости от команды оператора. Конструкция способна поворачиваться вокруг своей оси. Для изменения скорости вращения валов электродвигателей используется широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Таким образом, робот способен передвигаться с различной скоростью.

Все электронные компоненты получают питание от 3-х энергоблоков (аккумуляторов). Первый аккумулятор (12 Вольт) обеспечивает электрической энергией электромоторы и драйвер на базе микросхемы L298N, который получает от платформы Arduino цифровой сигнал и конвертирует его в аналоговый. Далее нужный ток подается на электромоторы. второй аккумулятор (12 Вольт),

питает платформу Arduino, отвечающую за управление двигателями и прием сигнала от смартфона, и Bluetooth модуль. Третий аккумулятор (6.5 Вольт) обеспечивает энергией вторую платформу Arduino, управляющую датчиками, а динамик, издает звуки нужной частоты. Для увеличения напряжения, поступающего на резистор (светодиод), используется повышающий преобразователь напряжения, который, получая на вход напряжение в 0.5 Вольт, усиливает его до 5 Вольт. Для улучшения проходимости робота используются шасси большого диаметра (11см) и резина с агрессивным протектором.

В процессе разработки ветрогенератора была выявлена следующая проблема: предполагается, что робот-исследователь будет осуществлять свое передвижение перпендикулярно направлению ветра, от крайней точки одного дома до крайней точки другого дома. Однако, как показала практика, потоки ветра, проходящие через жерло «воронки» (места наибольшего сужения домов), далеко не всегда дуют перпендикулярно предполагаемой траектории движения робота. В связи с этим ветрогенератору была добавлена возможность вращаться вокруг своей оси по принципу флюгера, что позволило ему автоматически подстраиваться под направление ветра.

Заключение.

Поставленные задачи выполнены. Создан робот, способный определять место с наилучшими условиями для установки ветрогенератора. Тема исследования очень актуальна в связи с тем,

что повсеместно ведется поиск альтернативных (желательно возобновляемых) источников электроэнергии. Работа носит проектно-исследовательский характер и на данный момент не может рассматриваться с точки зрения коммерческой выгоды.

Необходимо выделить большую практическую значимость работы непосредственно для ее автора. В процессе изготовления ветрогенератора автор получил опыт работы на токарном и фрезерном станках, сборки и пайки электрических схем, программирования контроллеров и создания программ для android-смартфонов. Все это очень важно для будущей профессии инженера. Выполнены чертежи конструкции и ее отдельных элементов, проведена проверка работоспособности ветрогенератора в реальных условиях. По итогам эксперимента удалось зажечь лампочку карманного фонарика и зарядить сотовый телефон при помощи электроэнергии, вырабатываемой ветрогенератором.

Литература:

1. Б.Н. Юрьев. Воздушные винты. М.: ГОСМАШМЕТИЗДАТ, 1934 г., 400 с.
2. Д. Вильямс «Программируемый робот, управляемый с КПК».
3. А. Иванов «Основы робототехники».

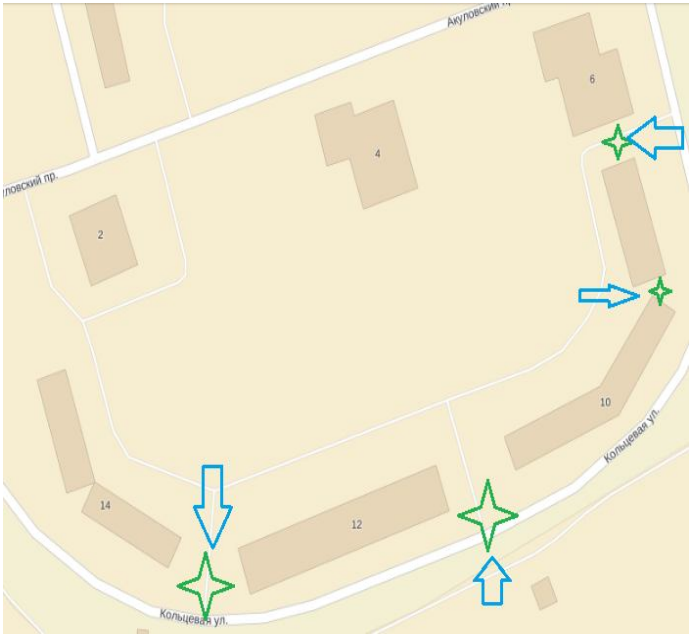
4. ВЭУ с вертикальной осью вращения http://www.advis.ru/php/print_news.php?id=300E3BE2-3FD7-E84C-9ECD-D22E38A31905.
5. Самодельный ветрогенератор http://vetrodvig.ru/?p=2507.
6. Таблица коэффициентов лобового сопротивления http://aviaciaportal.ru/ajerodinamicheskie-kojefficienty-lobovogo/.
7. Схема конструкции: http://rodpomestia.ru/alternativnaja-energia/kak-sdelat-vetrogenerator-svoimi-rukami#axzz2jgbgAeOu

Приложения.

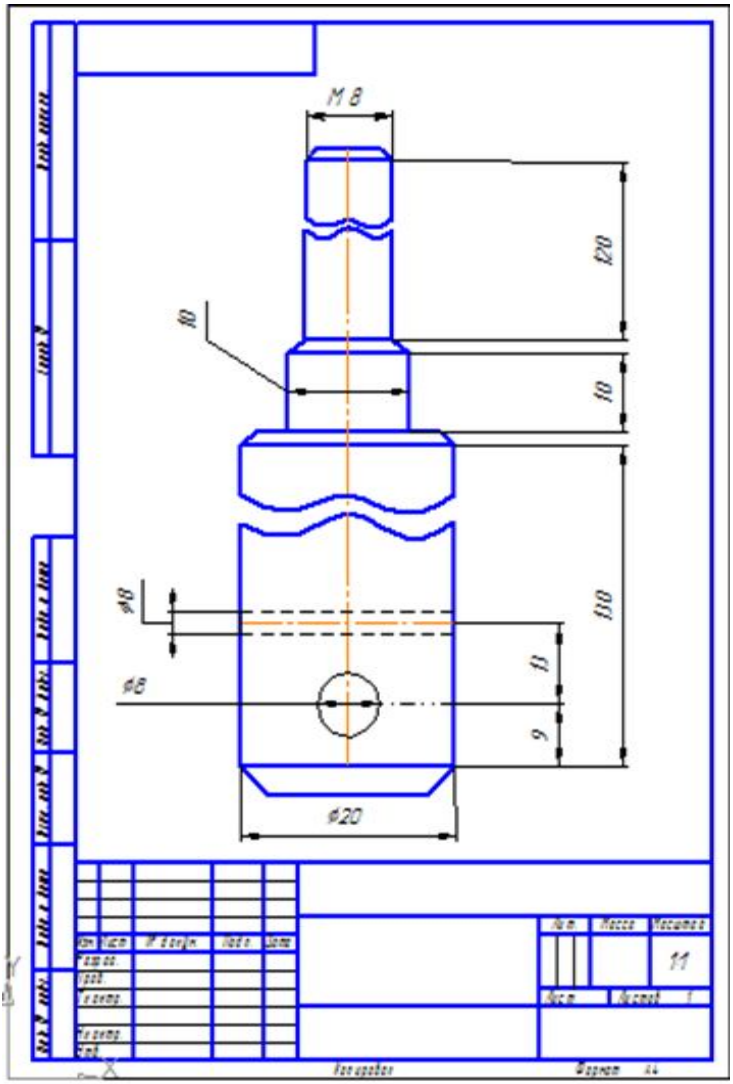
Приложение 1. Схема районов с взаимным расположением домов, удовлетворяющим условиям, описанным в работе.

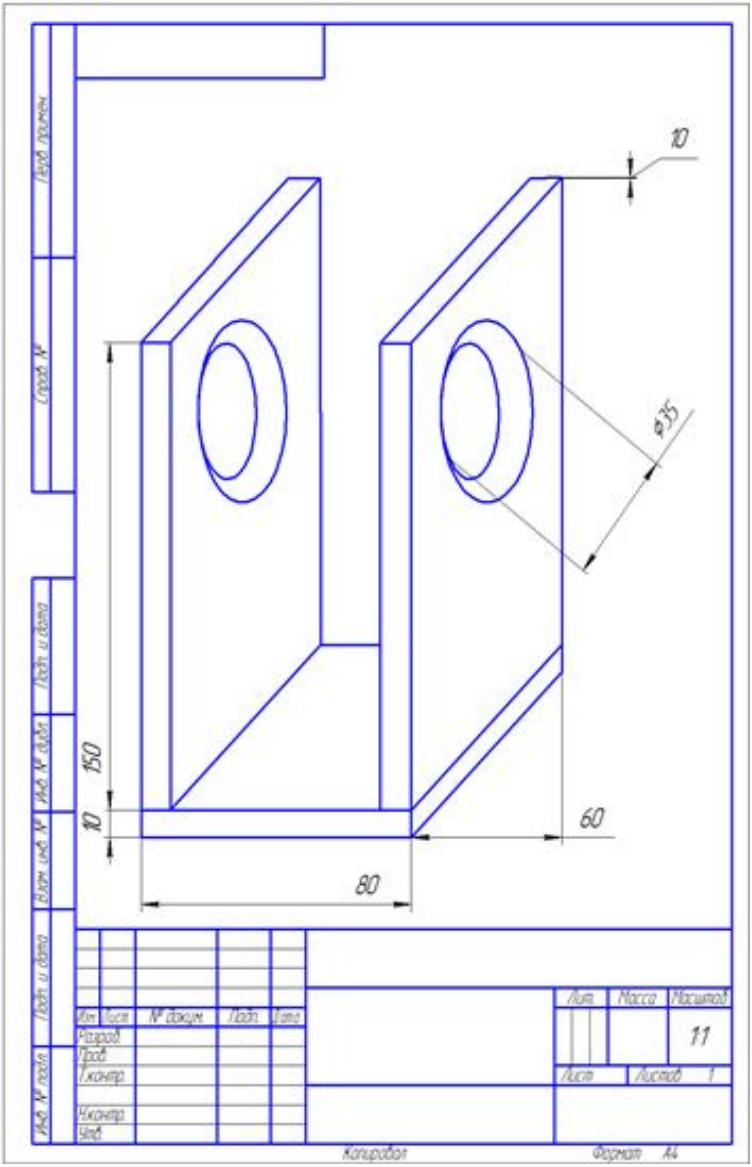
- место установки ветрогенератора

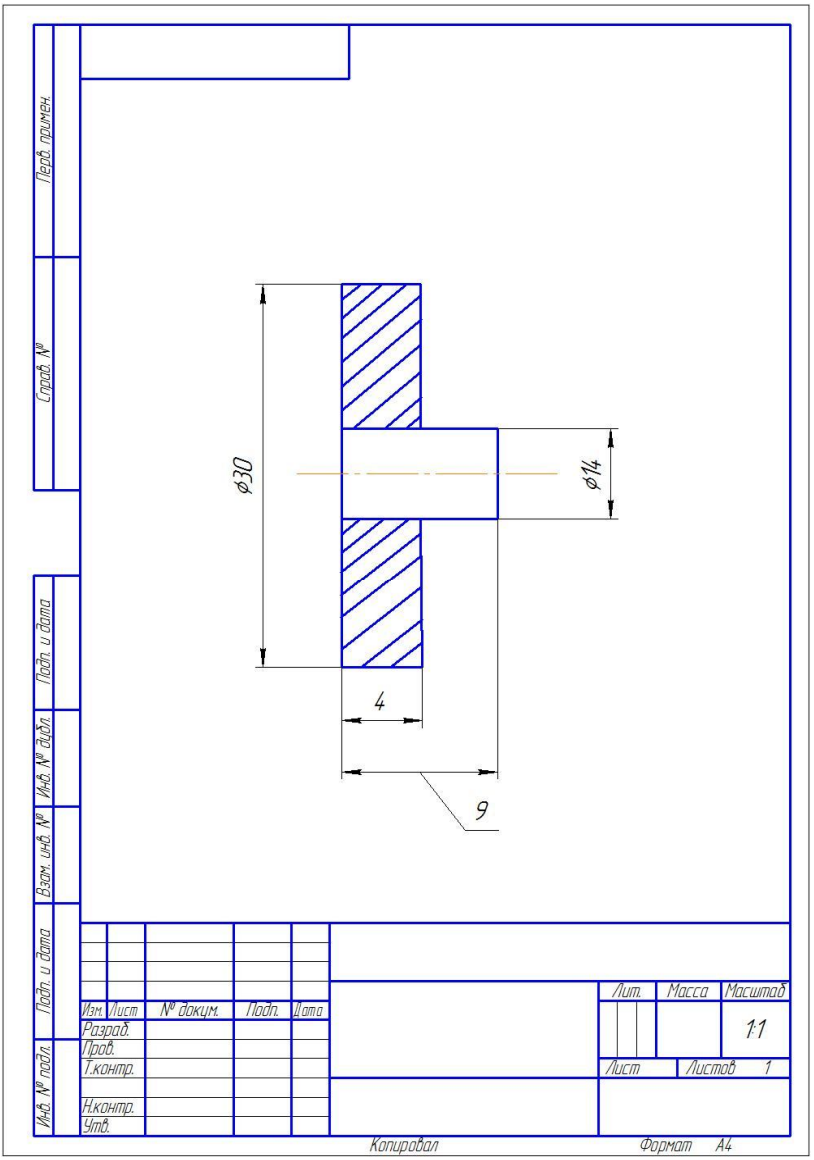
- .направление движения ветра


Акуловский пр.
4
6
2
10
Кольцевая ул.
14
12
Кольцевая ул.

Приложение 2 .Чертежи вала и корпуса.




10
Ø35
150
10
60
80
Лит
Масса
Масштаб
11
Лист
Листов 1
Копировал
Формат А4


Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.
ø30
ø14
4
9
Изм. Лист № докум. Подп. Дата
Разраб.
Пров.
Т.контр.
Н.контр.
Утв.
Лит.
Масса
Масштаб
1:1
Лист
Листов 1
Копировал
Формат А4

Приложение 3: Формулы и расчёты

Передаточное число шестерней:

$$i = \frac{1}{z_1/z_2} = \frac{z_2}{z_1},$$

где z_1 - число зубьев на ведомой шестерне, z_2 - число зубьев на ведущей шестерне.

Один полный оборот вала – **57** полных оборотов шестерни, закрепленной на валу электродвигателя.

$$M_{кр} = \frac{97400 \cdot N \cdot \eta}{n}$$

где $M_{кр}$- крутящий момент на валу электродвигателя (кгс.см), 97400 – константа (коэффициент),

N- мощность двигателя, кВт.,

η – КПД электродвигателя,

n - частота вращения вала, об/мин.

$$N = M \cdot \omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot M}{60}$$

$$\vec{M} = \left[\vec{r} \cdot \vec{F}\right]$$

где **N** - мощность электромотора,

M- момент силы,

ω- угловая скорость,

n- частота вращения(об/мин.).

$$F = \frac{m \cdot (V_t \cdot V_0)}{t}$$

где **F**-сила,

m- масса тела (кг),

Vt-конечная скорость,

Vo- начальная скорость,

t-время.

$$F_{\text{сопр}} = \frac{C_x \cdot P \cdot V^2 \cdot S}{2}$$

где $F_{\text{сопр}}$- сила сопротивления воздуха,

C_x - коэффициент лобового сопротивления полусферы,

V - скорость ветра,

S - площадь ометаемой поверхности,

P - плотность воздуха.

Микроконтроллер питается напряжением +5В. Такое же напряжение используется в качестве опорного для аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

Математические выражения, используемые в процессе преобразования.

Чувствительность датчика тока Sens = 0.185В/А.

Count - вычисляемое значение тока.

При питании Vcc = 5В и опорном напряжении Vref = 5В расчетные соотношения будут следующими:

Выходной код АЦП:

$$\mathbf{Count} = \left(\frac{\mathbf{1024}}{\mathbf{Vcc}}\right) * \mathbf{Vin}$$

где

$$\mathbf{Vin} = \frac{\boldsymbol{Vcc}}{\mathbf{2}} + \mathbf{0.185} * \boldsymbol{I}$$

Следовательно,

$$\mathbf{Count} = \left(\frac{\mathbf{1024}}{\boldsymbol{Vcc}}\right) * \left(\frac{\boldsymbol{Vcc}}{\mathbf{2}} + \mathbf{0.185} * \boldsymbol{I}\right)$$

Конечная формула силы тока:

$$\boldsymbol{I} = \mathbf{0.0264} * (\boldsymbol{Count} - \mathbf{512})$$

В коде программы значение **Count** = analogRead(0) –считывание данных с аналогового порта.

Схема 1. Подключение Arduino к Bluetooth модулю HC-06 и драйверу двигателей L298N:

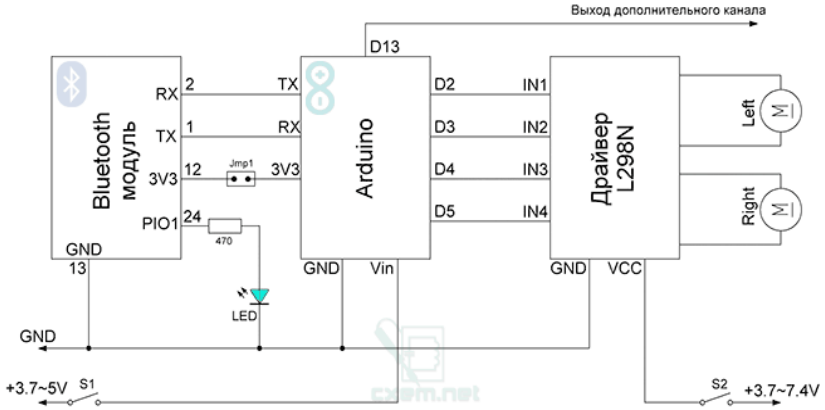
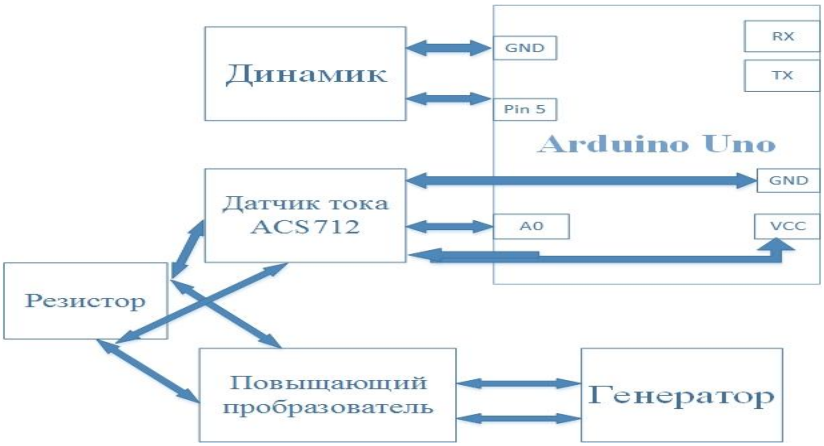
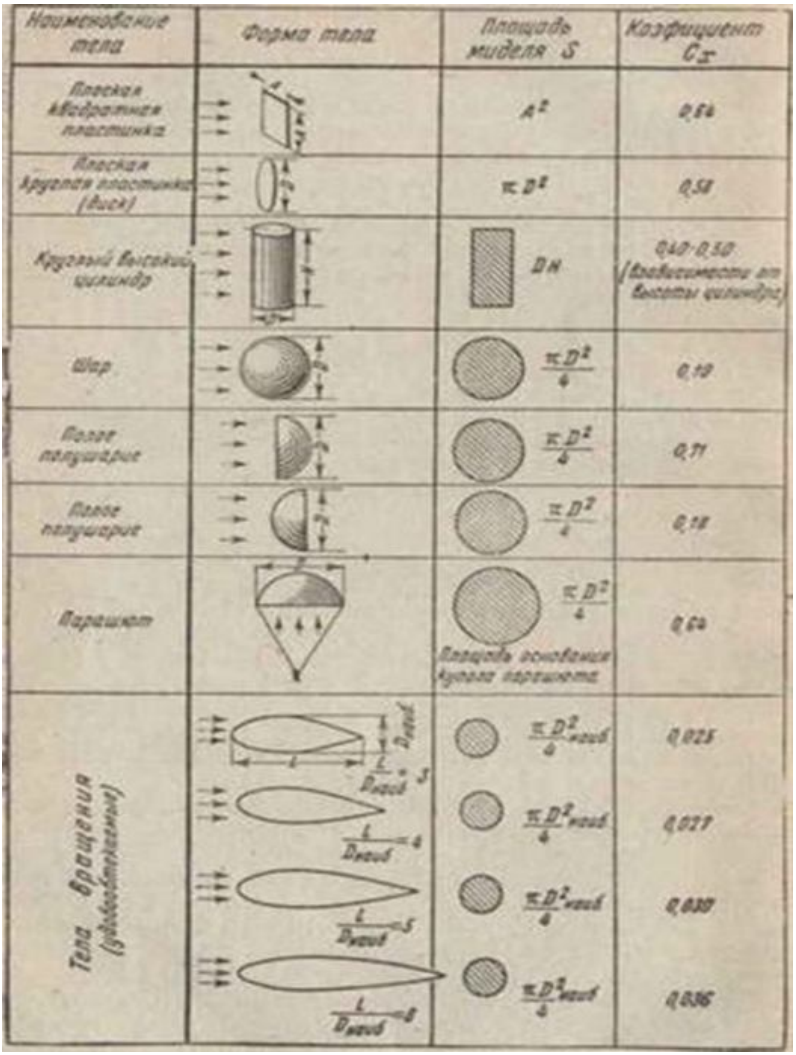


Схема 2. Подключение датчика тока к нагрузке.



Приложение 4. Коэффициенты лобового сопротивления различных геометрических форм.



Многофункциональное роботизированное базовое шасси

НАУМОВА Анна Ярославна

г. Ногинск, НОУ Гимназия «Ногинская»,10 класс

Научный руководитель:

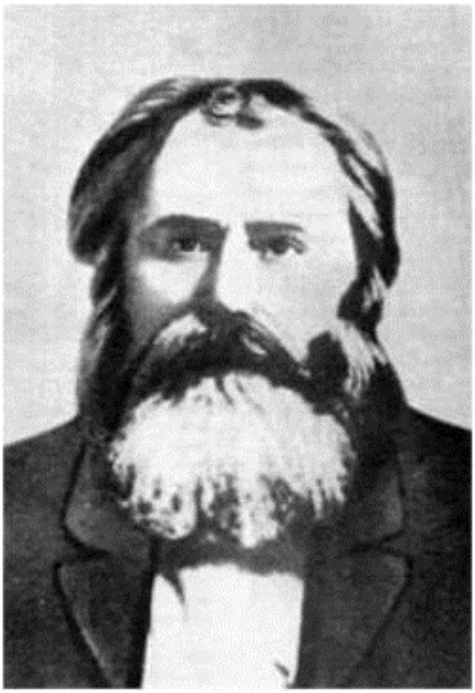
Машков Константин Юрьевич,

к.н., доцент кафедры «Многоцелевые гусеничные машины и мобильные роботы»

МГТУ им. Н. Э. Баумана

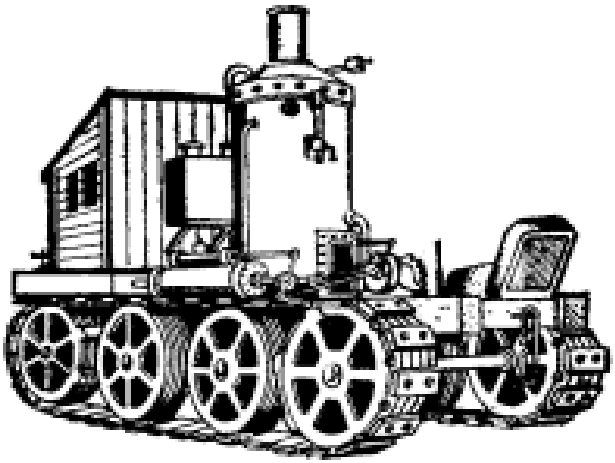
История создания трактора.

Заблуждается тот, кто думает, что трактор – детище двадцатого века. Потому что прообразом трактора, принцип гусеничного двигателя которого придумал русский крестьянин Фёдор Блинов, стал «вагон» с гусеничным ходом. Проект был создан этим конструктором-самоучкой в 1887 году. Фёдор Блинов был сыном



крепостных крестьян, родился он в 1827 году в Саратовской губернии. Отец его работал в кузнице, там-то, помогая ему с малолетства, и познакомился паренёк с техникой. Рано овладев грамотой, Фёдор увлёкся чтением книг, среди которых особенно увлекли его книги по «механическому делу». На практике же познакомиться с техникой приволжский мальчишка мог на пароходах, ходивших по Волге – в те времена пароходы слыли чудом технической мысли. Он так и поступил, получив «вольную» у помещика.

Мечта Ф. Блинова начала воплощаться в жизнь в 1877 году – именно тогда он придумал проект «вагона» на гусеничном ходу. Вагон, имеющий деревянный кузов и раму, был похож на железнодорожный. Две тележки, закреплённые на рессорах рамы, в нижней её части поворачивались в горизонтальной плоскости, вместе с ними поворачивались и оси опорных колёс. Замкнутые железные ленты из отдельных звеньев имели вид «бесконечных рельсов». На опорной раме закреплялось поворотное дышло для двухлошадной упряжки. При движении под уклон применялось тормозное устройство типа «горный упор». Таким образом, «вагон» являл собой прообраз гусеничного прицепа. И принцип этого прицепа, основанного на гусеничном двигателе, дожил до наших дней, несмотря на то, что конструкторская мысль в течение всего двадцатого века не стояла на месте.



Но на этом изобретатель не успокоился. После вагона Фёдор Блинов начал придумывать «самоход» — трактор на гусеничном ходу. Первый образец трактора был изготовлен в 1888 году. Пароконную упряжку заменил паровой котёл на шесть атмосфер, приводивший в движение две паровые машины, для работы котла использовалась нефть.

В наши дни трактор живёт новой, полноценной жизнью, соответствующей требованиям времени. Это очень востребованная машина, которая используется в самых различных областях хозяйства.

2. Трактор

2.1. Что такое трактор.

Тра́ктор (англ. *track* - «след», основной элемент гусеницы)— самодвижущаяся (гусеничная или колёсная) машина, выполняющая сельскохозяйственные, дорожно-строительные, землеройные, транспортные и другие работы в агрегате с навесными или стационарными машинами (орудиями).

Отличается низкой скоростью и большой силой тяги. Широко применяется в сельском хозяйстве для пахоты и перемещения несамоходных машин и орудий. Как правило, оснащается съемным или несъемным, навесным или полунавесным оборудованием сельскохозяйственного, строительного или промышленного назначения, например, буровым оборудованием, в зависимости от выполняемых задач.

2.2 Типы тракторов.

2.2.1 Трактор на колесном ходу.

Тракторы на колесном ходу отлично подходят для эксплуатации на городских дорогах, так как они могут развивать довольно высокую скорость

движения. К недостаткам можно отнести небольшую силу сцепления с грунтом, из-за чего ограничивается сила тяги трактора. Если колесный трактор работает на мягком рыхлом грунте, то возможна пробуксовка колес машины. Чтобы устранить тот недостаток были сконструированы модели тракторов с приводом на все четыре колеса. Полноприводные тракторы не пробуксовывают на мягкой почве, но из-за большого веса машины они сильно утрамбовывают грунт. Чтобы уменьшить силу давления колес трактора на почву используются шины увеличенной ширины, а на особо тяжелых типах тракторов применяются сдвоенные колеса.

2.2.2 Трактор на гусеничном ходу.

Тракторы на гусеничном ходу обладают еще большей силой тяги, чем колесные тракторы. К недостаткам относится невозможность их эксплуатации на асфальтированных покрытиях. Только тракторы с резинотросовыми гусеницами могут использоваться на асфальте без риска его повреждения. Несмотря на то, что скорость движения трактора на гусеничном ходу не превышает 40 км/час, эти машины не оказывают сильного давления на почву из-за большой площади соприкосновения с ней. Гусеничные тракторы нашли широкое применение в сельскохозяйственной отрасли и промышленном хозяйстве.Узнав это, становится понятно, почему для данного шасси стоит взять именно гусеничный движитель.

2.3 Двигатель.

Двигатели можно разделить на три вида: двигатели внутреннего сгорания (двс), электродвигатель и комбинированный. Изучив все «плюсы» и «минусы» двигателей, был выбран двигатель внутреннего сгорания. Ниже представлены характеристики некоторых моделей двигателей.

Модель	Конструктивные особенности				Параметры				
	Тип	DxS, мм	Рабочий объем, л	Электр. управл. двиг.	n н, мин(-1)	Ne, л.с.	Мкр/Nm, кГм/мин (-1)	ge min, г/л.с.ч.	Ресурс, м-часов
Двигатели ЕВРО-0									
7403.10	V-8	120x120	10.85	-	2600	260	80	155	10 000
Двигатели ЕВРО-1									
740.11-240	V-8	120x120	10.85	-	2200	240	85/1400	152	10 000
740.20-260	260	110/1400	149						
740.21-240	240	85/1300	148						
Двигатели ЕВРО-2									

740.50-360	V-8	120x130	11.76	-	2200	360	146/1400	143	12 000
740.51-320						320	125/1400	145	
740.52-260						260	110/1400	148	
740.53-290						290	120/1400	146	
740.30-260	V-8	120x120	10.85	-	2200	260	110/1400	145	12 000
740.31-240						240	85/1400	148	
Двигатели ЕВРО-3									
740.70-360	V-8	120x130	11.76	+	2200	360	146/1400	142	15 000
740.71-320						320	125/1400	143	

740.72-260						260	110/1400	146	
740.73-290						290	120/1400	145	
740.80-420	V-8	120x135	12.21	+	2200	420	160/1400	140	15 000
740.81-450						450	169/1400	140	
Газовые двигатели									
740.90-260	V-8	120x130	11.76	+	2200	260	110/1300	148	15 000
740.91-320						320	125/1300	147	

Рассмотрев эти модели, был сделан вывод, что ни одна из этих моделей не подойдет.

Приходится обратиться к вездеходам. После долгих поисков нужного двигателя, я обратилась к вездеходу tinger-500. Изучив его, было решено, что двигатель данного вездехода будет прекрасно подходить к данному шасси.

Тип двигателя	4-тактный верхнеклапанный 3-х цилиндровый двигатель	4-тактный верхнеклапанный 4-х цилиндровый двигатель
Марка двигателя	CHERY SQR372	CHERY SQR472
Мощность, Объем	57 л.с., 812 куб. см	68 л.с., 1100 куб. см

3. Функции шасси.

3.1 Спасатель.

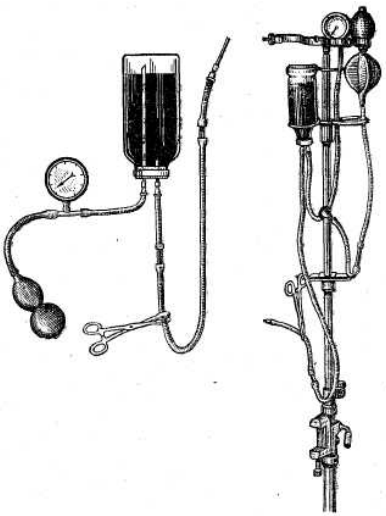
3.1.1 Необходимые аппараты для спасения человека.

Шасси может быть предназначено для спасения людей. Для этого будет прикрепляться кабина с вместительностью 2-3 человека. Внутри будут находиться необходимые медицинские приборы.

1. Операционный стол - различной конструкции столы, предназначенные для больных при выполнении оперативных

вмешательств:

1. С применением приборов для переливания крови.



2. кислородно-дыхательной и наркозной аппаратуры.

3. С применением электрокардиографов.

3.1.2 Кабина.

Рассмотрев кабины нескольких машин скорой помощи, приходим к выводу**.**

1.Размеры кабины, мм (Д*Ш*В).	2900*1680*1980
2.Кол-во перевозимых чел.	3 сидения в кабине.
3. Безопасность	Подушка безопасности водителя

4. Дверь	Одна средняя дверь с правой стороны
5. Окна	Электронные окна кабины
6. Плеер	AM/FM/CD плеер
7. Задняя дверь	Двустворчатая задняя дверь, открывающаяся на 270 градусов
8. Замок	Центральный замок
9. Уд. задн. дверь	Подножка задних дверей

3. 2 Пожарник.

Рассмотрев пожарные машины, были замечены необходимые приборы для борьбы с огнем. Рассчитывая на величину шасси, делаем вывод, что на шасси будет помещены:

1. Цистерна объемом 15 кубических метров.
2. Насосная установка (мотопомпа) с рукавной линией и стволом.

3. Съемный лесопожарный модуль.

3.3 Сапер.

Как нам известно, сами роботы-саперы невелики в размерах. Поэтому мое шасси с функцией «Сапер» сможет работать только на обширных пространствах.

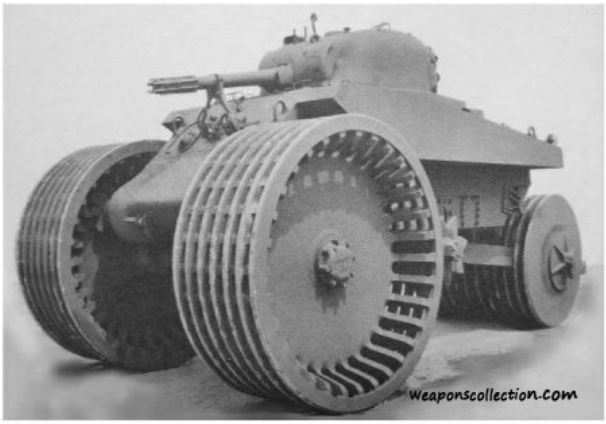
Но также при изучении мне встретились системы разминирования как раз для больших территорий.

Семейство "Змей Горынычей "- Каток войны.

А) УР-77.

Именно, благодаря этим моделям саперов, идея о шасси-«сапере» не была отложена.

Б). T10 Sherman M4A2.



4. Практическая часть (приложение).

5. Заключение.

Мое шасси может быть универсально, а также сочетать еще больше функций, таких обычных как, к примеру, тягач для сельского оборудования.

Приложение.

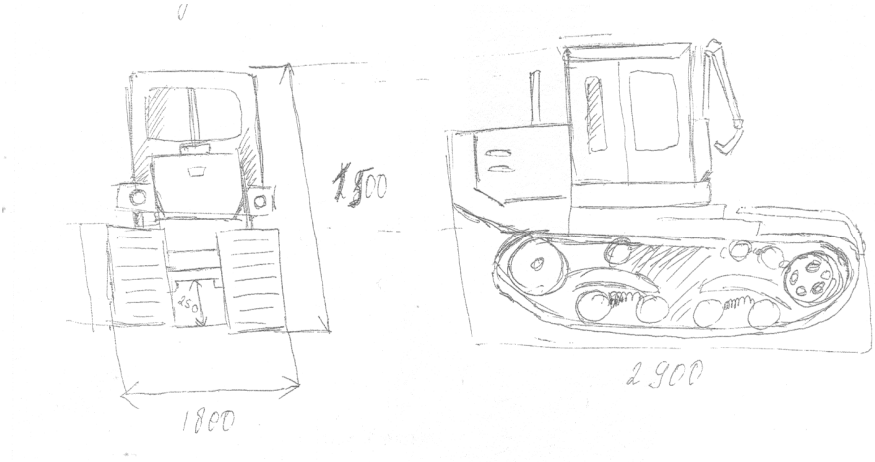


Рис. 1. Зарисовка трактора.

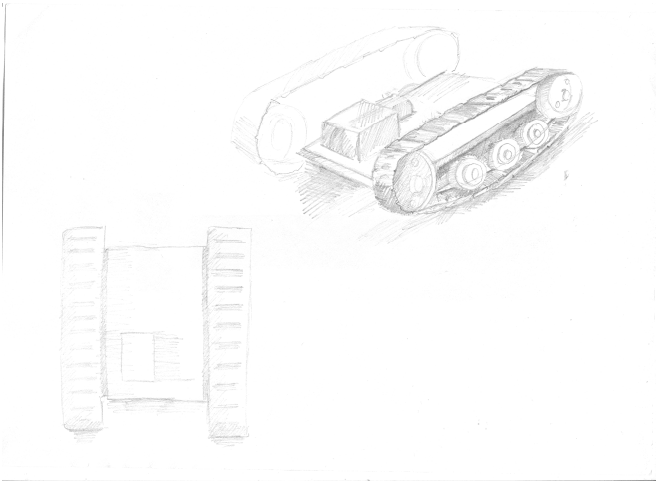


Рис. 2. Зарисовка шасси.

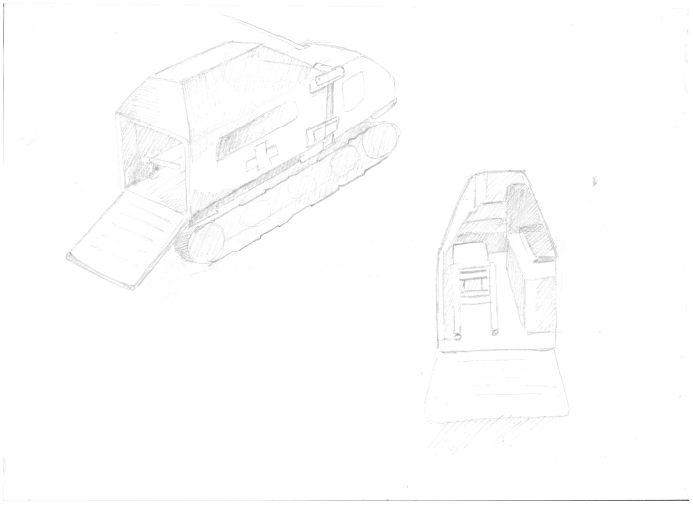


Рис. 3. Зарисовка «Спасателя».

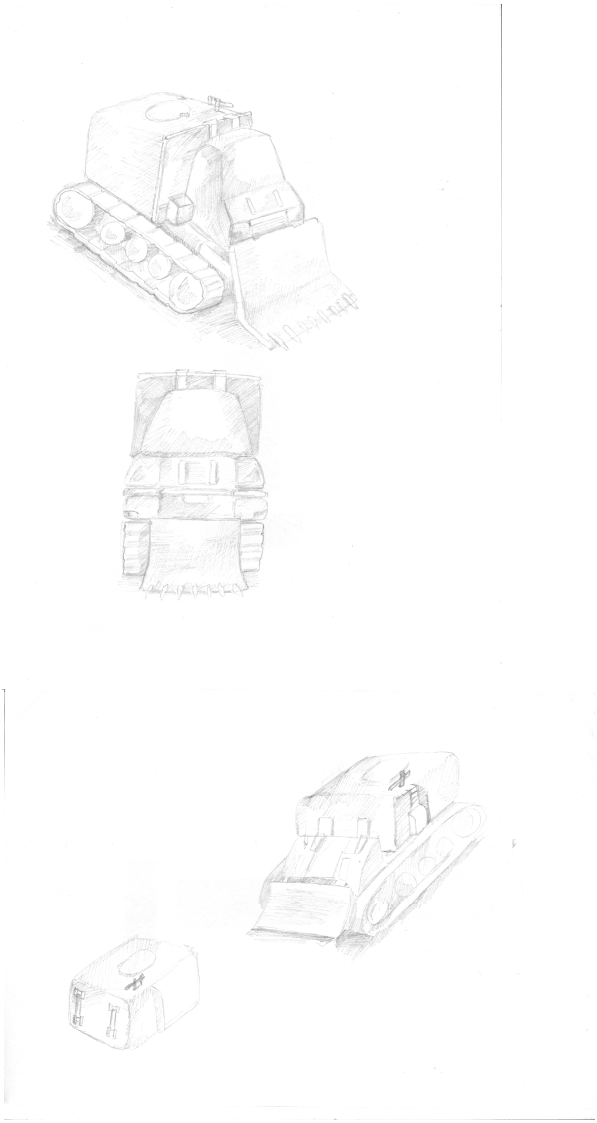


Рис. 4. Зарисовка «Пожарника».

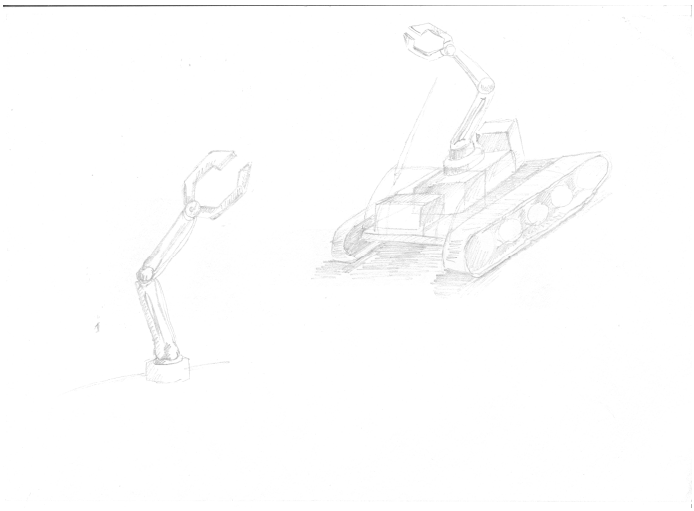


Рис. 6. Зарисовка «Сапера».

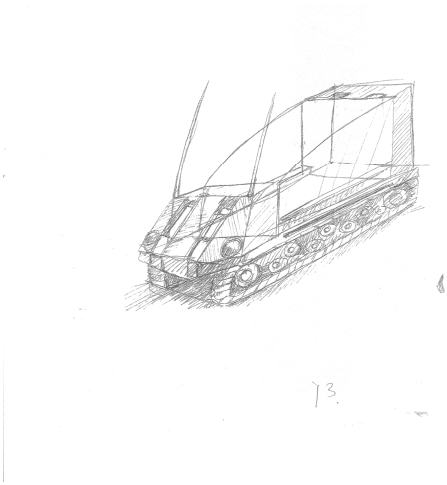


Рис. 7. Зарисовка «Спасателя».

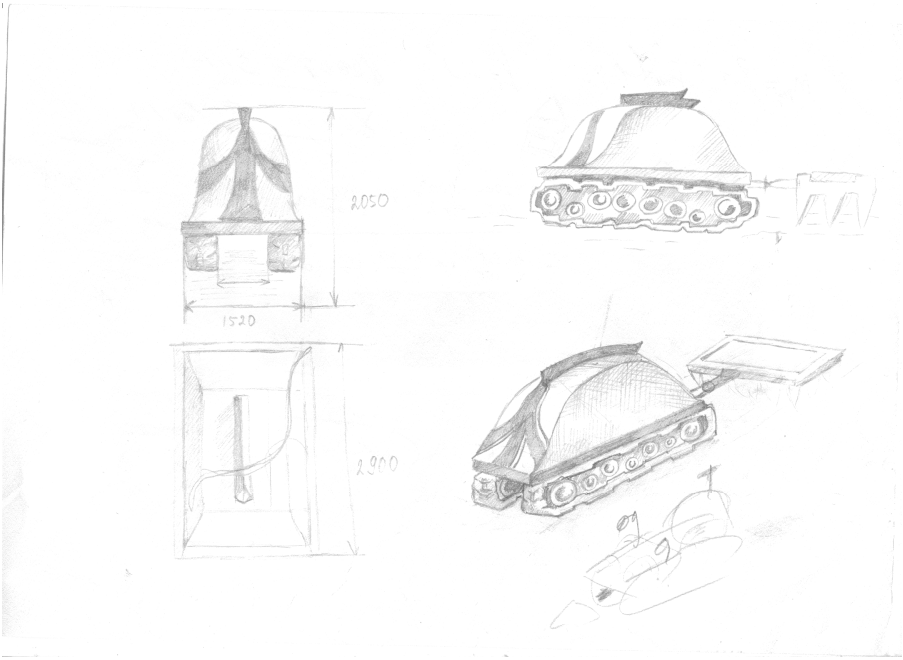


Рис. 8. Зарисовка роботизированного трактора.

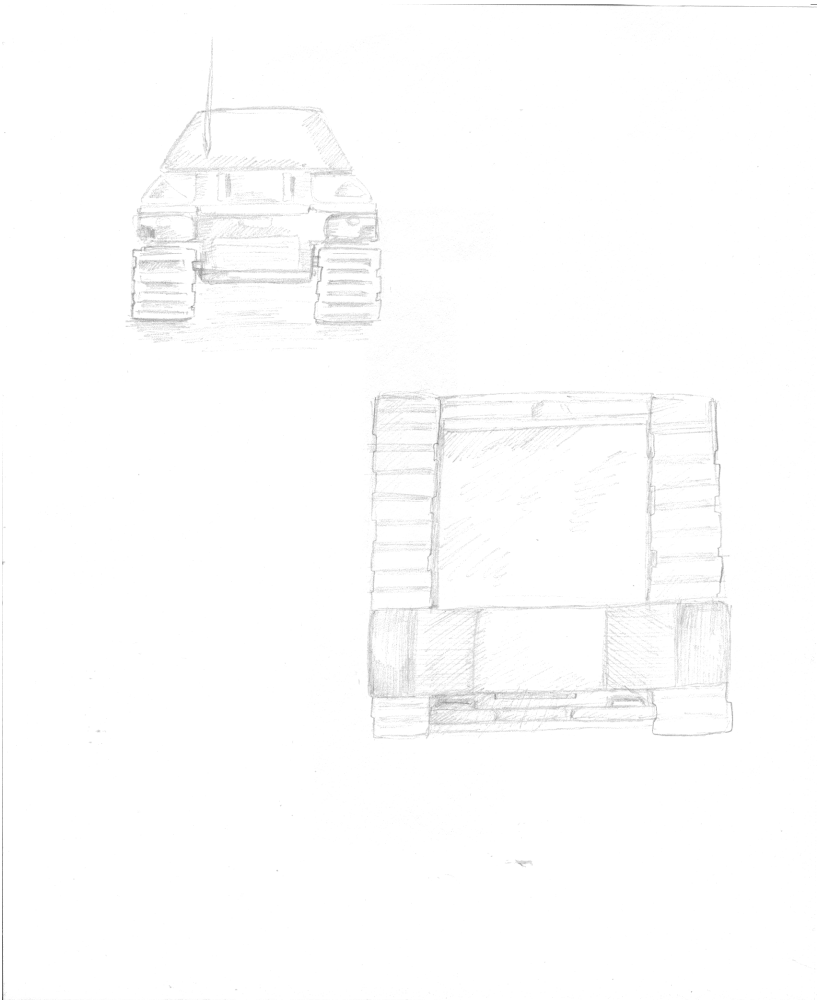


Рис. 9. Зарисовка шасси.

Разработка балансирующего двухколесного транспортного средства

ТЕРНИЦКИЙ Евгений Павлович
г. Наро-Фоминск, СОШ № 3, 11 класс

Научный руководитель:
Смирнов Александр Анатольевич,
к. н., доцент кафедры «Колесные машины»
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Введение.

Сведения о первом практическом применении прообразов современных роботов — механических людей с автоматическим управлением — относятся к эллинистической эпохе. Тогда на маяке, сооружённом на острове Фарос, установили четыре позолоченные женские фигуры. Днём они горели в лучах солнца, а ночью ярко освещались, так что всегда были хорошо видны издалека. Эти статуи через определённые промежутки времени, поворачиваясь, отбивали склянки; в ночное же время они издавали трубные звуки, предупреждая мореплавателей о близости берега**.** Однако первый засвидетельствованный прототип робота был сделан русским инженером Пафнутием Чебышёвым в конце 19 века. А в 1898 году Никола Тесла разработал и продемонстрировал миниатюрное радиоуправляемое судно. Начало робототехники как науки было положено в 60-х годах 20 века.

Традиционный мобильный робот - это автоматическая машина, в которой имеется движущееся шасси с автоматически управляемыми приводами. Он имеет широкое основание и передвигается с малыми ускорениями во избежание потери устойчивости. Центр масс подобных мобильных колесных роботов стараются расположить как можно ближе к поверхности, по которой осуществляется движение, при этом для устойчивости у робота всегда имеется как минимум 3 точки опоры.

В настоящее время, начиная с 2003 года, все большую популярность набирают балансирующие роботы, среди которых и человекоподобные роботы, и индивидуальные средства передвижения: Segway (рис. 1а,б), EcoBoomer iGo (рис. 1,в) и многие другие. Они также используются в качестве охранников (мобильных видеокамер) (рис. 2а,б) и даже погрузчиков.

В действительности это очень перспективное направление: двухколесные балансирующие роботы имеют меньшее, в сравнении с другими колесными роботами, основание за счет отсутствия требования статической устойчивости. Колесная пара позволяет совершать поворот на месте, что дает им большую мобильность. Роботы подобной конструкции имеют пониженное энергопотребление, так как обладают меньшей массой, в отличии от колесных роботов с большим количеством колес.

Вместе с тем, подобные роботы не имеют устойчивого положения равновесия (опираются лишь на 2 точки), имеют сложное устройство, обладают плохой проходимостью и

устойчивостью на неровной поверхности. Так что создание такого робота является весьма актуальной задачей.

К разработке балансирующего робота меня подтолкнула идея создания балансирующего инвалидного кресла, которое бы обладало повышенной проходимостью, а именно оно могло бы взбираться на возвышенности (ступеньки, бордюр и т.п.), которое я хотел бы реализовать во время обучения в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Целью моей работы является моделирование и создание макета двухколесного балансирующего робота.

1. Общее описание робота.

Первым делом в создании робота мне следовало решить, какого вида будет мой балансирующий робот, как расположить такое количество деталей и при этом сохранить баланс. Просмотрев макеты балансирующих роботов, сделанных другими людьми, я понял, что корпус робота должен быть расположен вертикально для удержания баланса. Я планировал расположить на нем следующие детали: управляющий микроконтроллер, драйвер моторов (2 H-моста), акселерометр для измерения угла отклонения от вертикали, гироскоп для измерения угловой скорости, аккумулятор и

а)

б) в)

Рис. 1. Балансирующие транспортные средства: *а)* Segway i2; *б)* Segway x2; *в)* EcoBoomer iGo- самостоятельный балансирующий электрический байк.

а)

б)

Рис. 2. Роботы-охранники: *а*- GroundBot; б- alsok.

breadboard для того, чтобы можно было собирать электрические схемы, не прибегая к пайке.

Детали я расположил с обеих сторон корпуса, чтобы корпус робота не занимал большой объем, и его положение равновесия располагалось как можно ближе к вертикальной оси.

2. Описание основного принципа работы.

Я планировал, что показания с гироскопа и акселерометра на балансирующем роботе будут регулировать направление и скорость моторов при помощи формулы:

Скорость моторчиков = kpa*Угол отклонения +kpw*Угловая скорость,

где kpa и kpw – коэффициенты пропорциональности акселерометра и гироскопа, соответственно.

3. Назначение деталей.

Аппаратная платформа Arduino Uno (рис. 3) - это «мозг» робота. Именно он принимает сигналы с датчиков, обрабатывает их, преобразует их в понятную для человека информацию. Он подает напряжение на датчики и моторы. Также с помощью PWM (Pulse-Width Modulation, или широтно-импульсная модуляция) выходов можно регулировать скорость моторов.

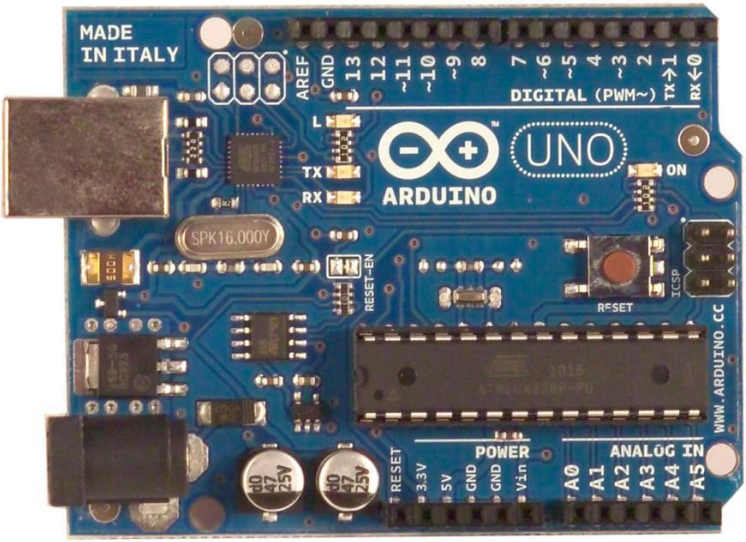


Рис. 3. Аппаратная платформа Arduino Uno.

Плата расширения Arduino Motor Shield (рис. 4) - два H-моста на основе микросхемы L298, используется для того, чтобы моторчики могли вращаться в обе стороны независимо друг от друга, а также позволяет подавать на них высокое напряжение без риска короткого замыкания.

Breadboard Half (рис. 5) – уменьшенная версия обычного breadboard. Breadboard - это электронный конструктор, позволяющий собирать электрические схемы непосредственно на самой плате не прибегая к пайке, который облегчает процесс

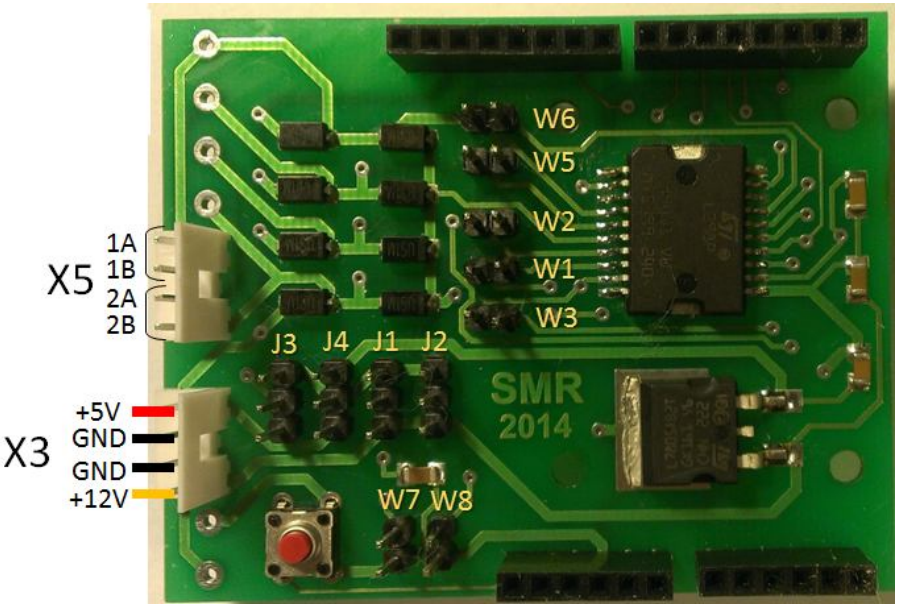


Рис. 4. Плата расширения Arduino Motor изготовлена на основе микросхемы L298.

собирания электрических схем. Состоит данное устройство из отверстий-гнезд с шагом 2,54мм (0,1 дюйма), именно с таким, либо кратным ему, шагом располагаются выводы на большинстве современных радиодеталей (SMD - не в счет). Макетные платы бывают различных размеров, но в большинстве случаев они состоят из вот таких одинаковых блоков. Схема электрических соединений гнезд изображена на правом рисунке: пять отверстий с каждой стороны, в каждом из рядов (в данном случае 30) электрически соединены между собой. Слева и справа находится по две линии питания: здесь все отверстия в столбце соединены между собой.

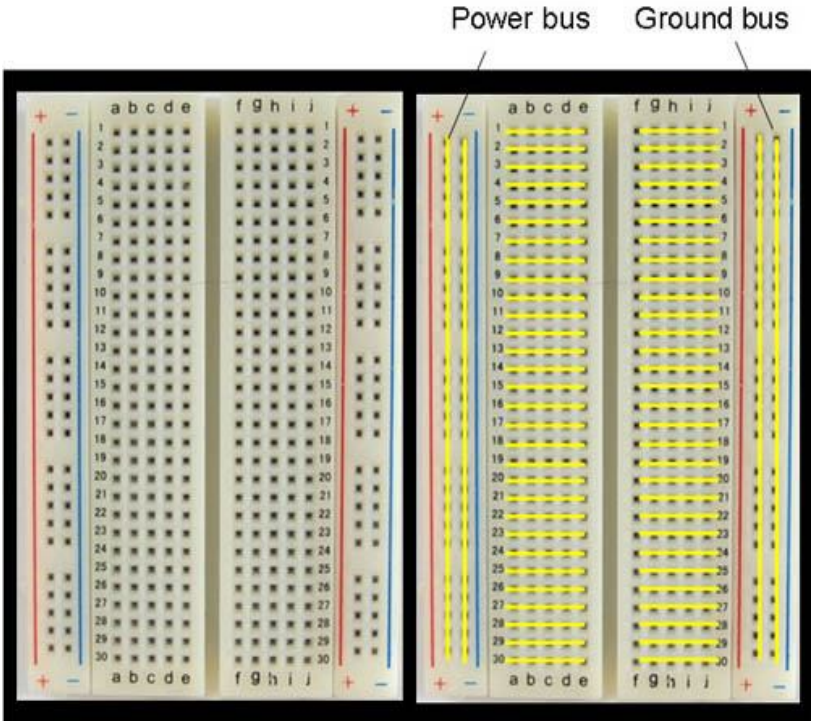


Рис. 5. Breadboard Half.

Прорезь по середине предназначена для установки и удобного извлечения микросхем в DIP-корпусах.

3-х осевой акселерометр MMA7361 (рис. 6) позволяет определять ускорение, действующее в направлении осей X, Y, Z, и применяется для определения ориентации объекта в пространстве: в данном случае для определения угла относительно положения равновесия. С помощью показаний ускорений относительно каждой оси определяет угол относительно положения равновесия. Выводом

является 3 параллельных аналоговых сигнала: по одному для каждой из осей. Уровень напряжения пропорционален величине ускорения, действующему вдоль оси. Для определения по этим данным ориентации в пространстве требуются вычисления на управляющем микроконтроллере.

Характеристики трёхосевого акселерометра MMA7361:

- Напряжение питания: 3,3 — 8В
- Потребляемый ток: 500мкА (3мкА в спящем режиме)
- Чувствительность: ±1,5g или ±6g
- Разрешение: 800мВ/g (при установленной чувствительности 1,5g)
- Частота обновления сигнала: 300Гц
- Габариты: 23×26мм
- Вес: 5г

Рис. 6. Трёхосевой акселерометр MMA7361.

Цифровой трёхосевой гироскоп AMP-G004 (рис. 7) на базе чипа ITG3200 позволяет определять угловую скорость вокруг собственных осей X, Y, Z. Также, как и для акселерометра, требуются вычисления на управляющем микроконтроллере, дабы определить угловую скорость. Так как в основе этого гироскопа лежит интегральная схема. Он посылает сигналы на микроконтроллер с помощью I²C, последовательной шины данных, использующей две двунаправленные линии связи (SDA-линия данных и SCL-линия тактирования). С их помощью можно всего лишь с использованием двух проводов подавать сигналы на микроконтроллер от нескольких сенсоров или же угловую скорость относительно нескольких осей.

Характеристики трёхосевого гироскопа AMP-G004

- Напряжение питания: 3 – 5 В
- Диапазон: ±2000 °/сек
- Чувствительность: 14,375 бит на °/сек
- Потребляемый ток: 6,5 мА при работе; 5 мкА в режиме сна
- Время включения: 50 мс
- Габариты: 25×20 мм
- Вес: 5 г

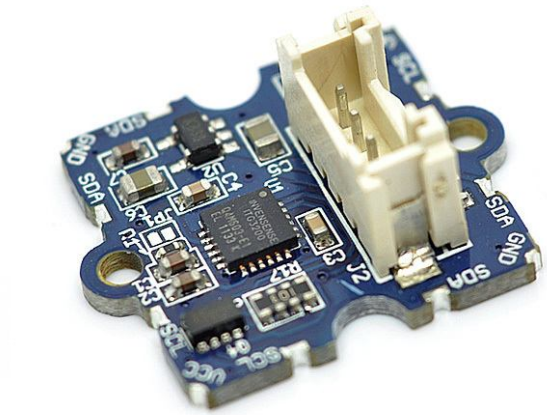


Рис. 7. Трёхосевой гироскоп AMP-G004.

Мотор-редуктор Gekko MR12-298 Turbo (12 мм) представлен на рис. 8.

Характеристики мотор-редуктора Gekko MR12-298 Turbo:

Рабочее напряжение: 3 - 9В

Номинальное напряжение: 6В

Передаточное отношение: 298:1

Скорость без нагрузки: 110об/мин

Ток без нагрузки: 80мА

Ток при блокировке: 1600мА

Крутящий момент: 5кг*см

Диаметр вала: 3мм

Размер (ДхШхВ): 25х12х10мм

Рис. 8. Мотор-редуктор Gekko MR12-298 Turbo (12 мм).

В качестве аккумулятора я использовал батарейный отсек на 4 пальчиковые батарейки (рис.9,а), и последовательно к нему подключил еще 2 пальчиковые батарейки (рис. 9,б), чтобы в результате получилось нужное мне ЭДС = 9В, т.к. внешнее питание на Arduino должно быть от 7 до 12В, а батарейный отсек на 4АА выдает лишь 6 В.

а) б)

Рис. 9: *а)* батарейный отсек 4 АА; *б)* пальчиковые батарейки.

Колёса Pololu (60×8 мм, пара) (рис.10,а) идеально подходят к моторчикам Gekko MR12-298 Turbo (12 мм) и даже не требуют монтажной втулки для крепления на моторы. Размеры колеса представлены на чертеже в миллиметрах (рис.10-б)

Рис. 10,а. Колесная пара Pololu.

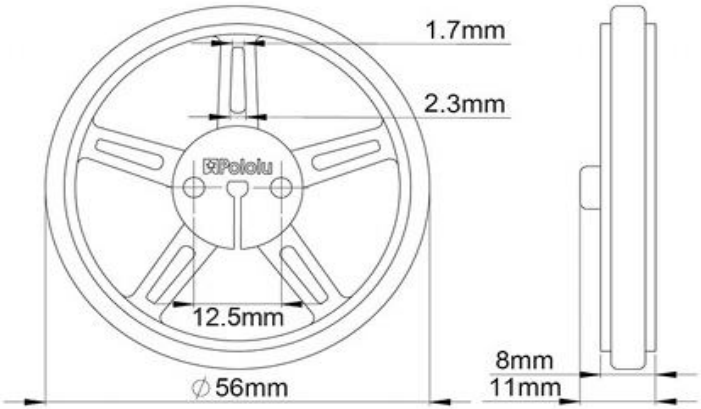


Рис. 10,б. Чертёж колеса.

4. Расчет в программе Mathcad.

С помощью программы Mathcad я рассчитал максимальный крутящий момент моторов и их максимальную угловую скорость (приложение 1, рис. а), а также создал график зависимости крутящего момента от угловой скорости (приложение 1, рис. б)

5. Моделирование в программе SolidWorks.

Посмотрев несколько видеоуроков на http://www.youtube.com/, я приступил к разработке чертежа. Корпус я решил сделать П-образной формы, затем я начал моделировать отдельно каждую деталь. Габариты деталей я измерял с помощью штангенциркуля и соответственно по ним наносил размеры на детали в SolidWorks. После того, как все детали были смоделированы, я приступил к сборке. В процессе сборки я подобрал оптимальный размер корпуса и расположил на нем детали следующим образом: микроконтроллер с платой расширением Arduino Motor Shield на нем, breadboard, и моторчики с колесами у «ножек» робота. На другой стороне я расположил гироскоп, акселерометр и аккумулятор с батарейками. Посмотреть чертеж с проставленными размерами можно в Приложении 2.

6. Сборка балансирующего робота.

6.1. Сборка электрической цепи.

Прежде чем собрать самого робота, нужно было собрать рабочую цепь из всех деталей. Так как гироскоп подключается

через I2C шину, то первым делом я должен был подключить его. I2C шина имеет свою специфику подключения: помимо питания, которое мы подаем на сенсор, нам еще необходимо подавать питание как на линию тактирования SCL, которую необходимо подключить к аналоговому входу 5, так и на линию данных SDA, которая подключается к аналоговому входу 4, используя подтягивающие к напряжению питания резисторы на 10кОм. Схема подключения гироскопа представлена в приложении 3, рис. а.

Далее я подключил акселерометр, параллельно подключил к цепи на 5В провода от каждой оси, а линии данных подключил следующим образом: для оси Y - аналоговый вход 2, а для оси Z - аналоговый вход 1 (схему см. в приложении 3, рис. б).

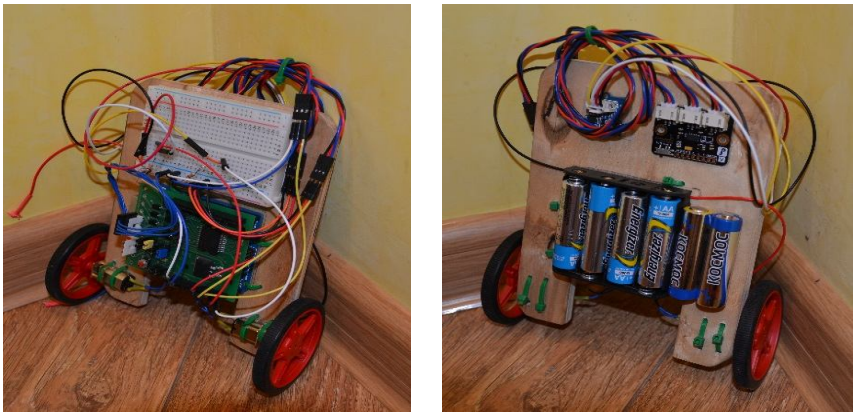
Моторчики я подключил через Плату расширение Arduino Motor Shield (2 H-моста). Схему H-моста можно посмотреть в приложении 3 рис. в.

В итоге получилась схема, показанная в приложении 3, рис. г.

6.2. Сборка каркаса робота.

Зафиксировать детали робота на корпусе с двух сторон – непростая задача. Легкие детали, такие как гироскоп, акселерометр, батарейка Крона и breadboard я закрепил с помощью двухсторонней клейкой ленты. Детали имеют ровную поверхность, поэтому они отлично приклеились клейкой лентой. Саму же аппаратную платформу Arduino Uno с драйвером моторов на ней я закрепил с

помощью «поясков», которые обычно используют для стягивания проводов в пучок. С их помощью я также закрепил моторчики (рис 11а,б).



а) *б)*

Рис. 11. Балансирующий робот: *а)* вид на сторону с микроконтроллером; *б)* вид на сторону с аккумулятором.

7. Программирование в Arduino.

Язык программирования Ардуино является стандартным C++ . При этом используется компилятор AVR-GCC с некоторыми особенностями. Программы в данном языке в основном состоят из двух основных функций, перед которыми обычно включаются требующиеся библиотеки и обозначаются необходимые переменные и пины (входы/выходы на микроконтроллере). Функция void setup повторяется один раз, и в ней в основном идет установка выводов и вводов на эти пины. OUTPUT означает, что на этот пин будут подаваться сигналы с микроконтроллера, INPUT

означает, что эти пины будут принимать сигналы от внешних устройств. Функция void loop – это бесконечный повторяющийся цикл, именно в него записываются основные действия, которые должен произвести микроконтроллер.

7.1. Программирование моторчиков.

Для начала необходимо было проверить работу моторчиков. Я собрал простую схему: плата Ардуино, драйвер моторов, 2 моторчика и 4 соединительных провода; и написал программу, которая вращает моторчики в одну, а спустя 2 секунды в другую сторону:

```
int Enable1Pin = 2;    //пины для подключения микросхемы
int IN1Pin = 3;        //микросхемы и управления
int IN2Pin = 5;        //обмоткой 1
int Enable2Pin = 4;    //пины для подключения
int IN3Pin = 6;        //микросхемы и управления
int IN4Pin = 9;        //обмоткой 2

void setup() {
  //устанавливаем все пины как выводы
  pinMode(Enable1Pin, OUTPUT);
  pinMode(Enable2Pin, OUTPUT);
  pinMode(IN1Pin, OUTPUT);
  pinMode(IN2Pin, OUTPUT);
  pinMode(IN3Pin, OUTPUT);
  pinMode(IN4Pin, OUTPUT);
```

```
  digitalWrite(Enable1Pin,LOW); //отключаем обе обмотки
  digitalWrite(Enable2Pin,LOW);
 }
 void loop() {
  digitalWrite(Enable1Pin,HIGH);//включаем обе обмотки
  digitalWrite(Enable2Pin,HIGH);
  //подаем напряжение так, чтобы оба моторчика вращались в
одну сторону
  digitalWrite(IN1Pin,HIGH);
  digitalWrite(IN2Pin,LOW);
  digitalWrite(IN3Pin,HIGH);
  digitalWrite(IN4Pin,LOW);
  delay(2000);//пауза 2 секунды, перед переходом к следующей
строке
  //подаем напряжение так, чтобы оба моторчика вращались во
вторую сторону
  digitalWrite(IN1Pin,LOW);
  digitalWrite(IN2Pin,HIGH);
  digitalWrite(IN3Pin,LOW);
  digitalWrite(IN4Pin,HIGH);
  delay(2000);//пауза 2 секунды, перед повторением функции}
```

7.2. Программирование акселерометра.

Убедившись, что моторчики работают правильно, я приступил к регулированию и отладке акселерометра. К счастью, на сайте https://github.com/ уже была выложена программа акселерометра, однако она требовала настройки, поскольку она выводила ускорение относительно каждой оси, и с погрешностью. Для того, чтобы получить угол отклонения относительно положения равновесия, я использовал показания датчика ускорения по оси Z и по оси Y. Формула, по которой вычисляется угол отклонения робота от вертикали, имеет вид (рис. 12):

$$a = \operatorname{arctg}\left(\frac{val\_z}{|val\_y|}\right),$$

где *val_y* – показания датчика по оси Y,

val_z – показания датчика по оси Z.

В языке C для вычисления арктангенса используется функция «atan», которая выдает значение угла в радианах. Для перевода этого значения в градусы использовался множитель 180/π.

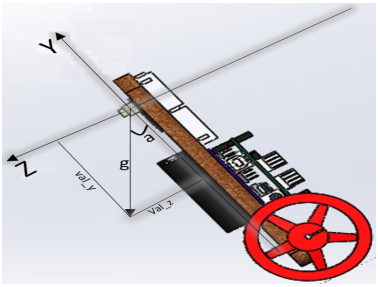


Рис. 12. Графическое обоснование формулы для нахождения угла отклонения.

Пример разработанной программы представлен ниже:

```
#include<math.h>
#include<stdio.h>// включаем необходимые библиотеки

#define A_Y  2
#define A_Z  1
int const y0=358;// показания акселерометра по Y при ускорении свободного падения = 0 (относительно Y)
int const z0=291;// показания акселерометра по Z при ускорении свободного падения = 0 (относительно Z)
int val_y=0;
int val_z=0;
double b;
void setup()
{
 pinMode(A_Y,INPUT);
 pinMode(A_Z,INPUT);
 Serial.begin(9600);
}
void loop()
{
 float a;
  for (int i=0;i<10;i++)
  {
   val_y+=analogRead(A_Y);delay(2);
   val_z+=analogRead(A_Z);delay(2);
```

```
}
  val_y=val_y/10;//(вычислили среднее по 10 измерениям)
 val_z=val_z/10;//(вычислили среднее по 10 измерениям)
 val_y=val_y-y0;
 val_z=val_z-z0;
 delay(300);
  Serial.print("   ");
 Serial.print(" Z_Axis: ");
 Serial.print(val_z);//выводим на монитор порта показания с оси Z
  Serial.print("   ");
   Serial.print(" Y_Axis: ");
 Serial.print(val_y);//выводим на монитор порта показания с оси Y
 Serial.print("      ");
 b=(double) ((val_z))/(abs(val_y));
 a=-atan(b)/3.14*180; //угол отклонения от вертикали в градусах (знак плюс соответствует отклонению в сторону батареек)
 Serial.print(" A: ");
 Serial.println(a); //выводим на монитор порта угол отклонения от вертикали в градусах
 val_y=0;
 val_z=0;// снова присваиваем показаниям с оси Y и Z значение 0 ,чтобы функция повторялась снова
}
```

7.3. Программирование гироскопа.

Пожалуй, главная проблема программирования гироскопа - сложность найти для него программу и библиотеку на сайте https://github.com/. После этого я лишь исключил лишние функции, то есть убрал функции, отвечающие за вывод с углового ускорения относительно осей Y и Z, чтобы те не несли лишнюю нагрузку на микроконтроллер.

```
#include <Wire.h>
#include "ITG3200.h"
#include <Wire.h>//включаем необходимые библиотеки
#include "ITG3200.h"
ITG3200 gyro;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  gyro.init();
  gyro.zeroCalibrate(200,10);//считываем 200 раз показания с гироскопа, чтобы откалибровать его (процедура занимает 2 секунды)
}
void loop()
{
  int x,y,z;
  gyro.getXYZ(&x,&y,&z);
```

```
        Serial.print("вывод значений с оси X: ");
        Serial.print(x);
        Serial.print("   ");
        float ax,ay,az;
        gyro.getAngularVelocity(&ax,&ay,&az);//преобразования
показаний с осей X Y Z в угловые скорости (в частности в ax)
        Serial.print("скорость угла отклонения относительно оси X:
");
        Serial.print(ax);
        Serial.println(" градусов в секунду");
        delay(100);// пауза 100 миллисекунд перед считыванием
нового показания с гироскопа
    }
```

7.4. Программа для балансирующего робота.

Настроить программу для робота было проблематично. Во-первых, потому что он имел перевес в сторону платы Arduino, хотя детали расположены с разных сторон. Мне пришлось рассчитать поправку на угол равновесия робота. Во-вторых, ввести переменную, которая бы отвечала за скорость и направление электромоторов. Для того чтобы его рассчитать, мне также пришлось ввести коэффициент пропорциональности для акселерометра и гироскопа, и методом подбора найти подходящий, чтобы робот мог балансировать. Пример получившейся программы можно увидеть далее:

```
#include <Wire.h>
```

```
#include "ITG3200.h"
#include<math.h>
#include<stdio.h>
//включаем все требуемые нам библиотеки в наш код
#define A_X  3
#define A_Y  2
#define A_Z  1
ITG3200 gyro;
int kd=5;//коэфицент пропорциональности гироскопа
int kp=30;// коэфицент пропорциональности акселерометра
int Enable1Pin = 2;    //пины для подключения микросхемы
int IN1Pin = 3;        //микросхемы и управления
int IN2Pin = 5;        //обмоткой 1
int Enable2Pin = 4;    //пины для подключения
int IN3Pin = 6;        //микросхемы и управления
int IN4Pin = 9;        //обмоткой 2
int const y0=358;// показания акселерометра по Y при ускорении свободного падения=0)
int const z0=291;// показания акселерометра по Z при ускорении свободного падения=0)
float const a0=15;//поправка на угол равновесие робота
float const gx0=0;// поправка на гироскоп
int val_y=0;
int val_z=0;
double b;
```

```
float u=0; //управляющий аналог сигнал на моторы
int dir;
void setup()
{
  pinMode(Enable1Pin, OUTPUT);
 pinMode(Enable2Pin, OUTPUT);
 pinMode(IN1Pin, OUTPUT);
 pinMode(IN2Pin, OUTPUT);
 pinMode(IN3Pin, OUTPUT);
 pinMode(IN4Pin, OUTPUT);
 digitalWrite(Enable1Pin,LOW);
 digitalWrite(Enable2Pin,LOW);
 pinMode(A_X,INPUT);
 pinMode(A_Y,INPUT);
 pinMode(A_Z,INPUT);
 Serial.begin(9600);
 gyro.init();
 gyro.zeroCalibrate(200,10);
}
void loop()
{
 float a;
  for (int i=0;i<10;i++)
 {
   val_y+=analogRead(A_Y);delay(2);
```

```
 val_z+=analogRead(A_Z);delay(2);
}
 val_y=val_y/10; //(вычислили среднее по 10 измерениям) round((val_y/10.0-361.0)/165.0*90.0);
 val_z=val_z/10;//(вычислили среднее по 10 измерениям) round((val_z/10.0-291.0)/161.0*90.0-17.0) ;
 val_y=val_y-y0;
 val_z=val_z-z0;
 //я убрал все сериалы*, чтобы не давать лишнюю нагрузку на Arduino Uno
 b=(double) ((val_z))/(abs(val_y));
 a=-(atan(b)/3.14*180-a0); //угол отклонения от вертикали в градусах (знак плюс соответствует отклонению в сторону батареек)
 float wx,wy,wz;
 gyro.getAngularVelocity(&wx,&wy,&wz);
u=kp*a+wx*kd;
if(u>=0)
{
  dir=1;
}
else
{
  dir=0;
}
u=abs(u);
```

```
if(u>255)
{
  u=255;
}
digitalWrite(Enable1Pin,HIGH);
digitalWrite(Enable2Pin,HIGH);
analogWrite(IN1Pin,u*(0 xor dir));//задаем моторчикам скорость и направление в зависимости от показаний гироскопа и акселерометра
analogWrite(IN2Pin,u*(1 xor dir));//скорость и направление
analogWrite(IN3Pin,u*(0 xor dir));//в зависимости от показаний
analogWrite(IN4Pin,u*(1 xor dir));//гироскопа и акселерометра
if(a>45)// если робот отклоняется от угла равновесия больше чем на 45 градусов, то перестает подавать напряжение на моторчики
{
  digitalWrite(Enable1Pin,LOW);
  digitalWrite(Enable2Pin,LOW);
}
else if(a<-45)
{
  digitalWrite(Enable1Pin,LOW);
  digitalWrite(Enable2Pin,LOW);
}
```

```
}
```

Заключение.

Разработанный мною макет балансирующего робота показывает возможность создания такого робота. Разработанный алгоритм может быть также применён для полноразмерного устройства. В ходе дальнейших работ я планирую «научить» робота не только балансировать, но и передвигаться.

Литература:

1. В.Н. Гололобов. С чего начинаются роботы? – Москва, 2011, 189 с.
2. http://habrahabr.ru/ (интернет ресурс, на котором пользователи выкладывают свои разработки, а также отвечают на вопросы, касающиеся различного рода инженерных вопросов).
3. https://ru.wikipedia.org/ (Свободная Энциклопедия, которой мне зачастую приходилось пользоваться, чтобы узнать необходимую информацию).
4. http://wiki.amperka.ru/ (на этом интернет ресурсе я смотрел информацию о деталях робота).
5. https://github.com/ (сайт, на который разработчики выкладывают библиотеки и готовые программы к своим устройствам).
6. http://www.youtube.com/ (На этом видеохостинге я смотрел уроки по программированию и 3D моделированию).

Приложение 1. Расчёт в Mathcad.

Расчет моторов балансирующего робота

$m_r := 500 \cdot gm$ Масса балансирующего робота

$g = 9.807 \frac{m}{s^2}$ Ускорение свободного падения

$\varphi := 0.02$ Максимальный коэффициент сопротивления движению

$v_{max} := 300 \cdot \frac{mm}{s}$ Максимальная скорость, которую должен развивать робот

$r_k := 30 \cdot mm$ Радиус колеса

$i_r := 298$ Передаточное отношение редуктора

$\omega_k := \frac{v_{max}}{r_k} = 10 \frac{1}{s}$ Максимальная угловая скорость колеса (рад/с)

$\omega_k = 95.493 \cdot rpm$ Максимальная частота вращения выходного вала мотор-редуктора (об/мин)

$\omega_d := \omega_k \cdot i_r = 28457 \cdot rpm$ Максимальная частота вала мотора (об/мин)

$M_k := \frac{m_r}{2} \cdot g \cdot \varphi \cdot r_k = 0.147 \cdot N \cdot cm$ Максимальный крутящий момент на одном колесе (Н*см)

$\eta := 0.8$ КПД редуктора

$M_d := \frac{M_k}{i_r \cdot \eta} = 6.17 \times 10^{-4} \cdot N \cdot cm$ Максимальный потребный крутящий момент на одном моторе (Н*см)

Построение характеристики мотор-редуктора

В магазине продаются мотор-редукторы со следующими параметрами

Передача	Скорость без нагрузки ($мин^{-1}$)	Крутящий момент (кг×см)
1:50	640	1,1
1:100	320	2,2
1:150	215	2,9
1:298	110	5
1:1000	32	9

Выбираем мотор-редуктор с передаточным числом 1:298

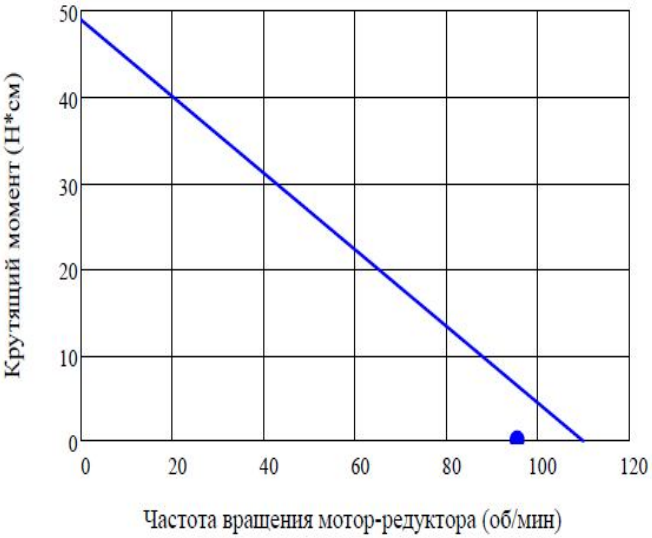
$n_{max} := 110 \cdot rpm$ $M_{max} := 5 \cdot kgf \cdot cm$ $M_{max} = 0.49 \cdot N \cdot m$

Координаты точек характеристики мотор-редуктора

$n_1 := 0$ $M_1 := M_{max}$

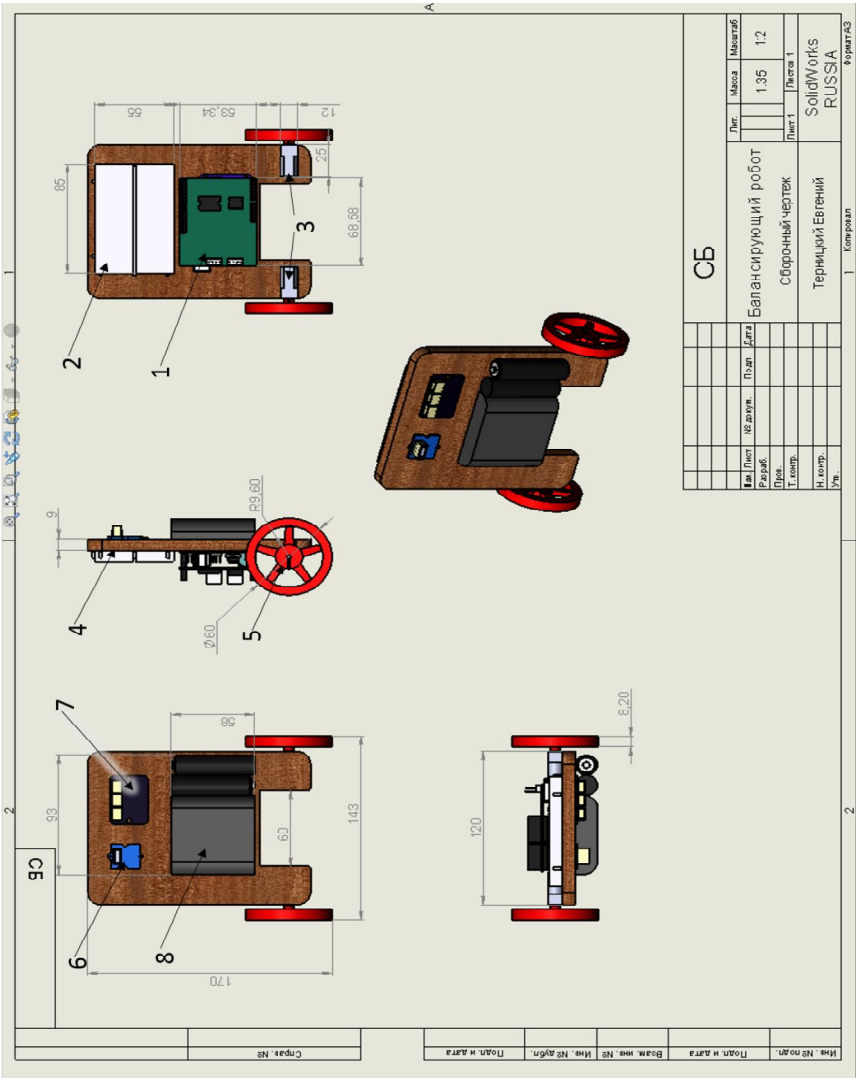
$n_2 := n_{max}$ $M_2 := 0$

Координаты рабочей точки: ω_k , M_k



Рабочая точка находится под линией характеристики мотора-редуктора, следовательно выбранный мотор-редуктор подходит.

Приложение 2. Чертёж балансирующего робота.



Пояснения к чертежу:

1 - микроконтроллер Arduino Uno с Motor Shield`ом;

2 - breadboard; 3 - моторчики Gekko; 4 - корпус робота;

5 - колесо; 6 - гироскоп; 7- акселерометр; 8 - аккумулятор с батарейками.

Приложение 3. Электрические схемы.

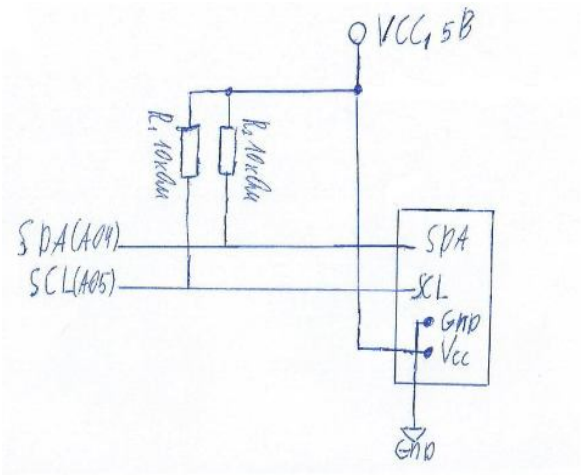


Рис. а. Электрическая схема подключения гироскопа.:
R1 и R2- резисторы с сопротивлением 10 кОм;
VCC- вывод на 5 Вольт; GND- земля;
SDA и SCL- линии данных и тактирования;
A04 и A05- аналоговые входы на микроконтроллере.

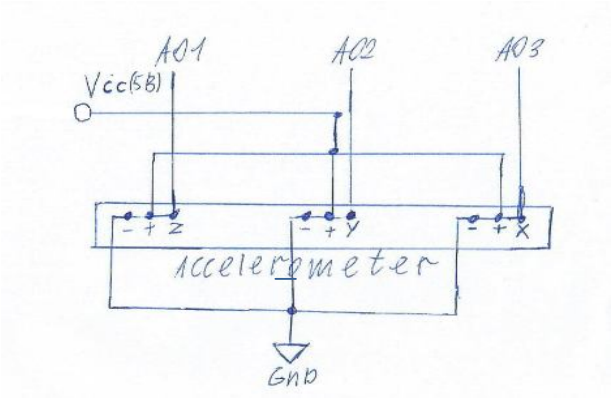


Рис. б. Электрическая схема 3-х осевого акселерометра MMA7361.

VCC- вывод на 5 Вольт; GND- земля; z, y, x- оси, относительно которых акселерометр показывает ускорение свободного падения;
A01, A02, A03- аналоговые входы на микроконтроллере

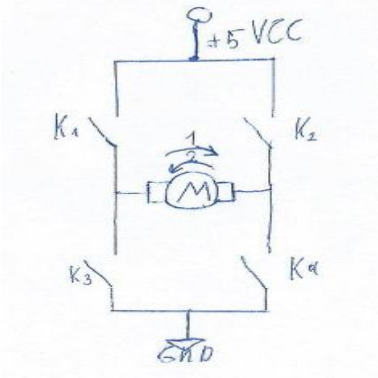


Рис. в. Электрическая схема простейшего Н-моста.

K - ключи; M - мотор; VCC - вывод на 5 Вольт; GND - земля;
Принцип работы Н-моста следующий: когда замыкаем 1 и 4 ключи (остальные разомкнуты), то моторчик вращается в одну сторону, если же замыкаем 2 и 3 ключи (остальные разомкнуты) моторчик вращается в другую сторону.

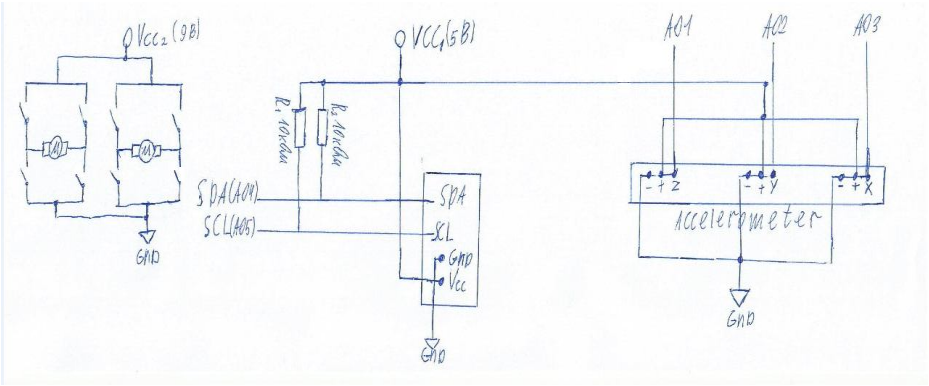


Рис. г. Схема подключения датчиков и моторов к Arduino Uno (упрощенная).

VCC1 - вывод на датчики (5В от Ардуино); VCC2 - вывод на моторчики (9В от внешнего источника питания платы), это объясняется тем, что датчики настроены на напряжение 5 Вольт (при большем напряжении они могут сгореть), а на моторчики подается 9 вольт потому, что они подключены к PWM выходам и их скорость можно регулировать, а чем больше напряжение, тем больше и максимальная скорость.

СЕКЦИЯ VIII. Энергетика и экология

Программа для эскизного проектирования цилиндропоршневой группы дизельного двигателя внутреннего сгорания

МЕТЕЛЬКОВ Иван Александрович
г. Москва, ГОУ Лицей №1580, 11 класс

Научный руководитель:
Зенкин Владимир Александрович,
к.т.н., доцент кафедры
«Поршневые двигатели»
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Введение. Общая информация по цилиндропоршневой группе.

Поршень является наиболее характерной деталью двигателя внутреннего сгорания (ДВС), непосредственно реализующей его термодинамический цикл. Кроме давления горячих газов, часто превышающего 10–15МПа, на поршень действуют тепловые нагрузки, связанные с отводом в поршень при работе двигателя значительного количества теплоты от горячих газов и выделяющейся в результате трения при движении элементов поршневой группы. Поршень можно условно разделить на три пояса в направлении оси цилиндра (рис. 1):

1) верхний (жаровой), соответствующий головке поршня и занимающий место от верхней кромки днища до первого поршневого кольца;
2) уплотнительный (место расположения поршневых колец);
3) опорный, соответствующий юбке поршня и месту расположения поршневого пальца в тронковых двигателях.

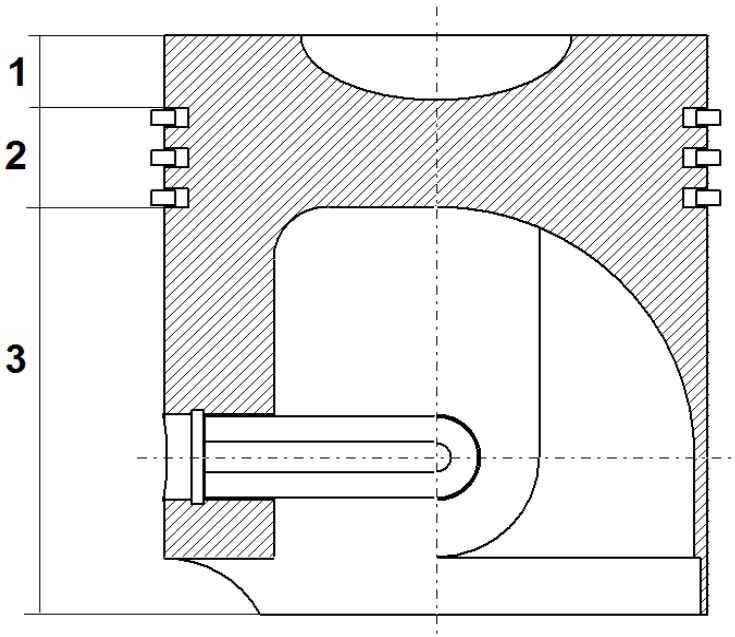


Рис. 1. Поршень, разделенный на пояса.

В двигателях с тронковым кривошипно-шатунным механизмом передача сил давления газов и инерции от поршня шатуну производится с помощью поршневого пальца, являющегося осью и осуществляющего шарнирное соединение поршня с

шатуном. В связи с тяжелыми условиями работы к материалу пальца предъявляют повышенные требования. После термической обработки палец должен иметь значительную твердость трущихся поверхностей при вязкой сердцевине.

При работе двигателя поршневой палец испытывает переменные по углу поворота коленчатого вала и неравномерно распределенные по поверхности пальца усилия со стороны бобышек поршня и верхней головки шатуна. Так же происходит овализация пустотелого пальца. Она связана с приобретением им формы овала с большим размером в плоскости, перпендикулярной оси цилиндра двигателя, под действием сил, неравномерно распределенных по поверхности пальца. Все это приводит к износу пальца. Поскольку разрушения пальцев связаны, как правило, с появлением усталостных трещин, то следует определить коэффициент запаса прочности при расчете на сопротивление усталости.

Поршневые кольца уплотняют полость камеры сгорания, частично передают теплоту от поршня в стенку цилиндра, препятствуют попаданию масла из картера в камеру сгорания, чем препятствуют значительному его выгоранию. Многообразие функций, которые выполняют кольца, с учетом особенностей конструкций поршневой группы у двигателей разных типов и назначения обусловили большое разнообразие конструкций как компрессионных, так и маслосъемных колец. При расчете

напряженно-деформированного состояния в кольце различают три вида напряжений:

- рабочие напряжения, действующие в кольце при его нахождении в цилиндре во время работы двигателя;
- напряжения при обработке резанием заготовки кольца;
- напряжения, возникающие в кольце при его надевании на поршень.

Второй и третий виды напряжения действуют короткое время в отличие от рабочих напряжений, которые с учетом длительного их действия и повышенной температуры кольца не должны вызывать значительную ползучесть его материала.

Нагрузка на поршень, в частности, на поршневой палец и поршневые кольца, очень большая. Вся сила взрыва топлива приходится на эти элементы конструкции. Именно поэтому очень важно правильно рассчитать нагрузки и вычислить коэффициенты запаса. Разработанная в данной работе компьютерная программа быстро строит эскиз детали по заданным параметрам, рассчитывает нагрузки и, учитывая эти нагрузки, выводит ключевые размеры деталей конструкции.

Цели и задачи работы.

Целью данной работы является написание компьютерной программы для эскизного проектирования поршневой группы дизельного двигателя внутреннего сгорания.

При выполнении работы были поставлены три основные задачи:

- ознакомление с теоретическими сведениями по поршневым двигателям;
- написание программы для эскизного построения поршневой группы дизельного двигателя на языке Pascal;
- выполнение чертежа в программе Компас по данным, полученным из программы.

Актуальность данной проблемы заключается в том, что с ее помощью инженер может визуально представить эскиз детали, а также сэкономить время на расчетах, так как программа сама их выполнит.

Пользовательский интерфейс.

Программа написана на языке Pascal в среде Lazarus и предназначена для работы в ОС Windows. Данная программа имеет оконный интерфейс и очень проста в использовании. Код программы приведен в приложении 1. Необходимо ввести величины: диаметр, максимальное давление, отношение внутреннего диаметра пальца к внешнему диаметру, коэффициент запаса. Затем нажать на кнопку, которая запустит программу.

Для корректной работы программы необходимо, чтобы вводные данные были внесены во все поля. Численные данные выводятся в поле Memo под кнопкой.

Далее приведен результат работы программы (рис. 2).

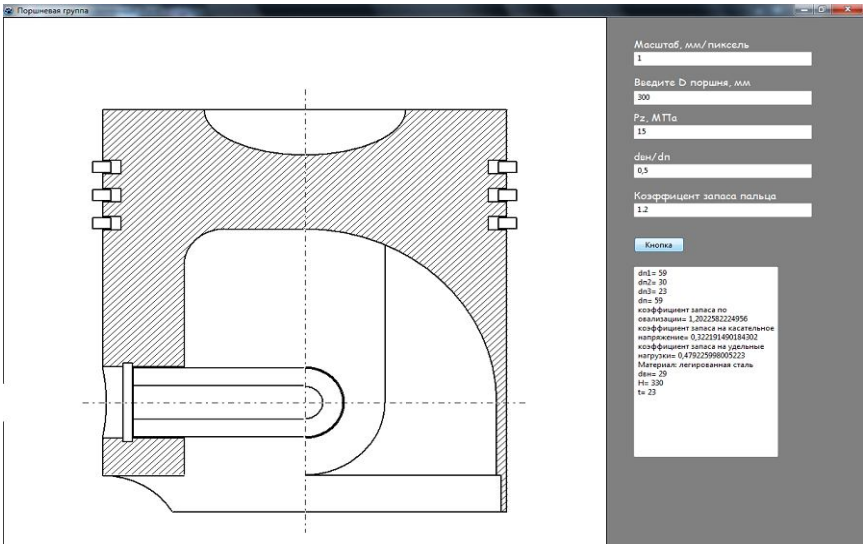


Рис. 2. Результат работы программы.

Алгоритм работы программы

Исходными для расчета являются следующие несколько параметров:

- Масштаб;
- Диаметр поршня;
- Максимальное давление сгорания;
- Отношение внутреннего диаметра поршневого пальца к внешнему диаметру;
- Коэффициент запаса;

Из этих значений рассчитываются нагрузки на поршневой палец и кольца, а затем рассчитываются размеры деталей и выводятся на экран. В программу заложено несколько зависимостей, характеризующих работоспособность поршневой группы. Во-первых, учитывается удельная нагрузка на опорные поверхности пальца:

$$k = \frac{P_z}{d_n l_0},$$

где P_z - максимальная сила давления, $d_п$ - диаметр пальца и l_0- длина опорной поверхности пальца в бобышках.

Значение удельной нагрузки на опорные поверхности пальца взяты из таблицы 1.

Таблица 1. Допустимые значения удельных нагрузок k ($Н/см^2 \cdot 10^2$).

Тип пальца	В поршневой головке шатуна	В бобышках поршня		
	Втулка из бронзы или баббита	из чугуна (втулок нет)	из алюминиевого сплава	
			Втулок нет	Бронзовые втулки
Судовые и стационарные тихоходные				
Плавающий	15–25	35–40	25–30	35–40
Судовые быстроходные и тепловозные				
Плавающий	25–80	32–45	До 50	До 60
Автомобильные и тракторные				
Плавающий или закрепленный в шатуне	35–55	35–55	30–50	35–60
Быстроходные форсированные				
Плавающий	50–90	50–80	–	50–80

Для двигателей автотракторного типа данная величина не должна превышать 60Н/см^2. С учетом коэффициента запаса n из данной формулы может быть выражен наружный диаметр пальца:

$$d_n = \frac{P_z}{k l_0}$$

Во-вторых, учитывается максимальное касательное напряжение на оси пальца:

$$\tau_{\max} = 0{,}85\left(P_z + P_{jn}\right)\left(1+\alpha+\alpha^2\right) / \left(d_n^2\left(1-\alpha^4\right)\right),$$

где α - это отношение внутреннего диаметра поршневого пальца к внешнему диаметру, P_{jn} - это сила инерции поршневого пальца.

Значения максимального касательного напряжения на оси пальца из углеродистой стали не должны превышать 250 МПа. Из нижеследующей формулы находится диаметр пальца и сравнивается с предыдущим, и из них выбирается наибольший.

$$d_n = \sqrt{\frac{0.85\left(P_z + P_{jn}\right)\left(1+\alpha+\alpha^2\right)}{\tau_{\max}\left(1-\alpha^4\right)}}$$

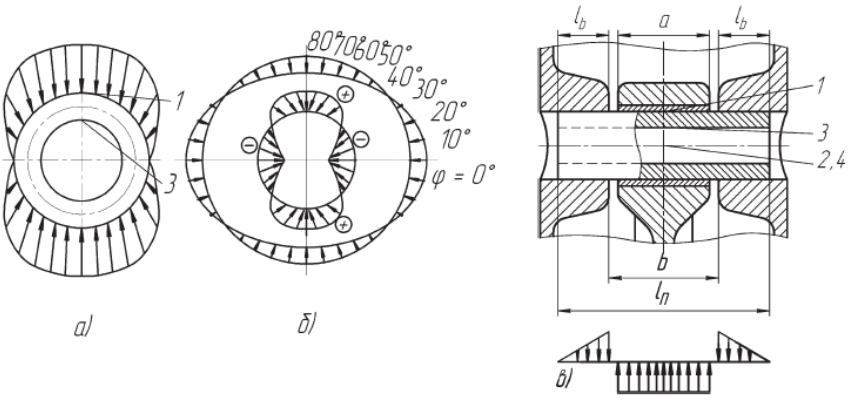


Рис. 3. Схема нагрузок на палец.

В-третьих, учитывается напряжение от овализации пальца, которое может быть определено как

$$\sigma = \left(P_{z+}P_{j.n}\right)\left[\frac{0{,}174(1+2\alpha)(1+\alpha)}{(1-\alpha)^2} - \frac{0{,}636}{1-\alpha}\right]\frac{A}{l_n d_n}$$

$$A = 1{,}5 - 15(\alpha - 0{,}4)^3 ,$$

где $l_п$- длина пальца.

Из этой формулы находится диаметр пальца и сравнивается с предыдущим, и из них выбирается наибольший.

$$d_n = \left(P_z + P_{jn}\right)\left[\frac{0{,}174(1+2\alpha)(1+\alpha)}{(1-\alpha)^2} - \frac{0{,}636}{1-\alpha}\right]\frac{A}{\sigma l_n}$$

Толщина кольца определяется исходя из ограничения на наибольшее рабочее напряжение в кольца. Наибольшее рабочее напряжение в кольце:

$$\sigma_p = 3p\left(D/l\right)^2 ,$$

p - давление кольца на стенку, l- толщина кольца

Из этой формулы находится толщина кольца.

$$l = D\sqrt{\frac{3p}{\sigma}}$$

Значения давления кольца на стенку и наибольшего рабочего напряжения в кольце определяется из таблицы 2.

Таблица 2. Допускаемые напряжения в поршневых кольцах и давление на стенку цилиндра.

Двигатели	$\sigma_н$, МПа	$\sigma_р$, МПа	p, МПа
Малооборотные	200	80–150	0,03–0,06
Быстроходные (тепловозные, судовые)	250	100–200	0,06–0,20
Автомобильные и тракторные	300	150–250	0,15–0,40
Легкие повышенной мощности	400	200–350	0,30–0,60

На рис. 4 представлены схемы нагрузок на кольцо.

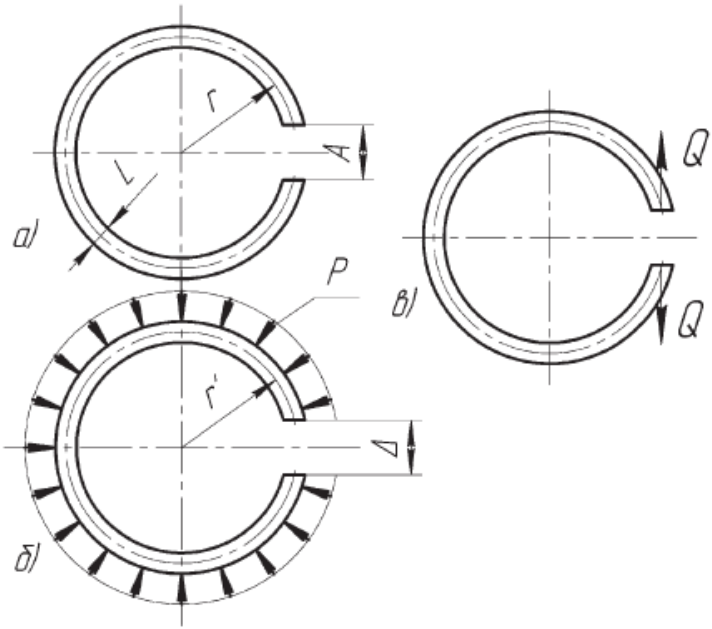


Рис. 4. Схемы нагрузок на кольцо.

На основании полученных размеров программа выполняет построение эскиза поршня. На рисунке 5 приведено сравнение двух эскизов поршня, построенных программой, для различных максимальных давлений сгорания.

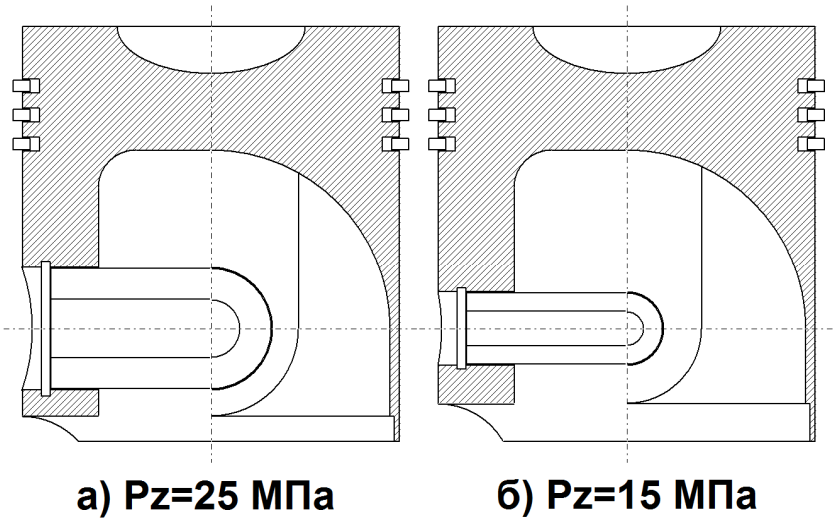


Рис. 5. Сравнение работы программы.

Апробация программы.

Разработанная компьютерная программа была применена для проектирования поршня двигателя СМД-31 (6ЧН12/14) (рис. 6). Двигатель выпускался на Харьковском заводе "Серп и Молот". Двигатели серии СМД устанавливались на крупную сельскохозяйственную технику. В частности, двигатель СМД-31 мощностью 235л.с. использовался для зерноуборочного комбайна «Дон-1500» АО «Ростсельмаш» г. Ростов. Диаметр цилиндра составляет 120 мм.

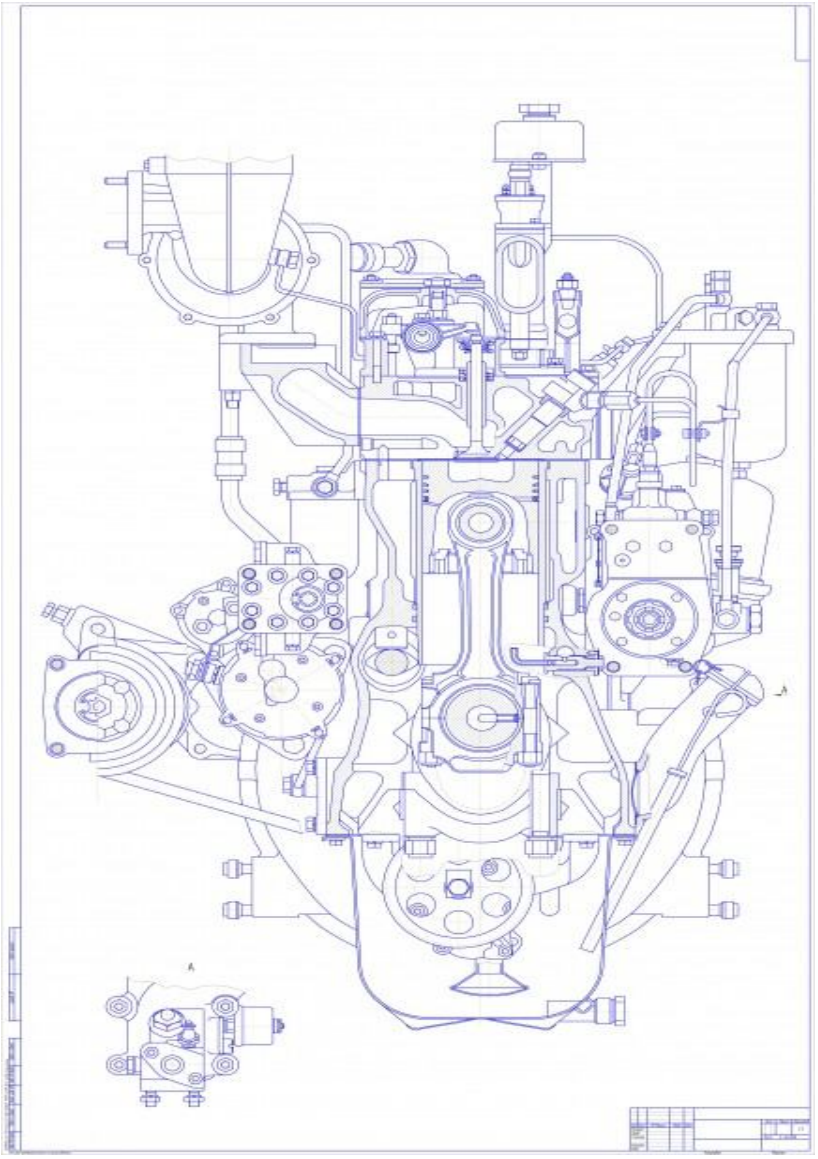


Рис. 6. Двигатель СМД-31.

Рассматриваемая модификация двигателя характеризуется максимальным давлением сгорания P_z = 13 МПа. Была рассмотрена возможность повышения максимального давления сгорания до P_z = 19 МПа. С помощью разработанной программы было установлено, что с учетом неизменного коэффициента запаса n = 1.2, увеличение давления сгорания предполагает увеличение минимального значения диаметра поршневого пальца с 29мм до 43мм. Автоматическое построение эскиза позволяет моментально убедиться в принципиальной реализуемости конструкции поршневой группы. По определенным в программе размерам был построен рабочий чертеж поршня в ПК Компас (Приложение 2).

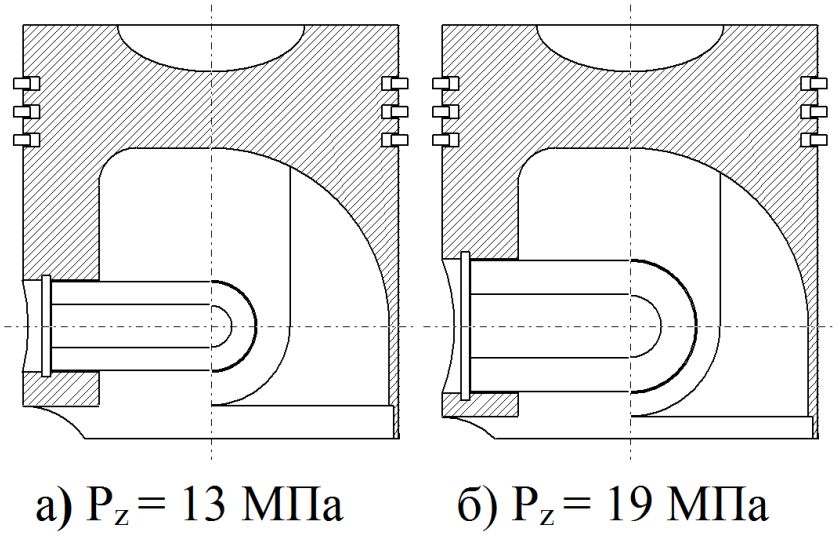


Рис. 7. Сравнение работы программы.

Выводы:

- На поршень, поршневые кольца и поршневой палец действуют очень большие нагрузки, как механические, так и тепловые. Поэтому очень важно точно рассчитать эти нагрузки и подобрать соответствующий материал для изготовления деталей.
- В рамках данного проекта была создана и апробирована компьютерная программа для автоматизированного проектирования поршневой группы двигателя внутреннего сгорания.
- По данным программы был построен рабочий чертеж поршня двигателя СМД-31 в программе Компас.

Литература:

1. Конструирование двигателей внутреннего сгорания: Учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Двигатели внутреннего сгорания" направления подготовки "Энергомашиностроение" / Н. Д. Чайнов, Н. А. Иващенко, А. Н. Краснокутский, Л. Л. Мягков; под. ред. Н. Д. Чайнова.

2. Основы программирования в среде Lazarus, Мансуров К.Т.

3. Двигатели внутреннего сгорания //Научно - технический журнал. Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2009.

4. Техническое описание двигателя СМД - 31.

Приложение 1. Код программы.

```
unit Unit1;
{$mode objfpc}{$H+}
interface
uses
  Classes, SysUtils, FileUtil, Forms, Controls, Graphics, Dialogs,
ExtCtrls,
  StdCtrls;
type

  { Tfrm1 }

  Tfrm1 = class(TForm)
    btn1: TButton;
    edt2: TEdit;
    edt1: TLabeledEdit;
    edt3: TEdit;
    edt4: TEdit;
    edt5: TEdit;
    lb2: TLabel;
    lb3: TLabel;
    lb4: TLabel;
    lb8: TLabel;
    mem1: TMemo;
    PaintBox1: TPaintBox;
    procedure btn1Click(Sender: TObject);

    procedure FormCreate(Sender: TObject);

  private

    { private declarations }

  public
```

```
    { public declarations }
  end;
var
  frm1: Tfrm1;
  Xm,Ym:integer;
implementation
{$R *.lfm}
{ Tfrm1 }
procedure Tfrm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
 with frm1 do
  begin
   Left:=-8;
   Top:=-8;
   Width:=1280;
   Height:=962;
  end;
 with frm1.PaintBox1 do
  begin
```

```
  Top:=0;
  Left:=0;
  Width:=trunc(0.7*frm1.Width);
  Height:=frm1.Height;
 end;
end;
function pow(a,b: Real): Real;//Возведение в степень a^b
begin
 pow:=exp(ln(a)*(b));
end;
procedure shtrich(x1,y1,x2,y2,h: integer);//Штриховка облости с шагом h
var
  n,i,k:integer;
begin
 frm1.PaintBox1.Canvas.Pen.Width:=1;
 k:=1;
 n:=((x2-x1) div h);
 for i:=1 to n do
  if x1+i*h<=y2 then
```

```
  frm1.PaintBox1.Canvas.Line(x1+i*h,y1,x1,y1+i*h)
 else
  frm1.PaintBox1.Canvas.Line(x1+i*h,y1,x1+i*h,y2);
for i:=1 to n do
 if y1+(i+n)*h<=y2 then
  begin
   frm1.PaintBox1.Canvas.Line(x2,y1+i*h,x1,y1+(i+n)*h);
   k:=i;
  end;
for i:=1 to n do
  frm1.PaintBox1.Canvas.Line(x2,y1+(i+k)*h,x1+i*h,y2);
end;
function ArcSin(X: Real): Real;// arcSin
begin
 if X <= -1.0 then
  ArcSin := -Pi / 2
 else if X < -Sqrt(2) / 2 then
  ArcSin := -Pi / 2 - ArcTan(Sqrt(1 - Sqr(X)) / X) { левый край }
 else if X <= Sqrt(2) / 2 then
```

```
  ArcSin := ArcTan(X / Sqrt(1 - Sqr(X))) { центр }
 else if X < 1.0 then
  ArcSin := Pi / 2 - ArcTan(Sqrt(1 - Sqr(X)) / X) { правый край }
 else
  ArcSin := Pi / 2
end;
procedure kolca(d,a,n:integer);          //Построение колец: a-кол колец,
n-толщина кольца
var
 i,h,h0,xc,yc:integer;
begin
 xc:=xm div 2;
 yc:=ym div 2;
 h:=round(1.2*d);
 h0:=round(0.3*d);
 for i:=1 to 2*a-1 do
  if (i mod 2)=1 then
   with frm1.PaintBox1.Canvas do
    begin
```

```
    Rectangle(xc-d,(yc-h+h0)+i*n,                xc-d+round(1.2*n),(yc-
h+h0+n)+i*n);//Вырезы под кольца

    Rectangle(xc+d,(yc-h+h0)+i*n,                xc+d-round(1.2*n),(yc-
h+h0+n)+i*n);

    Pen.Color:=clWhite;

    Line(xc-d,(yc-h+h0)+i*n+1,xc-d,(yc-h+h0+n)+i*n-3);

    Line(xc+d-1,(yc-h+h0)+i*n+1,xc+d-1,(yc-h+h0+n)+i*n-3);

    Pen.Color:=clBlack;

    Rectangle(xc-d-(d div 20),(yc-h+h0)+i*n+2, xc-d+round(1.2*n)-(d
div 20),(yc-h+h0+n)+i*n-2);//Кольца

    Rectangle(xc+d+(d div 20),(yc-h+h0)+i*n+2, xc+d-round(1.2*n)+(d
div 20),(yc-h+h0+n)+i*n-2);

   end;

end;

procedure proverca(var s:string);

var

  n:integer;

begin

 if pos('.',s)<>0 then

   begin

    n:=pos('.',s) ;
```

```
    delete(s, n, 1);
    insert(',',s,n);
   end;
end;
procedure Porshen(D: integer;pz,alfa,zapas:real; mac:integer);
var
  xc,yc,dk,h,hk,h3,h4,r,dp,dp1,dp2,dp3,b,a,sigma,t,l0:integer;
  tau,P,k,n1,n2,n3:Real;
begin
  D:=d*mac;//Масштаб
  tau:=150;     // Для пальца Максимальное касат. напряжение 150 МПа
  k:=25*0.01;
  h:=round(1.1*d);
  dk:=d div 2;
  b:=trunc(0.6*d);
  l0:=round(0.9*d)-(d div 20)-b;//Длина бобышки
  hk:=trunc(0.25*d);
  h3:=2*trunc(0.8*d);
  h4:=2*trunc(0.2*d);
```

```
r:=h3-h4-hk;

if Pz<0.001 then Pz:=0.001;

Pz:=Pz*d*d*pi/40; //Максимальная сила действующая на поршень

dp1:=trunc((Pz*(0.174*(2+alfa)*(1+alfa)/sqr(1-alfa)-0.636/(1-
alfa))*(1.5-15*sqr(alfa-0.4)*(alfa-0.4))/((0.9*d)*110))*10*zapas);
//Диаметр пальца через овализацию

dp2:=trunc(sqrt(0.85*Pz*(1+alfa+sqr(alfa))/(tau*(1-
sqr(sqr(alfa)))))*zapas); //Диаметр пальца через касательное
напряжение

dp3:=trunc(Pz/(k*l0*2*100)*zapas); // Диаметр пальца через
удельные нагрузки

if dp1>dp2 then

 begin

  if dp1>dp3 then

   dp:=dp1;

 end

else

 if dp2>dp3 then
  dp:=dp2
 else
  dp:=dp3;
//Перерасчет коэффициентов запаса
//Начало
```

```
  n1:=1/((Pz*(0.174*(2+alfa)*(1+alfa)/sqr(1-alfa)-0.636/(1-alfa))*(1.5-
15*sqr(alfa-0.4)*(alfa-0.4))/((0.9*d)*110*dp/zapas))*10);
  n2:=1/(0.85*Pz*(1+alfa+sqr(alfa))/(tau*sqr(dp/zapas)*(1-
sqr(sqr(alfa)))));
  n3:=1/(Pz/(k*dp/zapas*l0*2*100));
 //Конец
 sigma:=200; // Для кольца  Рабочее напряжение кольца  (150-
250)МПа
 P:=0.40;   // Для кольца Давление кольца на стенку (0.15-0.40)МПа
 t:=trunc(d*sqrt(3*P/sigma)); //Толщина кольца
 frm1.mem1.Append('dп1= '+inttostr(dp1 div mac));
 frm1.mem1.Append('dп2= '+inttostr(dp2 div mac));
 frm1.mem1.Append('dп3= '+inttostr(dp3 div mac));
 frm1.mem1.Append('dп= '+inttostr(dp div mac));
 frm1.mem1.Append('коэффициент  запаса  по  овализации=
'+floattostr(n1));
 frm1.mem1.Append('коэффициент  запаса  на  касательное
напряжение= '+floattostr(n2));
 frm1.mem1.Append('коэффициент запаса на удельные нагрузки=
'+floattostr(n3));
 frm1.mem1.Append('Материал: легированная сталь');
 frm1.mem1.Append('dвн= '+inttostr(trunc(dp*alfa/mac)));
 frm1.mem1.Append('H= '+inttostr(h div mac));
 frm1.mem1.Append('t= '+inttostr(t div mac));
 //frm1.mem1.Append();
 a:=(2*h-h3-dp) div 2;
 xc:=xm div 2;
 yc:=ym div 2;
 with frm1.PaintBox1.Canvas do
  begin
   Pen.Width:=2;
   Rectangle(xc-d,yc-h,xc+d,yc+h); //Основа
```

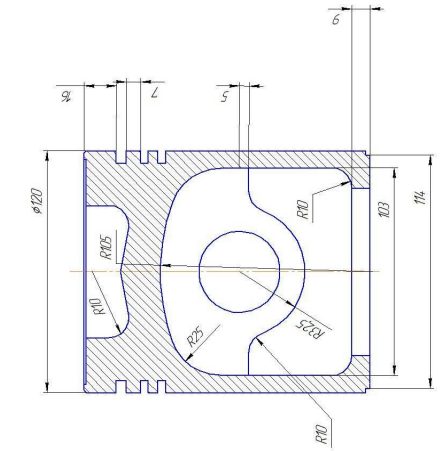
```
shtrich(xc-d,yc-h,xc+d,yc+h,10);
Pen.Width:=2;
Pie(xc-dk,yc-h-hk,xc+dk,yc-h+hk,xc-dk,yc-h,xc+dk,yc-h);
kolca(d,3,t);
Pie(xc-r,yc-h+h3-r,xc+r,yc-h+h3+r,xc+r,yc-h+h3,xc,yc-h+h3-r);
//Правый верхний сектор внутри поршня
Rectangle(xc,yc-h+h3,xc+r,yc+h); //Правый нижний участок
Pen.Color:=clWhite;
Line(xc+1,yc-h+h3,xc+r-3,yc-h+h3); //Лишняя линия между Pie и Rectangle
Pen.Color:=clBlack;
Pie(xc-dp,yc-h+h3-dp,xc+dp,yc-h+h3+dp,xc,yc-h+h3+dp,xc,yc-h+h3-dp);//Отверстие для палеца, правая часть
Pie(xc-dp+2,yc-h+h3-dp+2,xc+dp-2,yc-h+h3+dp-2,xc,yc-h+h3+dp,xc,yc-h+h3-dp);//Палец
Pie(xc-dp+3+trunc(dp-dp*alfa),yc-h+h3-dp+3+trunc(dp-dp*alfa),xc+dp-3-trunc(dp-dp*alfa),yc-h+h3+dp-3-trunc(dp-dp*alfa),xc,yc-h+h3+dp,xc,yc-h+h3-dp);
Rectangle(xc-b+round(0.2*d),yc-h+h3-r+1,xc,yc+h);//Вырез внутри поршня
Rectangle(xc-b+1,yc-h+h3-r+round(0.2*d),xc,yc+h); //с левой стороны
Rectangle(xc,yc-h+h3+dp+a,xc+d-round((d-r)/2),yc+h);//Правый нижний малый прямоугольник
Arc(xc-dp-a,yc-h+h3-dp-a,xc+dp+a,yc-h+h3+dp+a,xc,yc-h+h3+dp,xc+dp+a,yc-h+h3); //Дуга справа снизу
Line(xc+dp+a,yc-h+h3,xc+dp+a,yc-h+h3-trunc(sqrt(r*r-sqr(dp+a))));//Линия вертикально вверх
Pen.Color:=clWhite; //Стирает лишнии линии ***Начало***
Line(xc,yc-h+hk+h4,xc,yc+h-3);
Line(xc-1,yc-h+hk+h4,xc-1,yc+h-3);
```

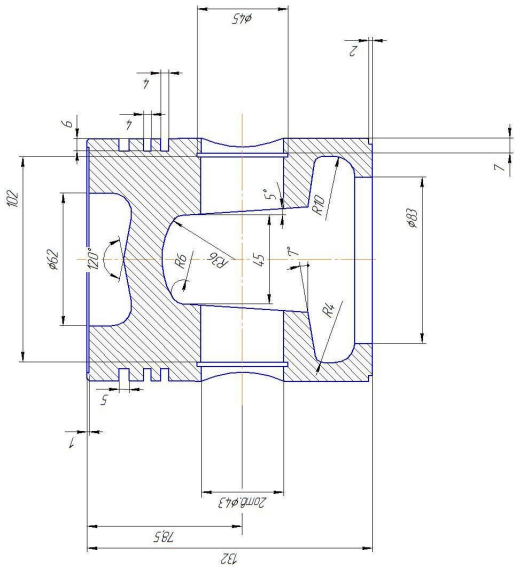
```
  Line(xc-b+5,yc-h+hk+h4+round(0.2*d),xc,yc-
h+hk+h4+round(0.2*d));
  Pie(xc-b,yc-h+hk+h4,xc-b+round(0.2*d)*2,yc-
h+hk+h4+round(0.2*d)*2,xc-b+round(0.2*d),yc-h+hk+h4,xc-b,yc-
h+hk+h4+round(0.2*d));
  Rectangle(xc,yc-h+h3+dp+a,xc-d,yc+h);// ***Конец***
  Pen.Color:=clBlack;
  Arc(xc-b,yc-h+hk+h4,xc-b+round(0.2*d)*2,yc-
h+hk+h4+round(0.2*d)*2,xc-b+round(0.2*d),yc-h+hk+h4,xc-b,yc-
h+hk+h4+round(0.2*d));//Левый верхний полукруг внутри поршня
  Rectangle(xc-d,yc-h+h3-dp,xc-b+2,yc-h+h3+dp);//Вырез  отверстия
под палец
  Pen.Color:=clWhite;
  Pie(xc-d-round(sqrt(d*d-sqr(dp)))-d,yc-h+h3-d,xc-d-round(sqrt(d*d-
sqr(dp)))+d,yc-h+h3+d,xc-d,yc-h+h3+dp,xc-d,yc-h+h3-dp);  //Стирает
линию для дуги у пальца
  Pen.Color:=clBlack;
  Arc(xc-d-round(sqrt(d*d-sqr(dp)))-d,yc-h+h3-d,xc-d-round(sqrt(d*d-
sqr(dp)))+d,yc-h+h3+d,xc-d,yc-h+h3+dp,xc-d,yc-h+h3-dp);//Рисует
дугу у пальца
  Line(xc-d,yc+h-a,xc-b,yc+h-a);//Линия под пальцем
  Arc(xc-2*d+b,yc-h+h3+dp+a,xc-b,yc-h+h3+dp+a+2*(d-b),xc-
d+round((d-b)*cos(arcsin(((d-b)-a)/(d-b)))),yc-h+h3+dp+2*a-2,xc-d,yc-
h+h3+dp+a);//Маленькая дуга слева снизу
  Line(xc-d+round((d-b)*cos(arcsin(((d-b)-a)/(d-b))))-1,yc+h-
1,xc,yc+h-1); //Проводит линию снизу поршня
  Rectangle(xc-round(0.9*d),yc-h+h3-round(1.1*dp),xc-
round(0.9*d)+(d div 20),yc-h+h3+round(1.1*dp)); //Вырез в отверстии
для пальца
  Rectangle(xc-round(0.9*d)+(d div 20),yc-h+h3-dp+2,xc,yc-h+h3+dp-
2);//Палец
  if alfa>0 then
```

```
    Rectangle(xc-round(0.9*d)+(d div 20),yc-h+h3-dp+2+trunc(dp-
dp*alfa),xc,yc-h+h3+dp-2-trunc(dp-dp*alfa));
    Pen.Color:=clWhite;
    Line(xc-1,yc-h+h3-dp+2,xc-1,yc-h+h3+dp-2);//Стирает линию в
центре от пальца
    Pen.Color:=clBlack;
    Pen.Style:=psDashDot;
    Pen.Width:=1;
    Line(xc-round(1.1*d),yc-h+h3,xc+round(1.1*d),yc-
h+h3);//Горизонтальная ось
    Line(xc,yc-round(1.1*h),xc,yc+round(1.1*h));//Вертикальная ось
    Pen.Style:=psSolid;
    Pen.Width:=2;
  end;
end;
procedure Tfrm1.btn1Click(Sender: TObject);
var
  d,c,mac:integer;
  Pz, alfa, zapas:Real;
  s1,s2,s3,s4:string;
begin
  frm1.mem1.Clear;
  Xm:=PaintBox1.Width;
  Ym:=PaintBox1.Height;
  frm1.PaintBox1.Canvas.Rectangle(0,0,Xm,Ym);
  val(frm1.edt1.Text,d,c);
  s1:=frm1.edt2.Text;
  s2:=frm1.edt3.Text;
  s3:=frm1.edt4.Text;
  s4:=frm1.edt5.Text;
  proverca(s1);
  proverca(s2);
```

```
  proverca(s3);
  proverca(s4);
  zapas:=StrToFloat(s3);
  Pz:=StrToFloat(s1);
  alfa:=StrToFloat(s2);
  mac:=StrToint(s4);
  if (c<>0) or (frm1.edt1.Text='') or (frm1.edt4.Text='') or
(frm1.edt2.Text='') or (frm1.edt3.Text='') or (d<6) or (zapas<0.2) then
//Проверка на корректность вводных данных
   begin
    showmessage('Вводные данные некорректны');
    exit;
   end;
  Porshen(d,Pz,alfa,zapas,mac);
end;
end.
```

Приложение 2. Рабочий чертеж поршня в ПК Компас.


9
16
7
5
ø120
R105
R10
R10
R25
R325
103
114
R10


ø45
2
4
4
6
7
102
ø62
120°
R6
R36
45
5°
7°
R10
R4
ø83
5
1
2отв.ø43
78,5
132

Использование защитных покрытий в газовых турбинах

ФРОЛОВ Илья Дмитриевич
г. Москва, ГОУ Лицей №1580, 11 класс

Научный руководитель:
Иванов Вадим Леонидович
к. н., доцент кафедры «Газотурбинные и нетрадиционные энергоустановки»
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Введение.

Газотурбинные установки и двигатели широко применяются в энергетической, промышленной и транспортной сферах. У разных сфер разные потребности, касающиеся габаритов, мощности, расхода топлива и воздуха и пр., но у разных сфер всегда есть как минимум пара схожих требований – повышение эффективности и увеличение срока службы. Эти запросы элементарно объясняются экономической выгодой и большими возможностями использования газотурбинных установок и двигателей.

Цель работы. Найти способ защиты деталей газовой турбины, подверженных наибольшему износу и высоким температурам. Провести анализ влияния такой «защиты».

Задачи. В работе были выбраны такие детали, как жаровая труба камеры сгорания и лопатка турбины. Предлагается именно использование защитного покрытия, а не выполнение этих деталей из более жаростойкого материала, потому что производство покрытия проще, а использование дешевле. Для решения проблемы в работе были поставлены такие задачи:

1. Выбрать подходящее покрытие, которое могло бы работать при требуемых температурах, обеспечивало бы термическую, химическую защиту детали, а также имело возможность обеспечивать защиту от механического износа.
2. Рассмотреть и проанализировать влияние нанесения покрытия на стенку жаровой трубы камеры сгорания с конвективным охлаждением.
3. Рассмотреть и проанализировать влияние нанесения покрытия на стенку жаровой трубы камеры сгорания с пленочным охлаждением.
4. Рассмотреть и проанализировать влияние равномерного нанесения покрытия на лопатку турбины.
5. Рассмотреть возможность выравнивания температурного поля лопатки с помощью неравномерного нанесения покрытия «по надобности».
6. Сделать вывод по проделанной работе.

Средства. Для проведения работы были использованы программы MS Office Word, Excel, Power Point, Mathcad, MATLAB.

Использованная литература указана в конце в соответствующем разделе.

Покрытие.

Для защиты жаровых труб и лопаток предложено использование специальных покрытий. Был выбран именно этот способ защиты, так как он прост, недорог и уже имеется достаточно длительная практика использования таких покрытий. Поэтому, выполняя задачу выбора покрытия, использовались сведения по последним разработкам в области защитных покрытий [1-25].

Покрытия бывают нескольких назначений:

- покрытия, защищающие от воздействия высоких температур;
- покрытия, защищающие от химических повреждений, таких как коррозия;
- покрытия, защищающие от механического износа.

Так как в работе сделан акцент на температурную защиту, то поиск был направлен на термозащитные материалы. Отбор покрытий производился по таким характеристикам, как тепловой коэффициент линейного расширения (ТКЛР), коэффициент теплопроводности и степень черноты покрытия. Требования к этим показателям были следующие:

1. ТКЛР покрытия должен быть близок к ТКЛР материала, из которого изготовлены жаровая труба и лопатки турбины. ТКЛР такого материала примерно равен $\beta = 16*10^{-6}$ 1/K.

2. Коэффициент теплопроводности должен быть как можно меньше для снижения теплопередачи и большей эффективности покрытия.

3. Степень черноты должна быть равна или ниже, чем степень черноты материала, из которого изготовлена жаровая труба, иначе будет возрастать излучение от продуктов сгорания к стенке жаровой трубы. Степень черноты такого материала равна ε = 0,7.

Все найденные покрытия были классифицированы и собраны в таблицу 1.

Таблица 1. Классификация найденных покрытий.

Покрытие	**Состав**	**Характеристики**	**Назначение**	**Способ нанесения**
Покрытия на основе диоксида циркония	ZrO2+Y2O3	Коэффициент теплопроводности 0,3-2,3 Вт/м*К. ТКЛР 11-16*10^{-6}, степень черноты – 0,41 и ниже при 1500К.	Термозащита	HIP/VPS/ LPPS/ HVOF/APS
Покрытия на основе карбида кремния	2MgO*2Al2O3*5SiO2 SiC-B4C-SiC	ТКЛР 10-20*10^{-6} 1/К, степень черноты более 0,9.	Термозащита, химическая защита	VPS/CVD

Покрытия на основе карбидов редкоземельных металлов	HfC, TaC, ZrC, TiC	Коэффициент теплопроводности 0,8-9 Вт/м*К, ТКЛР до $8*10^{-6}$ 1/К, степень черноты 0,98.	Термозащита, химическая защита	VPS/APS

Согласно таблице, все найденные мной покрытия были разделены на 3 группы. Покрытия на основе карбидов кремния и редкоземельных металлов были отклонены, так как имели слишком высокую степень черноты, их ТКЛР был недостаточно близок к $16*10^{-6}$1/К (покрытия на основе карбидов редкоземельных металлов) и их стоимость выше, чем стоимость покрытий на основе диоксида циркония. Основываясь на требованиях, описанных выше, было выбрано покрытие на основе диоксида циркония, стабилизированного иттрием [14, 21, 25]: данное покрытие имеет ТКЛР близкий к $16*10^{-6}$1/К, низкий коэффициент теплопроводности и степень черноты ε = 0,4. На графике (рис. 1) [14] показаны возможные коэффициенты теплопроводности в зависимости от пористости и температуры.

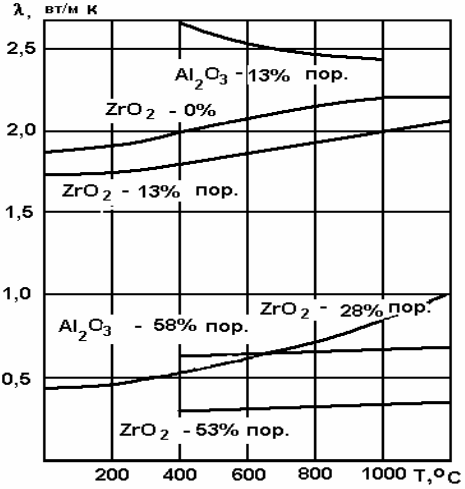


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопроводности ZrO_2 от температуры и пористости [14].

Данное покрытие универсально в вопросе способа напыления, но более предпочтительным является APS (атмосферное плазменное напыление). Также для лучшего удержания покрытия на поверхности стенки жаровой трубы или лопатки турбины требуется наносить подложку. В работе мной взята подложка из того же материала, что и покрытие.

Камера сгорания. Применение на стенках жаровой трубы камеры сгорания с конвективным охлаждением

При расчетах жаровая труба была принята ровной и равномерно прогретой для упрощения. Методика расчета тепловых потоков была взята из работы Лефевра А. [27]. Из этой работы были получены следующие выражения:

излучение продуктов сгорания -

$$\mathrm{P}_1 = 0{,}5(1+\varepsilon_\omega)\sigma(\varepsilon_\Г T_\Г^4 - \alpha_\Г T_\П^4) \quad (1)$$

конвективная теплопередача к жаровой трубе -

$$\mathrm{К}_1 = 0{,}017\frac{\lambda_\Г}{D_L^{0,2}}\left(\frac{m_{\П.з}}{S_L\mu_\Г}\right)^{0,8}(T_\Г - T_\П) \quad (2)$$

излучение жаровой трубы -

$$\mathrm{P}_2 = \frac{\varepsilon_\omega \varepsilon_C}{\varepsilon_C + \frac{\varepsilon_\omega(1-\varepsilon_C)D_L}{D_C}}\sigma(T_{\omega 2}^4 - T_\В^4) \quad (3)$$

конвективная теплопередача от жаровой трубы

$$\mathrm{К}_2 = 0{,}020\frac{\lambda_a}{D_{an}^{0,2}}\left(\frac{m_{an}}{S_{an}\mu_a}\right)^{0,8}(T_{\omega 2} - T_\В) \quad (4)$$

система уравнений тепловых потоков -

$$Q_{1-2} = \mathrm{P}_1 + \mathrm{К}_1 = \mathrm{P}_2 + \mathrm{К}_2 \quad (5)$$

выражение, описывающее тепловой поток через стенку с нанесенным покрытием -

$$Q_{1-2} = (T_\П - T_{\omega 2})k_\П; \quad k_\П = \left(\frac{\delta_\omega}{\lambda_\omega} + \frac{\delta_\П}{\lambda_\П}\right)^{-1} \quad (6)$$

В работе рассмотрена жаровая труба со следующими параметрами и в следующих условиях:

$T_\Г = 2280\ \text{К}$

$P_З = 3040\ \text{кПа}$ $\qquad$ $T_З = 880\ \text{К}$

$D_c = 0.192\ \text{м}$ $\qquad$ $D_L = 0.132\ \text{м}$

$\delta_{\omega} = 0.0012$ м

$\varepsilon_{c} = 0,4$

$\varepsilon_{\omega} = 0,7$

$\varepsilon_{г} = 0,61$

$\lambda_{\omega} = 26\frac{\text{Вт}}{\text{м} * \text{К}}$

$m_{ап} = 7.074$ кг/с

$m_{пз} = 2,62$ кг/с

$\chi_{пз} = 0,05$

$\sigma = 5,67 * 10^{-8}\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{К}^4}$

$\lambda_{г} = 0,157\frac{\text{Вт}}{\text{м} * \text{К}}$

$\mu_{г} = 7,05 * 10^{-5}\frac{\text{кг}}{\text{м} * \text{с}}$

$S_{L} = 0,01368$ м^2

$\lambda_{а} = 0,0553\frac{\text{Вт}}{\text{м} * \text{К}}$

$\mu_{ап} = 3,89 * 10^{-5}\frac{\text{кг}}{\text{м} * \text{с}}$

$S_{ап} = 0,01476$ м^2

$D_{ап} = 0,0576$ м

$x = 0,0261$ м

$l = 0,00145$ м

Величины:

S – площадь поперечного сечения,

D – диаметр,

δ – толщина,

ε – излучательная способность,

λ–коэффициент теплопроводности,

m – расход,

μ–коэффициент динамической вязкости,

P – давление,

T – температура,

σ–постоянная Стефана-Больцмана,

χ–массовое отношение

x – расстояние вниз по потоку

топливо/воздух, от щели,

l – высота щели.

Индексы:

а – воздух, an – кольцевой канал,

г – газ, п.з – первичная зона,

ω – стенка жаровой трубы, L – жаровая труба.

с – корпус камеры, охладитель, 3 – условия на входе в камеру сгорания.

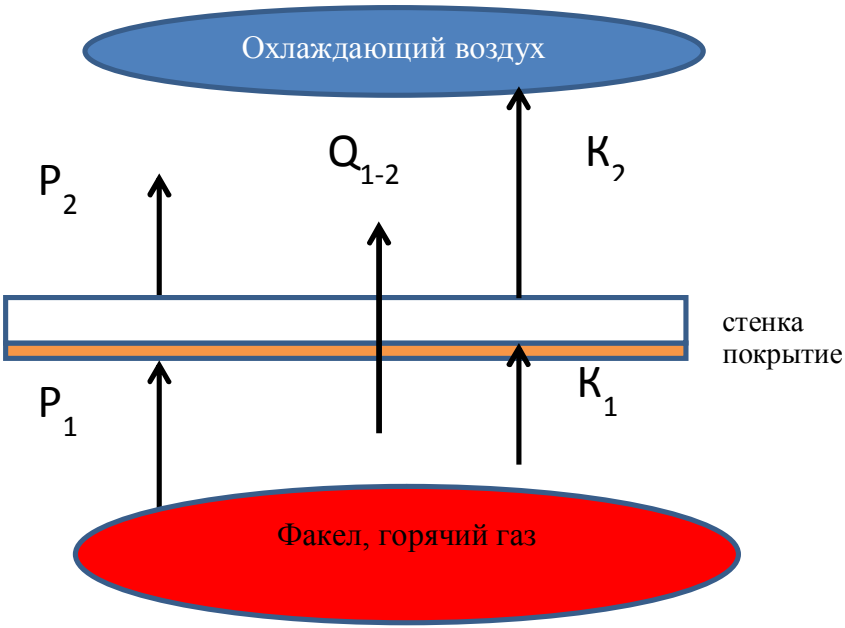


Рис. 1. Схема тепловых потоков.

Для широкого сравнительного анализа были рассмотрены комбинации покрытий с коэффициентом теплопроводности от λ = 0,3 до λ = 2,1 Вт/м*К с шагом 0,2 Вт/м*К и толщиной от δ = 0,1 до δ = 1,5 мм с шагом 0,1 мм. Все результаты расчетов приведены в Приложении 1. Соответствующие значения коэффициента теплопроводности и толщины использовались в формуле (6).

В результате решения системы уравнений (5) в программе Mathcad и подстановки результатов в формулу (1):

$$T_{\omega 1} = T_{\text{п}} - (T_{\text{п}} - T_{\omega 2}) \frac{k_{\text{п}}}{(\frac{\delta_{\text{п}}}{\lambda_{\text{п}}})^{-1}}$$ - температура между покрытием и стенкой жаровой трубы,

были получены значения температур покрытия, внутренней стенки (т.е. между покрытием и стенкой жаровой трубы) и внешней стенки жаровой трубы. На основе этих результатов (Приложение 1, таблица 1) был построен график (рис. 2), отображающий зависимость соответствующих температур от изменения толщины покрытия. Для сравнения на рис. 2 изображены кривые для покрытия с коэффициентом теплопроводности λ = 0,3 Вт/м*К (сплошные) и λ = 2,1 Вт/м*К (пунктирные). Как видно из графика, использование данного покрытия дает возможность значительно снизить температуру жаровой трубы. Интерес представляет не просто снижение температуры стенки, а возможность повышать ее в зависимости от надобности, имея запас рабочей температуры.

Начальные условия:

- $T_г$ = 2280К – температура газа,
- $T_в$ = 880К – температура охлаждающего воздуха,
- $T_{ω1}$ = 1640К – температура внутренней стороны стенки без использования покрытия,
- $T_{ω2}$ = 1600К – температура внешней стенки без использования покрытия.

Как видно из рис. 2, разность температур разных сторон стенки уменьшается, что дает снижение температурных напряжений в стенке.

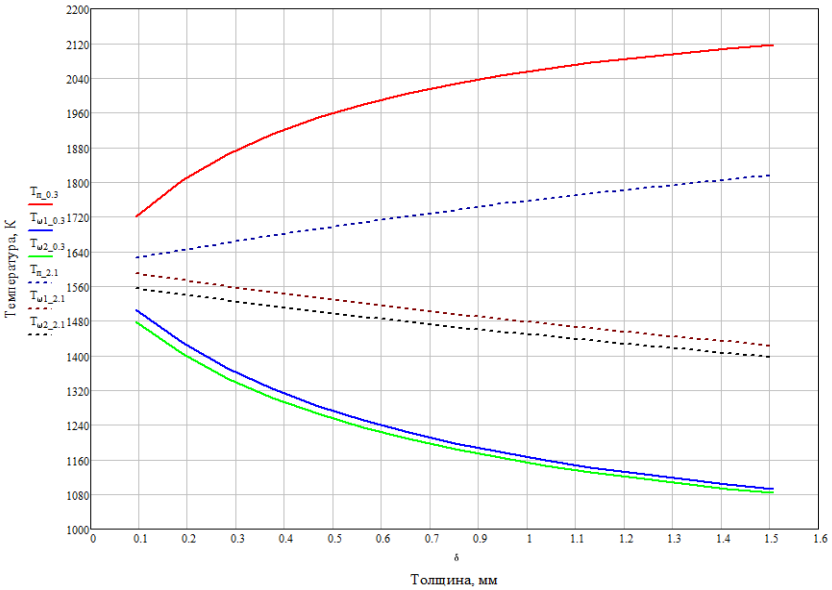


Рис. 2. Зависимость температур покрытия внутренней и внешней стенки жаровой трубы от изменения толщины покрытия для покрытий с коэффициентами теплопроводности λ = 0,3 Вт/м*К (сплошные) и λ = 2,1 Вт/м*К (пунктирные).

Был проведен расчет температурных напряжений по формуле (8) $\sigma = \frac{T_{\omega 1} - T_{\omega 2}}{2} * \beta * E$, где β = 16*10^{-6} 1/К, Е = 1.4*10^{6} МПа. Без применения покрытия температурное напряжение составляло σ = 448 МПа. Графики (рис. 3) построены по результатам, представленным в Приложении 1, таблица 3.

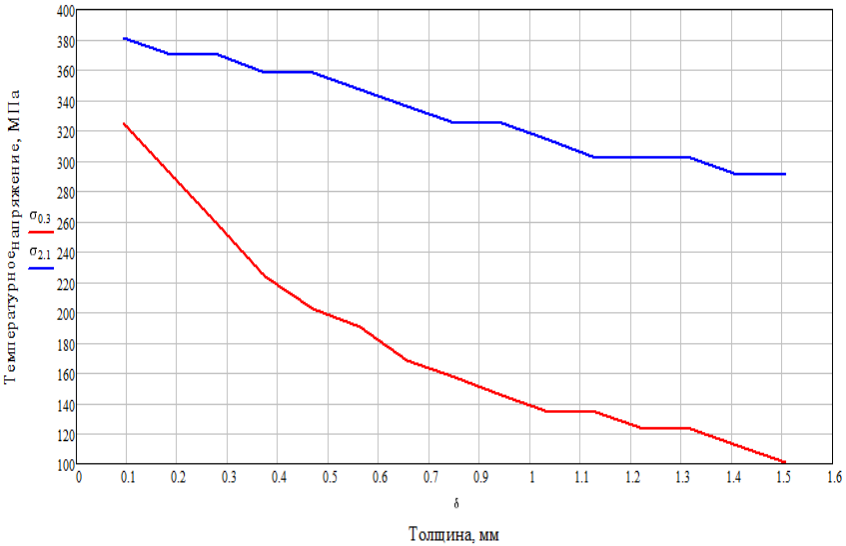


Рис. 3. Зависимость температурных напряжений в стенке жаровой трубы от толщины покрытия с коэффициентами теплопроводности λ = 0,3 Вт/м*К и λ = 2,1 Вт/м*К.

Снижение степени черноты покрытия увеличивает отражательную способность стенки (уменьшается P_1), поэтому был проведен подобный расчет для температур покрытия, внутренней и внешней стороны стенки жаровой трубы при сниженной степени черноты с ε 0,4 до ε = 0,2. Сравнение влияния покрытия с

коэффициентом теплопроводности λ = 0,3 Вт/мК и степенями черноты ε = 0,4 (сплошные) и ε = 0,2 на соответствующие температуры показано на графике (рис. 4) по результатам, представленным в Приложении 1, таблицы 1-2.

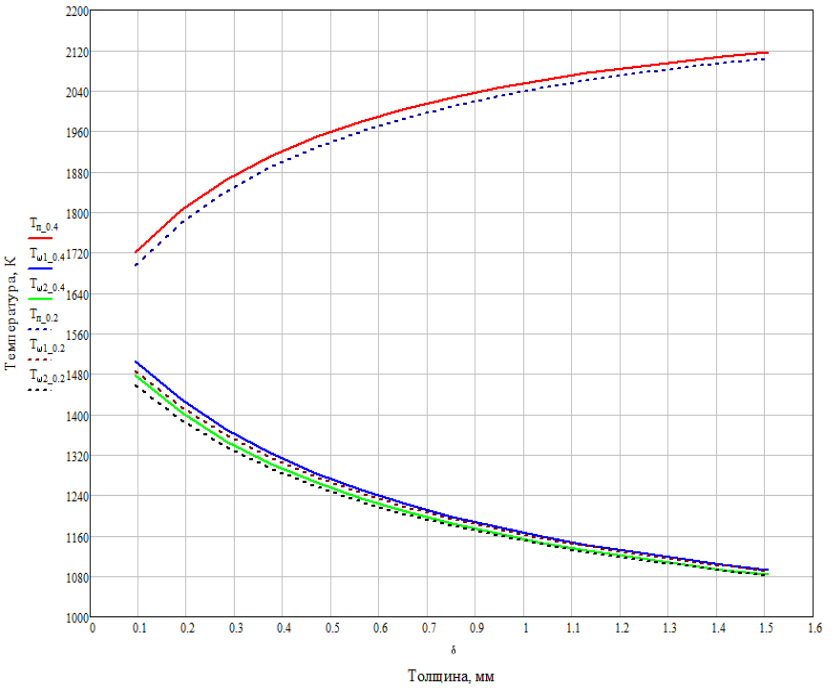


Рис. 4. Зависимость температур покрытия, внутренней и внешней стенки жаровой трубы от изменения толщины покрытия для покрытий с коэффициентом теплопроводности λ = 0,3 Вт/м*К и степенями черноты ε = 0,4 (сплошные) и ε = 0,2 (пунктирные).

Из выражения $\frac{R_{1\_0.2}+C_1}{R_{1\_0.4}+C_1}$ было получено, что общий тепловой поток через стенку при снижении степени черноты падает на 5-7% в зависимости от выбранной комбинации покрытия.

Применение на стенках жаровой трубы камеры сгорания с пленочным охлаждением

Для проведения расчетов была использована та же методика [27], что и для жаровых труб с конвективным охлаждением. Но так как теперь вдоль внутренней стенки есть пленка воздуха, выражение для K_2 изменилось:

$$K_1 = 0,10\frac{\lambda_a}{x}Re_x^{0,8}\left(\frac{x}{l}\right)^{-0,36}(T_{\omega.зд} - T_п) \qquad (9)$$

Стоит отметить, что применение напыляемых покрытий подходит не для всех жаровых труб с пленочным охлаждением – маленькие отверстия перфорированных стенок будут забиваться при нанесении покрытия.

Были проведены аналогичные расчеты для температур покрытия, внутренней и внешней стороны стенки по формулам (1),(3)-(7), (9), исследованы температурные напряжения в стенки по формуле (8), а также изменения при снижении степени черноты. Полученные результаты представлены на графиках (рис. 5,6,7). Все результаты расчетов представлены в Приложении 2.

Начальные условия:

- $T_г$ = 2280К – температура газа,
- $T_в$ = 880К – температура охлаждающего воздуха,

- $T_{\omega 1}$ = 1285К – температура внутренней стороны стенки без использования покрытия,
- $T_{\omega 2}$ = 1265К – температура внешней стенки без использования покрытия.

Графики (рис. 5) построены по результатам расчетов, представленным в Приложении 2, таблица 1.

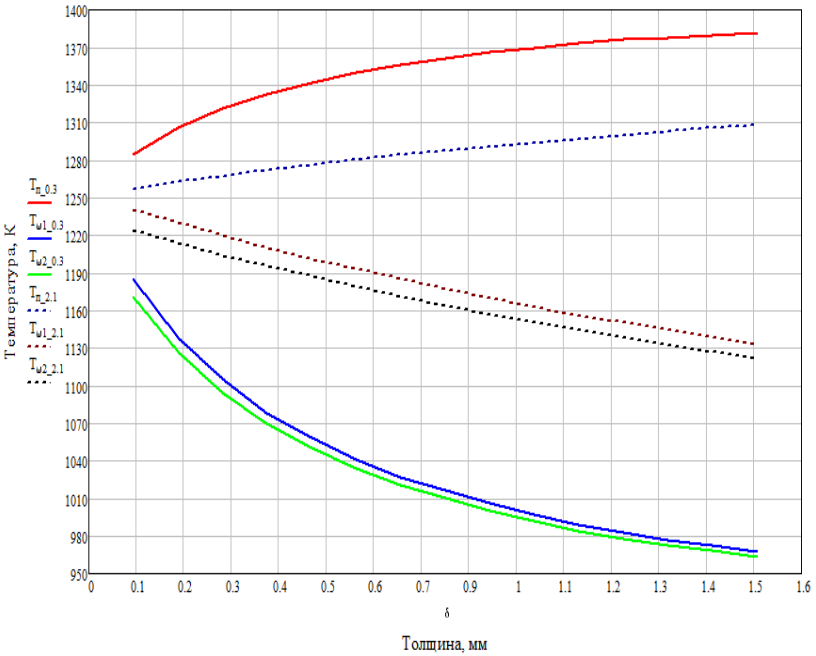


Рис. 5. Зависимость температур покрытия, внутренней и внешней стенки жаровой трубы от изменения толщины покрытия для покрытий с коэффициентами теплопроводности λ = 0,3 Вт/м*К (сплошные) и λ = 2,1 Вт/м*К (пунктирные).

Графики (рис. 6) построены по результатам расчетов, представленных в Приложении 2, таблица 3. Без покрытия температурные напряжения в стенке равны σ = 224 МПа.

Графики (рис. 7) построены по результатам расчетов, представленных в Приложении 2, таблицы 1-2.

Использование покрытия со сниженной степенью черноты позволяет уменьшить общий тепловой поток через стенку на 7-9% в зависимости от выбранной комбинации покрытия.

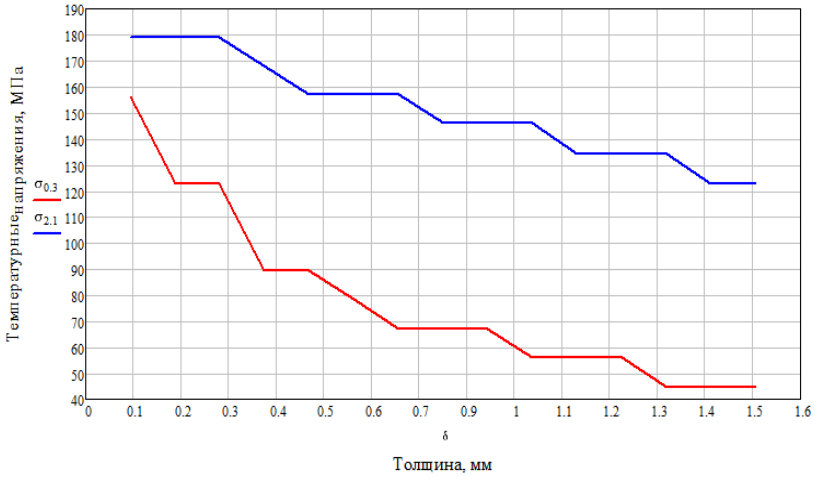


Рис. 6. Зависимость температурных напряжений в стенке жаровой трубы от толщины покрытия с коэффициентами теплопроводности $\lambda = 0,3$ Вт/мК и $\lambda = 2,1$ Вт/мК.

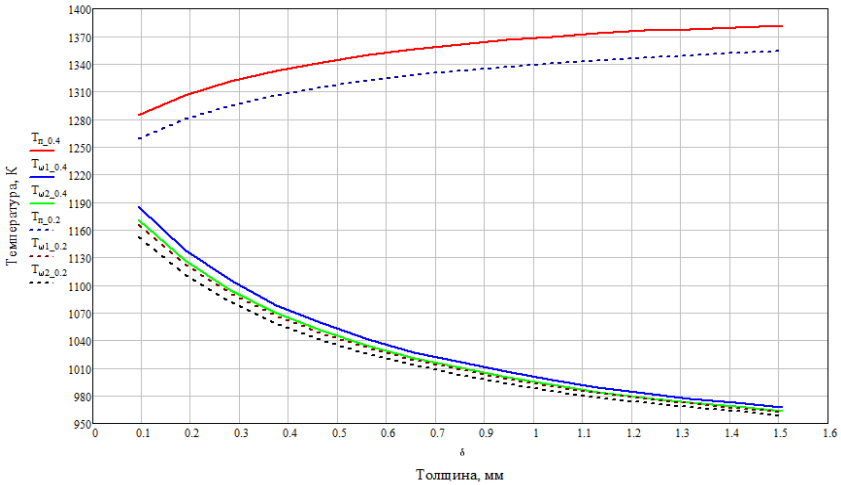


Рис. 7. Зависимость температур покрытия, внутренней и внешней стенки жаровой трубы от изменения толщины покрытия для покрытий с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0{,}3$ Вт/м*К и степенями черноты $\varepsilon = 0{,}4$ (сплошные) и $\varepsilon = 0{,}2$ (пунктирные).

Подводя промежуточный итог, отметим, чего удалось добиться при использовании данного покрытия на стенках жаровых труб с конвективным и пленочным охлаждением:

- Значительное понижение температуры стенки (до 33%) дает запас для повышения температуры в жаровой трубе при надобности (возможность повысить КПД установки)
- Понижение температурных напряжений в стенке (до 75%) дает детали возможность работать значительно дольше

- При сниженной степени черноты покрытия можно добиться увеличения отражательной способности стенки жаровой трубы.

Пример полного расчета для покрытия с λ = 0,7 Вт/мК, δ = 1,3 мм и ε = 0,4

$$\mathbf{P_1} = 0{,}5(1+\varepsilon_\omega)\sigma\varepsilon_г T_г^{1.5}\left(T_г^{2.5} - \alpha_г T_п^{2.5}\right) =$$
$$0{,}5(1+0{,}4)5{,}67 * 10^{-8} * 0{,}61 *$$
$$2280^{1.5}(2280^{2.5} - T_п^{2.5}) = 654300 -$$
$$0.0026T_п^{2.5}\ \text{Вт/м}^2$$

$$\mathbf{K_1} = 0{,}017\frac{\lambda_г}{D_L^{0.2}}\left(\frac{m_{п.г}}{S_L\mu_г}\right)^{0.8}(T_г - T_п) =$$
$$0{,}017\frac{0.157}{(0.132-0.0013)^{0.2}}\left(\frac{2.62}{\frac{\pi}{4}(0.132-0.0013)^2*7.05*10^{-5}}\right)^{0.8}(2280$$
$$T_п) = 1303000 - 571T_п\ \text{Вт/м}^2$$

$$\mathbf{P_2} = \frac{\varepsilon_\omega\varepsilon_C}{\varepsilon_C+\frac{\varepsilon_\omega(1-\varepsilon_C)D_L}{D_C}}\sigma(T_{\omega 2}^4 - T_В^4) =$$
$$\frac{0{,}4*0{,}4}{0.4+0.4(1-0.4)*0.7} * 5{,}67 * 10^{-8}(T_{\omega 2}^4 - 880^4) =$$
$$1.6 * \left(\frac{T_{\omega 2}^4}{100}\right)^4 - 9578\ \text{Вт/м}^2$$

$$К_2 = 0{,}020\frac{\lambda_a}{D_{an}^{0,2}}\left(\frac{m_{an}}{S_{an}\mu_a}\right)^{0,8}(T_{\omega 2} - T_В) =$$

$$0{,}020\frac{0.0553}{0.0576^{0,2}}\left(\frac{7.074}{\frac{\pi}{4}(0.192^2 - 0.1344^2)*3.89*10^{-5}}\right)^{0,8}(T_{\omega 2} -$$

$$880) = 921T_{\omega 2} - 810100\ Вт/м^2$$

$$Q_{1-2} = (T_п - T_{\omega 2})(\frac{\delta_\omega}{\lambda_\omega} + \frac{\delta_п}{\lambda_п})^{-1} = (T_п -$$

$$T_{\omega 2})(\frac{0.0012}{26} + \frac{0.0013}{0,7})^{-1} = 525(T_п - T_{\omega 2})\ Вт/м^2$$

$$T_п = 1968\ К;\ T_{\omega 2} = 1247\ К$$

$$T_{\omega 1} = T_п - (T_п - T_{\omega 2})\frac{k_п}{(\frac{\delta_п}{\lambda_п})^{-1}} = 1264\ К$$

$$\sigma = \frac{T_{\omega 1} - T_{\omega 2}}{2}\beta E = \frac{1264-1247}{2} * 16 * 10^{-6} * 1{,}4 *$$

$$10^{12} = 302\ МПа$$

Лопатки турбины

Лопатка турбины в реальности представляет собой изогнутую стенку. За счет этой изогнутости характеристики лопатки, такие как, например, коэффициент теплоотдачи (рис. 8), непостоянны, что делает расчет сложным. Для упрощения расчетов в работе рассмотрена модель лопатки, представляющая собой прямую стенку. Для приближения к реальным условиям изменение

коэффициента теплоотдачи по длине стенки x (x = 0,1 м) было сведено к следующим значениям:

- на x от 0 до 0,05 м – $\alpha_г = 2200 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$
- на x от 0,05 до 0,1 м – $\alpha_г = 1500 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$

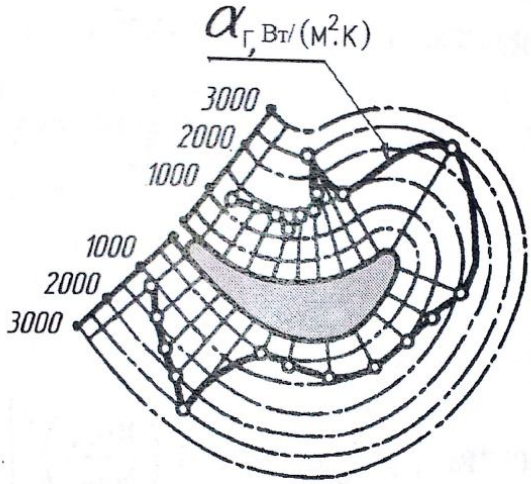


Рис. 8. Изменение коэффициента теплоотдачи по обводу профиля поперечного сечения лопатки [26].

В работе рассмотрена лопатка со следующими параметрами и в следующих условиях:

$T_г = 1500$ К

$\alpha_г = 2200 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$

на x от 0 до 0,05 м

$T_{в0} = 750$ К

$\alpha_г = 1500 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$

на x от 0,05 до 0,1 м

$$\alpha_в = 1500\ \frac{Вт}{м^2 * К} \qquad G = 0{,}17\ кг/с$$

$$l = 0{,}2\ м \qquad x = 0{,}1\ м$$

$$\delta_\omega = 0{,}0015\ м \qquad \lambda_\omega = 26\frac{Вт}{м * К}$$

$$E = 1{,}4 * 10^{12}\ Па \qquad \beta = 16 * 10^{-6}\ К^{-1}$$

Величины:

T – температура, α – коэффициент теплоотдачи.

G – расход воздуха, l – высота лопатки.

x – длина лопатки. δ – толщина.

λ–коэффициент теплопроводности. E – модуль упругости,

β – ТКЛР.

Индексы:

г – газ, в – воздух,

ω – стенка лопатки.

Методика всех расчетов по лопаткам была получена из учебного пособия В.Л. Иванова [26]. Были произведены расчеты температуры покрытия внешней и внутренней стороны стенки модели лопатки для покрытий с коэффициентом теплопроводности λ = 0,3; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 и толщиной покрытия δ = 0,1; 0,2; 0,3 мм. Все результаты расчетов представлены в Приложении 3. Расчеты производились по следующим формулам, взятым из работы, указанной выше:

- температура охлаждающего воздуха, в зависимости от удаления x от начала лопатки

$$T_{Вх} = T_г - (T_г - T_{В0})e^{\frac{-k_п \cdot x l}{c_P \cdot G}} \quad (10),$$

- коэффициент теплопередачи

$$k_п = (\frac{1}{\alpha_г} + \frac{\delta_\omega}{\lambda_\omega} + \frac{\delta_п}{\lambda_п} + \frac{1}{\alpha_в})^{-1} \quad (11),$$

- температура покрытия на удалении x от начала лопатки

$$T_п = T_г - (T_г - T_{Вх})\frac{k_п}{\alpha_г} \quad (12),$$

- температура внешней стороны стенки лопатки на удалении x от начала лопатки

$$T_{\omega 1} = T_г - (T_г - T_{Вх})k_п * (\frac{1}{\alpha_г} + \frac{\delta_п}{\lambda_п}) \quad (13),$$

- температура внутренней стороны стенки лопатки на удалении x от начала лопатки

$$T_{\omega 2} = T_г - (T_г - T_{Вх})k_п * (\frac{1}{\alpha_г} + \frac{\delta_п}{\lambda_п} + \frac{\delta_\omega}{\lambda_\omega}) \quad (14).$$

По результатам расчетов, представленным в Приложении 3, таблицы 2-4, построены графики (рис. 9), показывающие на примере покрытия с коэффициентом теплопроводности λ = 0,3 Вт/м*К и толщиной δ = 0,3 мм сравнение температур внешней и внутренней стороны стенки лопатки с соответствующими температурами лопатки без покрытия.

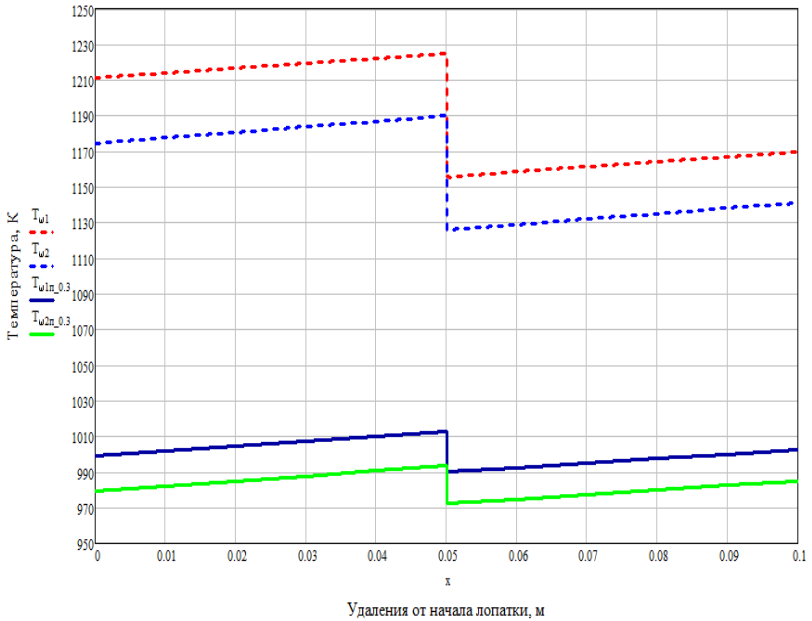


Рис. 9. Зависимость температур внешней и внутренней стороны стенки лопатки с покрытием с λ = 0,3 Вт/м*К и δ = 0,3 мм (сплошные) и лопатки без покрытия (пунктирные) от удаления от начала лопатки.

Как можно заметить из формулы (11), температура охлаждающего воздуха растет экспоненциально и, как следствие, температура покрытия, внешней и внутренней стенки лопатки тоже. На графиках (рис. 9,10) видно, что величина, на которую возрастают все температуры, с использованием покрытия уменьшается. Температуры лопатки с покрытием более близки к равномерности температуры по всей длине, чем температуры лопатки без покрытия, что благоприятно сказывается на эффективности работы лопатки. На рис. 9 также видно, что разность температур внешней и внутренней стенки падает, что

ведет к снижению температурных напряжений в стенке лопатки. Для проверки этого предположения были проведены расчеты по формуле (8).

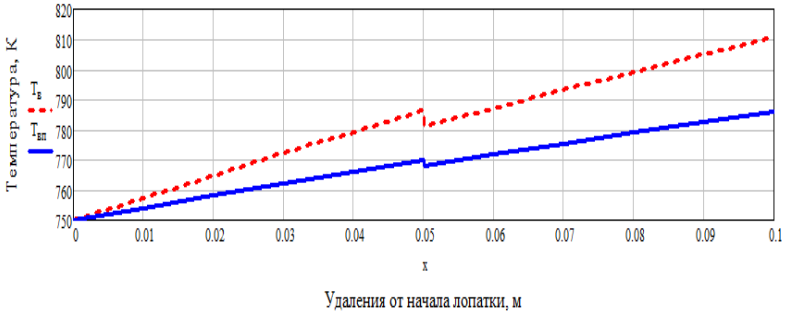


Рис. 10. Зависимость температур охлаждающего воздуха лопатки с покрытием с λ = 0,3 Вт/мК и δ = 0,3 мм (сплошная) и лопатки без покрытия (пунктирная).

В таблице 2 даны результаты этого расчета. Так как коэффициент теплоотдачи газа по длине лопатки различается, указаны напряжения на x от 0 до 0,05м и от 0,05 до 0,1 м.

Таблица 2. Температурные напряжения в стенке лопатки при различных комбинациях покрытий и без него.

Коэффициент теплопроводности, Вт/м*К	Толщина покрытия, мм	Температурные напряжения на 1 участке, МПа	Температурные напряжения на 2 участке, МПа
Без покрытия	0	400	327
0.3	0.1	315	267
	0.2	259	225
	0.3	219	195
0.5	0.1	344	288
	0.2	301	258
	0.3	268	233

1	0.1	370	306
	0.2	344	288
	0.3	321	272
3	0.1	390	320
	0.2	380	312
	0.3	370	306
5	0.1	394	322
	0.2	388	319
	0.3	382	314

Такое значительное снижение температуры лопатки может дать возможность экономить охлаждающий воздух. Были рассмотрены 5 контрольных точек:

1. Расход воздуха при условии, что температуры лопатки остаются в том же режиме, что и температуры лопатки без покрытия, т.е. минимально возможный расход воздуха.
2. Расход воздуха при условии, что температуры лопатки на 20К ниже температур лопатки без покрытия.
3. Расход воздуха при условии, что температуры лопатки на 50К ниже температур лопатки без покрытия.
4. Расход воздуха при условии, что температуры лопатки на 100К ниже температур лопатки без покрытия.
5. Расход воздуха при условии, что температуры лопатки на 150К ниже температур лопатки без покрытия.

Начальный расход воздуха G = 0,17 кг/с. В таблице 3 серым цветом отмечены варианты, не имеющие смысла, так как расход воздуха будет выше, чем исходный.

Еще одна величина, характеризующая процесс охлаждения, - это глубина охлаждения. Она определяется по выражению:

$$\Theta = \frac{T_г - T_{\omega 1}}{T_г - T_{во}} \quad (15)$$

Чем больше глубина охлаждения, тем эффективнее используется выбранный режим охлаждения. Был проведен расчет и получены значения глубины охлаждения для различных комбинаций покрытий (таблица 4). Так как коэффициент теплоотдачи газа по длине лопатки различается, указана глубина охлаждения на x от 0 до 0,05 м и от 0,05 до 0,1 м.

Таблица 3. Расход воздуха при разных комбинациях покрытия и режимах температур лопатки.

Коэффициент теплопроводности Вт/м*К	Толщина покрытия, мм	Минимальный расход воздуха (лопатка в том же темп. режиме), кг/с	Расход воздуха при понижении температуры лопатки на 20 К, кг/с	Расход воздуха при понижении температуры лопатки на 50 К, кг/с	Расход воздуха при понижении температуры лопатки на 100 К, кг/с	Расход воздуха при понижении температуры лопатки на 150 К, кг/с
0.3	0.1	0.132	0.141	0.155	0.178	0.202
	0.2	0.108	0.116	0.127	0.146	0.165
	0.3	0.092	0.098	0.108	0.124	0.14
0.5	0.1	0.145	0.155	0.17	0.196	0.221

	0.2	0.127	0.135	0.149	0.171	0.193
	0.3	0.112	0.12	0.132	0.152	0.171
1.0	0.1	0.156	0.167	0.184	0.211	0.238
	0.2	0.145	0.155	0.17	0.196	0.221
	0.3	0.135	0.145	0.159	0.183	0.206
3.0	0.1	0.165	0.176	0.194	0.223	0.252
	0.2	0.16	0.172	0.189	0.217	0.245
	0.3	0.156	0.167	0.184	0.211	0.238
5.0	0.1	0.167	0.178	0.196	0.225	0.254
	0.2	0.164	0.175	0.193	0.221	0.25
	0.3	0.161	0.173	0.19	0.218	0.246

Таблица 4. Глубина охлаждения лопатки при разных комбинациях покрытий.

Коэффициент теплопроводности, Вт/м*К	Толщина покрытия, мм	Глубина охлаждения на 1 участке, %	Глубина охлаждения на 2 участке, %
Без покрытия	0	37,6	45
0.3	0.1	51,1	55,1
	0.2	59,8	62,1
	0.3	65,9	67,2
0.5	0.1	46,5	51,5
	0.2	53,1	56,7
	0.3	58,3	60,9
1	0.1	42,4	48,5

	0.2	46,5	51,5
	0.3	50	54,3
3	0.1	39,3	46,2
	0.2	40,9	47,4
	0.3	42,4	48,5
5	0.1	38,6	45,7
	0.2	39,6	46,4
	0.3	40,6	47,1

Считается, что деталь работает наилучшим образом, если она прогрета равномерно по все длине. Как уже отмечалось ранее, температуры стенки с равномерно нанесенным покрытием растут экспоненциально. Поэтому предложено наносить покрытие неравномерным слоем, «по надобности», выравнивая температуры стенки на одном выбранном уровне. Равномерно прогретые лопатки будут служить дольше, так как температурные напряжения в их стенках ниже. Был проведен расчет с использованием формул (10)-(14). Были выбраны контрольные точки, на которых происходило выравнивание температур:

1. Температура лопатки без покрытия,
2. Температура на 20К ниже температуры лопатки без покрытия,
3. Температура на 50К ниже температуры лопатки без покрытия.

4. Температура на 100К ниже температуры лопатки без покрытия.
5. Максимально низкая температура, на которой возможно выравнивание при том, что толщина покрытия не более 0,3 мм.

На примере покрытия с λ = 0,3 Вт/м*К на графике (рис. 11) показано, какую толщину покрытия следует наносить на соответствующие участки лопатки для выравнивания температур лопатки на нужном значении. Толщина покрытия для покрытий с λ = 0,3; 0,5; 1,0 представлены в Приложении 3, таблицы 9-11.

В таблице 5 приведены температуры, на которых происходит выравнивание, соответствующие температурные напряжения и глубина охлаждения при таком выравнивании.

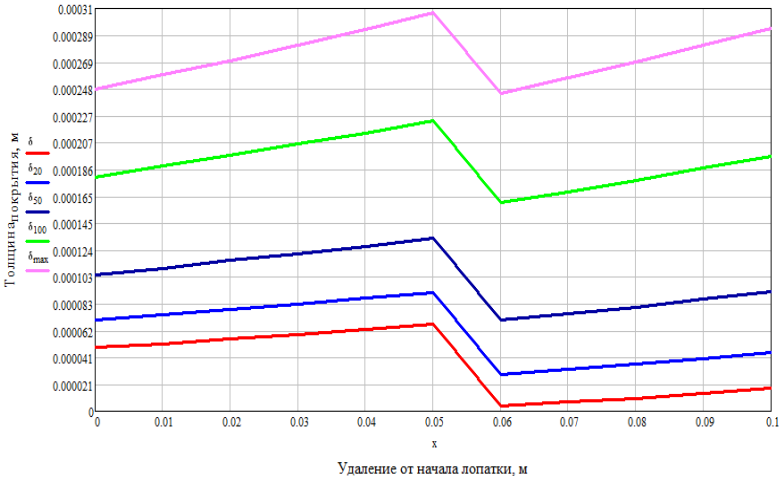


Рис. 11. Зависимость толщины покрытия для выравнивания на различных температурах от удаления от начала лопатки.

Таблица 5. Показатели температурных напряжений в стенке и глубины охлаждения при различных покрытиях и температурах выравнивания.

Коэффициент теплопроводности, Вт/м*К	Температура выравнивания, К	Температурные напряжения, МПа	Глубина охлаждения, %
0,3	1155	347	46
	1135 (-20)	325	48,7
	1105 (-50)	302	52,7
	1055 (-100)	246	59,3
	1021 (-134)	224	63,9
0,5	1155	347	46
	1135 (-20)	325	48,7
	1105 (-50)	302	52,7
	1075 (-80)	202	56,3
1	1155	347	46
	1135 (-20)	325	48,7

Графики на рис. 11 построены по результатам расчетов, представленным в Приложении 3, таблица 9.

Подводя промежуточный итог, отметим, чего удалось добиться при использовании покрытия на лопатках турбины:

- Снижение температур до 15%,
- Снижение температурных напряжений стенки до 42%.
- Возможность экономии охлаждающего воздуха до 45%.

- Возможность выравнивать температуру лопатки по всей длине при помощи неравномерного нанесения покрытия.

Пример полного расчета для покрытия с λ = 1 Вт/м*К и δ = 0,3 мм

$$K_{п1} = \left(\frac{1}{\alpha_г} + \frac{\delta_\omega}{\lambda_\omega} + \frac{\delta_п}{\lambda_п} + \frac{1}{\alpha_в}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{2200} + \frac{0.0015}{26} + \frac{0.0003}{1} + \frac{1}{1500}\right)^{-1} = 676\ \frac{Вт}{м^2 * К}; k_{п2} = 591\ \frac{Вт}{м^2 * К}$$

$$T_{Вх} = T_г - (T_г - T_{В0})e^{\frac{-k_п * x l}{c_P * G}} = 1500 - (1500 - 750)e^{\frac{-676(591) * x * 0.2}{1000 * 0.17}}$$

X	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
$T_{Вх}$	750	755.9	761.8	767.6	773.4	779.2	775.6	780.6	785.6	790.6	795.5	800,4

$$T_п = T_г - (T_г - T_{Вх})\frac{k_п}{\alpha_г} = 1500 - (1500 - T_{Вх})\frac{676(591)}{2200(1500)}$$

X	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
$T_п$	1269.5	1271.3	1273.1	1274.9	1276.7	1278.5	1214.4	1216.4	1218.4	1220.3	1222.3	1224.2

$$T_{\omega 1} = T_г - (T_г - T_{Вх})k_п * (\frac{1}{\alpha_г} + \frac{\delta_п}{\lambda_п})$$

X	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
$T_{\omega 1}$	1117.3	1120.4	1123.4	1126.4	1129.3	1132.3	1085.9	1088.8	1091.6	1094.5	1097.3	1100.1

$$T_{\omega 2} = T_г - (T_г - T_{Вх})k_п * (\frac{1}{\alpha_г} + \frac{\delta_п}{\lambda_п} + \frac{\delta_\omega}{\lambda_\omega})$$

X	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
$T_{\omega 2}$	1088.1	1091.4	1094.6	1097.8	1101	1104.2	1061.2	1064.3	1067.3	1070.3	1073.3	1076.2

$$\sigma = \frac{T_{\omega 1} - T_{\omega 2}}{2}\alpha E = \frac{1117{,}3 - 1088{,}1}{2} * 16 * 10^{-6} * 1{,}4 * 10^{12} = 321 \text{ МПа}; \ \sigma = \frac{T_{\omega 1} - T_{\omega 2}}{2}\alpha E = \frac{1085{,}9 - 1061{,}2}{2} * 16 * 10^{-6} * 1{,}4 * 10^{12} = 272 \text{ МПа}$$

$G = \frac{k_{пэкл}}{c_p * \ln\frac{T_г - T_{Вх}}{T_г - T_{В0}}}$, где $T_{В0}$ и $T_{Вх}$ – начальная и локальная температуры охлаждающего воздуха при заданной $T_{\omega 1}$.

Коэффициент теплопроводности Вт/м*К	Толщина покрытия, мм	Минимальный расход воздуха (лопатка в том же темп. режиме),	Расход воздуха при понижении температуры	Расход воздуха при понижении температуры	Расход воздуха при понижении температуры	Расход воздуха при понижении температуры

		кг/с	лопатки на 20 К, кг/с	лопатки на 50 К, кг/с	лопатки на 100 К, кг/с	лопатки на 150 К, кг/с
0.1	0.3	0.135	0.145	0.159	0.183	0.206

$$\Theta = \frac{T_г - T_{\omega 1}}{T_г - T_{во}} = \frac{1500-1117(1086)}{1500-750} = 0{,}5\,(0{,}543)$$

Для нахождения толщины покрытия для выравнивания решается следующая система уравнений относительно $T_{вх}$ и $\delta_п$:

$$(T_г - T_{вх})\left(\frac{1}{\alpha_г} + \frac{\delta_\omega}{\lambda_\omega} + \frac{\delta_п}{\lambda_п} + \frac{1}{\alpha_в}\right)^{-1} = \left(T_г - T_{\text{выравнивания}}\right)\left(\frac{1}{\alpha_г} + \frac{\delta_п}{\lambda_п}\right)^{-1}$$

$$T_{вх} = T_г - (T_г - T_{во})e^{\frac{-\left(\frac{1}{\alpha_г} + \frac{\delta_\omega}{\lambda_\omega} + \frac{\delta_п}{\lambda_п} + \frac{1}{\alpha_в}\right)^{-1} * x l}{c_p * G}}$$

Таблица 6. Таблица толщины покрытия, м.

X / $T_{в ыр}$	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
1155	0.00 0163	0.00 0174	0.00 0186	0.00 0198	0.00 021	0.00 0224	0.00 0012	0.00 0024	0.00 0035	0.00 0047	0.00 0059
1135	0.00 0232	0.00 0246	0.00 0259	0.00 0274	0.00 0289	0.00 0304	0.00 0093	0.00 0107	0.00 012	0.00 0134	0.00 0149

Выводы:

В результате выполнения работы достигнуты следующие результаты:

- Выбрано покрытие ZrO_2, соответствующее требованиям относительно ТКЛР, коэффициента теплопроводности и степени черноты, обеспечивающее термическую и химическую защиту.
- Значительное понижение температуры стенки жаровой трубы до 33% дает запас для повышения температуры в жаровой трубе при надобности (возможность повысить КПД установки).
- Понижение температурных напряжений в стенке жаровой трубы до 75% дает детали возможность работать значительно дольше.
- При сниженной степени черноты покрытия можно добиться увеличения отражательной способности стенки жаровой трубы.
- Снижение температур лопатки до 15%.
- Снижение температурных напряжений стенки лопатки до 42%.
- Возможность экономии охлаждающего воздуха до 45%.
- Возможность выравнивать температуру лопатки по всей длине при помощи неравномерного нанесения покрытия.

Исходя из этого, можно сказать, что есть все условия для применения данного покрытия на практике, так как в расчете оно показало свою эффективность.

Литература:

1. Гаямов А.М., Будиновский С.А., Мубояджан С.А., Косьмин А.А. «Выбор жаростойкого покрытия для жаропрочного никелевого рений - рутенийсодержащего сплава марки ВЖМ4», журнал «Труды ВИАМ», УДК 629.7.023.224
2. Солнцев С.С., Швагирева В.В., Исаева Н.В., Соловьева Г.А. «Жаростойкое покрытие для защиты сложнолегированных никелевых сплавов от высокотемпературной газовой коррозии», журнал «Труды ВИАМ», УДК 629.7.023.224
3. Сорокин О.Ю., Гращенков Д.В., Солнцев С.С., Евдокимов С.А. «Керамические композиционные материалы с высокой окислительной стойкостью для перспективных ЛА», журнал «Труды ВИАМ», УДК 666.7
4. Косьмин А.А., Будиновский С.А., Гаямов А.М., Смирнов А.А. «Жаростойкое покрытие для нового перспективного интерметаллидного сплава ВИН3», журнал «Труды ВИАМ», УДК 629.7.023.224
5. Балдаев Л.Х., Лупанов В.А., Шатов А.П. ООО «НИИ ЗП ТСЗП-Сатурн» «Оборудование, технология

газотермического напыления и покрытия», ООО «НИИ ЗП ТСЗП-Сатурн», www.tspc.ru/about/lit

6. Статья «Дуговая металлизация», ЗАО «Плакарт», www.plackart.com/coatings/metallizaciya.html
7. Статья «Вакуумное напыление», Википедия, ru.wikipedia.org/wiki/Вакуумное_напыление
8. Philip H. McCluskey, Harry E. Eaton, Jr., Daniel R. Godin, George E. Foster, H. David Harter, Stephen Chin, Glenn A. Cotnoir, Charles A. Ellis «Plasma sprayed mullite coatings on silicon based ceramic materials», патент США US 5869146 A, 9.02.1999
9. Kang N. Lee «Comprised of rare earth silicate material; strength and durability in high temperature and chemically hostile environment», патент США US 6759151 B1, 6.07.2004
10. Harry Edwin Eaton, Jr., William Patrick Allen, Robert Alden Miller, Nathan S. Jacobson, James L. Smialek, Elizabeth J. Opila, Kang N. Lee, Bangalore A. Nagaraj, Hongyu Wang, Peter Joel Meschter, Krishan Lal Luthra «Silicon based substrate with calcium aluminosilicate environmental/thermal barrier layer», патент США US 6296942 B1, 2.10.2001
11. Peter Mechnich «Ceramic material», патент США US 7348287 B2, 25.03.2008
12. Варрик Н.М., Ивахненко Ю.А., Максимов В.Г. «Оксид-оксидные композиционные материалы для газотурбинных двигателей», журнал «Труды ВИАМ», УДК 678.84

13. Статья «Применение технологий нанесения функциональных газотермических покрытий», ООО «НИИ ЗП ТСЗП-Сатурн», www.tspc.ru/about/lit
14. Балдаев Л.Х., Лупанов В.А. «Увеличение термостойкости теплозащитных покрытий», ООО «НИИ ЗП ТСЗП-Сатурн», www.tspc.ru/about/lit
15. Статья «Термобарьерные покрытия», ЗАО «Плакарт», www.plackart.com/coatings/termobariernye-pokrytiya.html
16. Лебедева Ю.Е., Попович Н.В., Орлова Л.А. «Защитные высокотемпературные покрытия для композиционных материалов на основе SiC», журнал «Труды ВИАМ», УДК 666.762.852:620.193.53
17. Brian Thomas Hazel, Irene Spitsberg «Thermal/environmental barrier coating system for silicon-containing materials», патент США US 7357994 B2, 15.04.2008
18. Статья «Ceramic Protective Coatings», Ultramet, www.ultramet.com/ceramic_protective_coatings.html
19. Статья «Муллит», Википедия, ru.wikipedia.org/wiki/Муллит
20. Басаргин И.В. «Теплопроводность и температурное состояние термобарьерных покрытий охлаждаемых деталей ГТД», диссертация КГТУ им. Туполева, 2010
21. Статья «Цирконий, циркон, диоксид циркония», Международный центр дентальной имплантации «Эспадент»,

www.espadent.ru/block_doctors/articles/zirconium_zircon_zirconium_dioxide.html

22. Статья «Степень черноты различных веществ (металлов, диэлектриков, строительных материалов)», www.thermalinfo.ru
23. Статья «Технологические основы нанесения декоративно-защитных покрытий вакуумными ионно-плазменными методами», ООО «Гратон СК», www.graton.su/napylenie11.html
24. Irene T. Spitsberg, Hongyu Wang, Raymond W. Heidorn «Thermal spraying a mullite powder at a temperature sufficient to completely melt the mullite powder without evaporating the silica from the powder, on a substrate to form a coating, cooling the crack-free mullite coating», патент США US 6129954 A, 10.10.2000
25. Береговский, В.В., Арутюнова, И.Ф. «Влияние жаростойкого подслоя термобарьерных покрытий на механическую усталость жаропрочных сплавов», журнал «Мир современной науки», том 4/2012, УДК 621
26. Иванов В.Л. «Воздушное охлаждение лопаток газовых турбин», учебное пособие, Москва, издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, УДК 621.438.539.4(075.8), 2013, 94 с.
27. Лефевр А. «Процессы в камере сгорания газотурбинных двигателей» (перевод с английского под редакцией В.Е. Дорошенко), Москва, издательство «Мир», 1986, 358 с.

Приложение 1. Результаты расчетов для жаровой трубы с конвективным охлаждением.

Таблица 1. Температуры покрытия, внутренней и внешней стенки жаровой трубы с конвективным охлаждением при покрытиях со степенью черноты ε = 0,4, К.

δ, мм / λ, Вт/м*К	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
0,3	1721150614777	1803143114058	1864137113488	1911132313003	1949128312655	1980125012333	2005122212007	2027119811844	2045117711644	2061115811466	2075114211330	2087112811177	2098111511044	2108110310933	2116109210883
0,5	1680154315111	1740149014611	1789144414418	1830140513811	1865137113488	1894134113320	1920131512955	1943129111272	1963127011252	1980125011234	1996123311217	2010121711202	2023120311188	2035118911175	2046117711164
0,	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

7	6 0 0 1 5 5 9 1 5 2 7	7 0 7 1 5 1 9 1 4 8 9	7 4 8 1 4 8 3 1 4 5 4	7 8 3 1 4 5 1 1 4 2 4	8 1 4 1 4 2 2 1 3 9 6	8 4 1 1 3 9 5 1 3 7 1	8 6 5 1 3 7 1 1 3 4 9	8 8 7 1 3 5 0 1 3 2 8	9 0 6 1 3 3 0 1 3 0 9	9 2 4 1 3 1 1 1 2 9 1	9 4 0 1 2 9 4 1 2 7 5	9 5 5 1 2 7 9 1 2 6 0	9 6 8 1 2 6 4 1 2 4 7	9 8 1 1 2 5 1 1 2 3 4	9 9 2 1 2 3 8 1 2 2 2
0, 9	1 6 4 9 1 5 6 9 1 5 3 6	1 6 8 7 1 5 3 6 1 5 0 5	1 7 2 2 1 5 0 7 1 4 7 7	1 7 5 2 1 4 7 9 1 4 5 1	1 7 7 9 1 4 5 4 1 4 2 7	1 8 0 4 1 4 3 1 1 4 0 5	1 8 2 6 1 4 1 0 1 3 8 5	1 8 4 7 1 3 9 0 1 3 6 6	1 8 6 5 1 3 7 2 1 3 4 9	1 8 8 3 1 3 5 4 1 3 3 3	1 8 9 8 1 3 3 8 1 3 1 7	1 9 1 3 1 3 2 4 1 3 0 3	1 9 2 6 1 3 0 9 1 2 9 0	1 9 3 9 1 2 9 6 1 2 7 7	1 9 5 1 1 2 8 4 1 2 6 5
1, 1	1 6 4 1 1 5 7 6 1 5 4 2	1 6 7 4 1 5 4 8 1 5 1 6	1 7 0 4 1 5 2 3 1 4 9 2	1 7 3 0 1 4 9 9 1 4 7 0	1 7 5 5 1 4 7 7 1 4 4 9	1 7 7 1 1 4 5 7 1 4 2 9	1 7 9 8 1 4 3 7 1 4 1 1	1 8 1 7 1 4 1 9 1 3 9 4	1 8 3 4 1 4 0 3 1 3 7 8	1 8 5 1 1 3 8 7 1 3 6 3	1 8 6 6 1 3 7 2 1 3 4 9	1 8 8 0 1 3 5 8 1 3 3 6	1 8 9 3 1 3 4 4 1 3 2 3	1 9 0 6 1 3 3 2 1 3 1 1	1 9 1 7 1 3 2 0 1 3 0 0
1, 3	1 6 3 6 1	1 6 6 5 1	1 6 9 0 1	1 7 1 4 1	1 7 3 6 1	1 7 5 7 1	1 7 7 6 1	1 7 9 3 1	1 8 1 0 1	1 8 2 5 1	1 8 4 0 1	1 8 5 3 1	1 8 6 6 1	1 8 7 8 1	1 8 9 0 1

	5801546	5561524	5341503	5131483	4941465	4761447	4581431	4421415	4261401	4121387	3981374	3851361	3721349	3601338	3491327
1,5	1632158315549	1657156315300	1680154315111	1702152414944	1722150714777	1741149014611	1758147514466	1775146014432	1790144514119	1805143214066	1819141913938	1832140613822	1844139413700	1856138313600	1867137213496
1,7	1629158615522	1652156715344	1673155015118	1692153315028	1711151715873	1728150214733	1774148814559	1760147414446	1774146111433	1788144814421	1801143614410	1813142413999	1825141313888	1836140213778	1847139213668
1,9	1627158811	1647157111	1666155551	1684154001	1701152611	1717151211	1732149811	1747148611	1761147311	1774146111	1786145011	1798143911	1809142811	1820141811	1830140811

	554	538	523	509	495	482	469	457	445	434	423	413	403	393	384
2,1	1625158915555	1643115741541	1661156015227	1677154615144	1693153315011	1708152014899	1723150714777	1736149514666	1749148414555	1761147314455	1773146214335	1785145214225	1795144214155	1806143214066	1816142314397

Таблица 2. Температуры покрытия, внутренней и внешней стенки жаровой трубы с конвективным охлаждением при покрытиях со степенью черноты ε = 0,2К.

δ, мм / λ, Вт/м*К	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
0,3	1695148714588	1778141613991	1840135913377	1889131412944	1928127612588	1960124412227	1986121217120 1	2009119317179	2028117317116	2045115515143	2060113913127	2073112512114	2084111211102	2095110110911	2104109010881

0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
	6	7	7	8	8	8	8	9	9	9	9	9	0	0	0
	5	1	6	0	4	7	9	2	4	6	7	9	0	1	2
	4	4	3	5	1	1	8	1	2	0	7	2	6	8	9
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	5	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1
	2	7	2	9	6	3	0	8	6	4	2	1	9	8	7
	1	2	9	2	0	1	6	3	2	4	7	2	8	5	3
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	4	4	4	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1
	9	4	0	6	3	1	8	6	4	2	1	9	8	7	6
	1	4	3	8	7	0	6	4	5	7	1	7	3	1	0
0,7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	6	6	7	7	7	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9
	3	8	2	5	8	1	4	6	8	0	1	3	4	6	7
	4	1	2	7	8	6	1	3	4	2	9	4	8	1	3
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	5	4	4	4	4	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2
	3	9	6	3	0	8	6	3	2	0	8	7	5	4	3
	7	9	5	5	7	3	0	9	0	2	6	1	7	4	2
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	5	4	4	4	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2
	0	7	3	0	8	5	3	1	0	8	6	5	4	2	1
	6	0	8	9	3	9	8	8	0	3	8	3	0	8	6
0,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	6	6	6	7	7	7	8	8	8	8	8	8	9	9	9
	2	6	9	2	5	7	0	2	4	5	7	9	0	1	3
	3	1	5	6	4	9	1	2	1	9	5	0	4	7	0
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	5	5	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	2	2
	4	1	8	6	3	1	9	7	6	4	2	1	0	8	7
	6	6	8	2	8	7	6	8	0	4	9	4	1	8	6
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	5	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2
	1	8	5	3	1	9	7	5	3	2	0	9	8	7	5
	4	5	9	5	2	1	2	4	8	2	8	4	2	0	8
1,1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	6	6	6	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
	1	4	7	0	2	5	7	9	1	2	4	5	7	8	9
	5	8	7	4	9	1	2	2	0	6	2	6	0	3	5

	1552152 0	1526149 6	1503147 3	1481145 2	1460143 3	1441141 4	1422139 7	1406138 1	1390136 6	1374135 2	1360133 8	1347132 5	1334131 3	1322130 2	1311129 1
1,3	1610155 6152 4	1638153 4150 3	1664151 3148 3	1688149 4146 5	1710147 6144 8	1731145 8143 1	1750144 2141 6	1768142 7140 1	1785141 2138 7	1800139 8137 4	1815138 5136 2	1829137 2135 0	1842136 1133 8	1855134 9132 7	1866133 8131 7
1,5	1606155 9152 7	1631154 0150 8	1654152 2149 1	1676150 4147 5	1696148 8145 9	1715147 2144 4	1732145 8143 0	1749144 3141 7	1765143 0140 4	1780141 7139 2	1794140 5138 0	1807139 3136 9	1819138 2135 9	1831137 1134 8	1843136 1133 8
1,7	1603156 1	1625154 4	1646152 8	1666151 2	1684149 8	1702148 3	1718147 0	1734145 7	1748144 4	1762143 2	1776142 1	1788141 0	1800139 9	1812138 9	1823137 9

	1529	1513	1497	1482	1468	1455	1442	1430	1418	1407	1396	1385	1375	1366	1356
1,9	1601	1621	1640	1658	1675	1691	1706	1721	1735	1748	1760	1773	1784	1795	1806
	1563	1548	1533	1519	1505	1492	1480	1468	1456	1445	1434	1424	1414	1405	1395
	1531	1516	1502	1489	1476	1463	1452	1440	1429	1419	1408	1399	1389	1380	1371
2,1	1599	1617	1635	1651	1667	1682	1696	1710	1723	1736	1748	1759	1770	1781	1791
	1565	1551	1537	1524	1512	1500	1488	1477	1466	1456	1446	1436	1427	1418	1409
	1532	1519	1506	1494	1482	1471	1460	1449	1439	1429	1419	1410	1401	1393	1384

Таблица 3. Температурные напряжения в стенке жаровой трубы, МПа.

λ, Вт/м* К δ,мм	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1
0.1	325	358	358	370	381	381	381	381	381	381
0.2	291	325	336	347	358	358	370	370	370	370
0.3	258	291	325	336	347	347	358	358	358	370
0.4	224	269	302	314	325	336	336	347	347	358

0.5	202	258	291	302	314	325	336	336	347	358
0.6	190	235	269	291	314	325	325	325	336	347
0.7	168	224	246	280	291	302	325	325	325	336
0.8	157	213	246	269	280	302	314	314	325	325
0.9	145	202	235	258	280	280	291	314	314	325
1.0	134	179	224	235	269	280	291	302	302	314
1.1	134	179	213	235	258	269	291	291	302	302
1.2	123	168	213	235	246	269	269	280	291	302
1.3	123	168	190	213	235	258	269	280	280	302
1.4	112	157	190	213	235	246	258	269	280	291
1.5	101	146	179	213	224	246	258	269	269	291

Приложение 2. Результаты расчетов для жаровой трубы с пленочным охлаждением.

Таблица 1. Температуры покрытия, внутренней и внешней стенки жаровой трубы с пленочным охлаждением при покрытиях со степенью черноты ε = 0,4К.

δ,мм / λ, Вт/м*К	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
0.3	1284 1185 1171	1306 1138 1127	1321 1105 1094	1333 1078 1070	1342 1058 1050	1350 1041 1034	1356 1027 1021	1361 1016 1010	1366 1006 1000	1369 999 992	1373 989 984	1376 983 978	1378 977 973	1380 972 968	1382 967 963
0.5	1273 1208 1194	1289 1174 1161	1302 1147 1135	1312 1124 1113	1321 1105 1094	1329 1088 1079	1335 1074 1065	1341 1062 1054	1346 1051 1043	1350 1041 1034	1354 1033 1026	1357 1025 1018	1360 1018 1012	1363 1012 1006	1366 1007 1000
0.7	1267 1220 1210	1280 1193 1185	1291 1170 1163	1300 1150 1143	1308 1133 1127	1315 1118 1112	1321 1105 1100	1327 1093 1088	1332 1082 1077	1336 1072 1067	1340 1063 1058	1344 1055 1050	1347 1048 1043	1350 1041 1035	1353 1035 1030

	04	79	57	38	22	07	94	83	73	64	55	48	40	34	28
0.9	12	12	12	12	12	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	64	75	84	92	99	06	11	16	21	25	29	33	36	39	42
	12	12	11	11	11	11	11	11	11	10	10	10	10	10	10
	26	04	85	68	52	38	26	15	05	95	86	78	71	64	58
	12	11	11	11	11	11	11	11	10	10	10	10	10	10	10
	11	90	71	55	40	27	15	04	94	86	77	70	63	56	50
1.1	12	12	12	12	12	12	13	13	13	13	13	13	13	13	13
	62	71	79	86	93	99	04	09	13	17	21	25	28	31	34
	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10	10	10	10
	31	12	95	80	66	54	42	32	22	13	05	97	90	83	76
	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10	10	10	10	10
	15	97	81	66	53	41	30	20	11	02	94	87	80	74	68
1.3	12	12	12	12	12	12	12	13	13	13	13	13	13	13	13
	61	68	75	82	88	93	98	03	07	11	15	18	21	24	27
	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10	10
	34	18	03	89	77	65	55	45	36	27	19	12	05	98	92
	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10	10	10
	18	02	88	75	63	52	42	33	24	16	08	01	94	88	82
1.5	12	12	12	12	12	12	12	12	13	13	13	13	13	13	13
	59	66	73	79	84	89	94	98	02	06	09	12	15	18	21
	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	36	22	08	96	85	74	64	55	47	38	31	24	17	11	05
	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10
	20	06	94	82	71	61	52	43	35	27	20	13	06	00	94
1.7	12	12	12	12	12	12	12	12	12	13	13	13	13	13	13
	59	65	71	76	81	85	90	94	98	01	04	08	11	14	16
	12	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	38	25	13	02	91	82	72	64	56	48	41	34	27	21	15
	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	22	09	98	87	77	68	59	51	43	36	29	23	16	11	05
1.9	12	12	12	18	12	12	12	12	12	12	13	13	13	13	13
	58	64	69	74	78	83	87	90	94	97	01	04	07	09	12
	12	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	39	28	17	06	97	88	79	71	63	56	49	43	36	30	25
	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	23	12	01	92	82	74	66	58	51	44	37	31	25	19	14
2.1	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	13	13	13	13
	57	63	67	72	76	80	84	88	91	94	97	00	03	06	08
	12	12	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	40	30	20	10	01	93	85	77	70	63	56	50	44	38	33
	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	24	14	04	95	87	79	71	64	57	50	44	38	32	27	22

Таблица 2. Температуры покрытия, внутренней и внешней стенки жаровой трубы с пленочным охлаждением при покрытиях со степенью черноты ε = 0,2К.

δ,мм λ, Вт/м*К	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
0.3	1259 1166 1153	1280 1123 1112	1295 1091 1082	1306 1067 1058	1315 1047 1040	1322 1032 1025	1328 1019 1013	1333 1008 1002	1337 999 993	1341 990 985	1344 983 978	1347 977 972	1349 971 967	1352 966 963	1354 962 958
0.5	1248 1188 1174	1264 1156 1144	1276 1131 1119	1286 1109 1099	1295 1091 1082	1302 1076 1067	1308 1063 1054	1313 1051 1043	1318 1041 1034	1322 1032 1025	1326 1024 1017	1329 1016 1010	1332 1010 1004	1335 1004 998	1337 999 993
0.7	1243 1199 1184	1256 1174 1161	1266 1152 1140	1275 1134 1123	1282 1118 1107	1289 1104 1094	1295 1091 1082	1300 1080 1071	1305 1070 1061	1309 1061 1053	1313 1053 1045	1316 1045 1038	1319 1038 1031	1322 1032 1025	1325 1026 1019
0.9	1240 1205 1190	1250 1184 1171	1259 1166 1153	1267 1150 1138	1274 1136 1124	1280 1123 1112	1285 1111 1101	1290 1101 1091	1295 1091 1082	1299 1082 1073	1303 1074 1066	1306 1067 1058	1309 1060 1052	1312 1053 1046	1315 1047 1040
1.1	1238 1209 1194	1247 1192 1178	1255 1176 1163	1261 1162 1149	1267 1149 1137	1273 1137 1126	1278 1126 1115	1283 1116 1106	1287 1107 1097	1291 1099 1089	1295 1091 1082	1298 1084 1075	1301 1077 1068	1304 1071 1062	1307 1065 1057
1.3	1237 1212 1197	1244 1197 1183	1251 1183 1169	1257 1170 1156	1263 1159 1146	1268 1148 1136	1273 1138 1126	1277 1129 1118	1281 1120 1109	1285 1112 1102	1288 1105 1095	1292 1098 1088	1295 1091 1082	1298 1085 1076	1300 1079 1070

1.5	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	36	42	48	54	59	64	68	72	76	80	83	86	89	92	95
	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10	10
	14	01	88	77	66	56	47	39	31	23	16	09	03	97	91
	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10	10	10	10
	99	86	74	64	53	44	35	27	19	12	05	99	93	87	82
1.7	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	35	41	46	51	56	61	65	68	72	75	79	82	85	87	90
	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	16	04	93	82	72	63	55	47	39	32	25	19	13	07	01
	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10	10
	01	89	78	69	59	51	42	35	27	21	14	08	02	97	92
1.9	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	34	40	45	49	54	58	62	65	69	72	75	78	81	83	86
	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	17	06	96	86	77	69	61	53	46	39	33	27	21	16	10
	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	02	91	82	73	64	56	48	41	34	28	22	16	10	05	00
2.1	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	34	39	43	48	52	56	59	63	66	69	72	75	77	80	82
	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	18	08	99	90	82	74	66	59	52	46	40	34	28	23	18
	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	03	93	84	76	68	61	53	47	40	34	28	23	17	12	07

Таблица 3. Температурные напряжения в стенке жаровой трубы, МПа.

λ, Вт/м* К / δ,мм	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1
0.1	156	157	179	168	179	179	179	179	179	179
0.2	123	146	157	157	168	179	179	179	179	179
0.3	123	134	146	157	1.5	168	157	1.68	179	179
0.4	89.6	123	134	146	157	157	157	168	157	168
0.5	89.6	123	123	134	146	157	157	157	168	157
0.6	78.4	101	123	123	146	146	146	157	157	157
0.7	67.2	101	123	123	134	146	134	146	146	157
0.8	67.2	89.6	112	123	134	134	134	146	146	146
0.9	67.2	89.6	101	123	123	134	134	146	134	146
1.0	56	78.4	89.6	101	123	123	123	134	134	146
1.1	56	78.4	89.6	101	123	123	123	134	134	134

1.2	56	78.4	78.4	89.6	112	123	123	123	134	134
1.3	44.8	67.2	89.6	89.6	112	123	123	123	123	134
1.4	44.8	67.2	78.4	89.6	101	112	123	112	123	123
1.5	44.8	67.2	78.4	89.6	89.6	112	123	112	123	123

Приложение 3. Результаты расчетов для лопатки турбины.

Таблица 1. Температура охлаждающего воздуха, К.

λ, Вт/м* К	0,3			0,5			1,0			3,0			0,5		
δ, мм / x, м	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3
0	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
0,01	755.8	754.7	754.0	756.3	755.5	754.9	756.8	756.3	755.9	757.2	757.0	756.8	757.3	757.2	757.0
0,02	761.5	759.5	758.0	762.6	761.0	759.8	763.6	762.6	761.8	764.4	764.0	763.6	764.5	764.3	764.1
0,03	767.3	764.2	762.0	768.9	766.5	764.7	770.4	768.9	767.6	771.5	770.9	770.4	771.7	771.4	771.0
0,04	772.9	768.8	766.0	775.1	772.0	769.5	777.0	775.1	773.4	778.5	777.8	777.0	778.8	778.4	777.9
0,05	778.6	773.5	769.9	781.3	777.4	774.3	783.7	781.3	779.2	785.5	784.5	783.7	785.9	785.3	784.7
0,05	775.1	771.1	768.2	777.2	774.2	771.8	779.0	777.2	775.6	780.3	779.6	779.0	780.6	780.2	779.7
0,06	780.0	775.2	771.8	782.5	778.9	776.1	784.6	782.5	780.6	786.2	785.4	784.6	786.5	786.0	785.6
0,07	784.9	779.4	775.3	787.8	783.7	780.3	790.3	787.8	785.6	792.1	791.1	790.3	792.5	791.9	791.3
0,08	789.8	783.5	778.9	793.0	788.3	784.6	795.8	793.0	790.6	797.9	796.8	795.8	798.3	797.7	797.1
0,0	79	78	78	79	79	78	80	79	79	80	80	80	80	80	80

9	4.6	7.6	2.4	8.2	3.0	8.8	1.4	8.2	5.5	3.7	2.5	1.4	4.2	3.4	2.7
0,1	799.4	791.6	786.0	803.4	797.6	793.0	806.9	803.4	800.4	809.4	808.1	806.9	809.9	809.1	808.4

Таблица 2. Температура покрытия, К.

λ, Вт/м* К	0,3			0,5			1,0			3,0			0,5		
δ, мм / x, м	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3
0	1274.6	1315.3	1343.5	1252.8	1284.1	1284.1	1233.4	1252.8	1269.5	1218.8	1226.3	1233.4	1215.6	1220.3	1220.3
0,01	1276.3	1316.5	1344.4	1254.9	1285.7	1285.7	1235.9	1254.9	1271.3	1221.5	1228.9	1235.9	1218.4	1223	1223
0,02	1278	1317.6	1345.2	1257	1287.3	1287.3	1238.3	1257	1273.1	1224.2	1231.4	1238.3	1221.2	1225.7	1225.7
0,03	1279.8	1318.8	1346.1	1259	1288.9	1288.9	1240.7	1259	1274.9	1226.8	1233.9	1240.7	1223.9	1228.3	1228.3
0,04	1281.5	1319.9	1346.9	1261.1	1290.4	1290.4	1243.1	1261.1	1276.7	1229.5	1236.5	1243.1	1226.6	1230.9	1230.9
0,05	1283.2	1321.1	1347.7	1263.1	1292	1292	1245.4	1263.1	1278.5	1232.1	1238.9	1245.4	1229.3	1233.5	1233.5
0,05	1219.8	1263.9	1296	1197.1	1229.9	1256.2	1177.6	1197.1	1214.4	1163.2	1170.6	1177.6	1160.1	1164.7	1169.1
0,06	1221.7	1265.2	1297	1199.4	1231.6	1257.6	1180.2	1199.4	1216.4	1165.9	1173.2	1180.2	1162.9	1167.4	1171.8
0,07	1223.6	1266.5	1298	1201.6	1233.4	1259	1182.7	1201.6	1218.4	1168.7	1175.8	1182.7	1165.7	1170.1	1174.4
0,08	1225.	1267.	1299	1203.	1235.	1260.	1185.	1203.	1220.	1171.	1178.	1185.	1168.	1172.	1177.

	4	9		8	1	5	2	8	3	4	4	2	5	8	1
0,09	1227.3	1269.2	1299.9	1206	1236.9	1261.9	1187.6	1206	1222.3	1174.1	1181	1187.6	1171.3	1175.5	1179.7
0,1	1229.2	1270.5	1300.9	1208.1	1238.6	1263.3	1190.1	1208.1	1224.2	1176.8	1183.6	1190.1	1174	1178.2	1182.3

Таблица 3. Температура внешней стенки лопатки, К.

λ, Вт/м*К	0,3			0,5			1,0			3,0			0,5		
δ, мм / x, м	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3
0	1109.2	1044.4	999.3	1144	1094.1	1055.4	1174.8	1144	1117.3	1198.2	1186.2	1174.8	1203.1	1195.7	1188.5
0,01	1112.3	1047.3	1002	1147	1097.1	1058.3	1177.8	1147	1120.4	1201.1	1189.1	1177.8	1206	1198.6	1191.5
0,02	1115.3	1050.1	1004.7	1150	1100.1	1061.2	1180.7	1150	1123.4	1204	1192	1180.7	1208.9	1201.5	1194.4
0,03	1118.3	1053	1007.4	1153	1103.1	1064.1	1183.6	1153	1126.4	1206.8	1194.9	1183.6	1211.7	1204.4	1197.3
0,04	1121.2	1055.8	1010	1155.9	1106	1067	1186.5	1155.9	1129.3	1209.6	1197.8	1186.5	1214.6	1207.2	1200.1
0,05	1124.2	1058.7	1012.7	1158.9	1108.9	1069.9	1189.4	1158.9	1132.3	1212.5	1200.6	1189.4	1217.4	1210	1203
0,05	1079.6	1027.7	989.9	1106.3	1067.8	1036.7	1129.3	1106.3	1085.9	1146.3	1137.6	1129.3	1149.9	1144.6	1139.3
0,06	1082.5	1030.4	992.4	1109.2	1070.6	1039.5	1132.2	1109.2	1088.8	1149.2	1140.5	1132.2	1152.8	1147.5	1142.2
0,07	1085.3	1033.1	994.9	1112.1	1073.4	1042.2	1135.1	1112.1	1091.6	1152.1	1143.4	1135.1	1155.7	1150.3	1145.1
0,08	1088.2	1035.7	997.4	1114.9	1076.2	1044.9	1137.9	1114.9	1094.5	1155	1146.3	1137.9	1158.6	1153.2	1148
0,09	1091	1038.	999.9	1117.	1079	1047.	1140.	1117.	1097.	1157.	1149.	1140.	1161.	1156.	1150.

		4		8		6	8	8	3	8	1	8	4	1	8
0,1	1093.7	1041	1002.3	1120.6	1081.7	1050.2	1143.6	1120.6	1100.1	1160.6	1151.9	1143.6	1164.2	1158.9	1153.7

Таблица 4. Температура внутренней стенки лопатки, К.

λ, Вт/м*К	0,3			0,5			1,0			3,0			0,5		
δ, мм / x, м	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3
0	1080.6	1020.9	979.5	1112.6	1066.7	1031.1	1141	1112.6	1088.1	1162.5	1151.4	1141	1167	1160.2	1153.6
0,01	1083.9	1024	982.3	1115.9	1069.9	1034.2	1144.2	1115.9	1091.4	1165.7	1154.7	1144.2	1170.3	1163.5	1156.9
0,02	1087.1	1027	985.1	1119.2	1073.1	1037.2	1147.5	1119.2	1094.6	1168.9	1157.9	1147.5	1173.5	1166.7	1160.1
0,03	1090.3	1030	987.8	1122.4	1076.3	1040.3	1150.7	1122.4	1097.8	1172.1	1161.2	1150.7	1176.7	1169.9	1163.3
0,04	1093.5	1033	990.6	1125.6	1079.4	1043.3	1153.9	1125.6	1101	1175.3	1164.3	1153.9	1179.9	1173.1	1166.5
0,05	1096.6	1035.9	993.3	1128.8	1082.5	1046.3	1157.1	1128.8	1104.2	1178.4	1167.5	1157.1	1183	1176.2	1169.6
0,05	1055.4	1007.3	972.3	1080.1	1044.4	1015.7	1101.4	1080.1	1061.2	1117.2	1109.1	1101.4	1120.5	1115.5	1110.7
0,06	1058.4	1010.1	974.8	1083.2	1047.4	1018.5	1104.5	1083.2	1064.3	1120.3	1112.2	1104.5	1123.7	1118.7	1113.8
0,07	1061.4	1012.9	977.4	1086.2	1050.3	1021.3	1107.6	1086.2	1067.3	1123.4	1115.4	1107.6	1126.8	1121.8	1117
0,08	1064.4	1015.7	980	1089.3	1053.3	1024.2	1110.7	1089.3	1070.3	1126.5	1118.5	1110.7	1129.9	1124.9	1120

0,09	1067.4	1018.4	982.5	1092.3	1056.2	1027	1113.8	1092.3	1073.3	1129.6	1121.5	1113.8	1133	1128	1123.1
0,1	1070.3	1021.2	985.1	1095.3	1059.1	1029.8	1116.8	1095.3	1076.2	1132.7	1124.6	1116.8	1136	1131	1126.2

Таблица 5. Температурные напряжения в стенке лопатки, МПа.

Коэффициент теплопроводности, Вт/м*К	Толщина покрытия, мм	Температурные напряжения на 1 участке, МПа	Температурные напряжения на 2 участке, МПа
Без покрытия	0	400	327
0.3	0.1	315	267
	0.2	259	225
	0.3	219	195
0.5	0.1	344	288
	0.2	301	258
	0.3	268	233
1	0.1	370	306
	0.2	344	288
	0.3	321	272
3	0.1	390	320
	0.2	380	312
	0.3	370	306
5	0.1	394	322
	0.2	388	319
	0.3	382	314

Таблица 6. Возможный расход воздуха при разных комбинациях покрытия и режимах температур лопатки, кг/с.

Коэффициент теплопроводности Вт/м*К	Толщина покрытия, мм	Минимальный расход воздуха (лопатка в том же темп. Режиме),	Расход воздуха при понижении температуры лопатки	Расход воздуха при понижении температуры лопатки	Расход воздуха при понижении температуры лопатки	Расход воздуха при понижении температуры лопатки

		кг/с	на 20 К, кг/с	на 50 К, кг/с	на 100 К, кг/с	на 150 К, кг/с
0.3	0.1	0.132	0.141	0.155	0.178	0.202
	0.2	0.108	0.116	0.127	0.146	0.165
	0.3	0.092	0.098	0.108	0.124	0.14
0.5	0.1	0.145	0.155	0.17	0.196	0.221
	0.2	0.127	0.135	0.149	0.171	0.193
	0.3	0.112	0.12	0.132	0.152	0.171
1.0	0.1	0.156	0.167	0.184	0.211	0.238
	0.2	0.145	0.155	0.17	0.196	0.221
	0.3	0.135	0.145	0.159	0.183	0.206
3.0	0.1	0.165	0.176	0.194	0.223	0.252
	0.2	0.16	0.172	0.189	0.217	0.245
	0.3	0.156	0.167	0.184	0.211	0.238
5.0	0.1	0.167	0.178	0.196	0.225	0.254
	0.2	0.164	0.175	0.193	0.221	0.25
	0.3	0.161	0.173	0.19	0.218	0.246

Таблица 7. Глубина охлаждения, %.

Коэффициент теплопроводности, Вт/м*К	Толщина покрытия, мм	Глубина охлаждения на 1 участке, %	Глубина охлаждения на 2 участке, %
Без покрытия	0	37,6	45
0.3	0.1	51,1	55,1
	0.2	59,8	62,1
	0.3	65,9	67,2
0.5	0.1	46,5	51,5
	0.2	53,1	56,7
	0.3	58,3	60,9
1	0.1	42,4	48,5
	0.2	46,5	51,5
	0.3	50	54,3
3	0.1	39,3	46,2
	0.2	40,9	47,4
	0.3	42,4	48,5
5	0.1	38,6	45,7
	0.2	39,6	46,4
	0.3	40,6	47,1

Таблица 8. Температурные напряжения и глубина охлаждения при выравнивании температуры лопатки на выбранных температурах, используя разные покрытия.

Коэффициент теплопроводности, Вт/м*К	Температура выравнивания, К	Температурные напряжения, МПа	Глубина охлаждения, %
0,3	1155	347	46
	1135 (-20)	325	48,7
	1105 (-50)	302	52,7
	1055 (-100)	246	59,3
	1021 (-134)	224	63,9
0,5	1155	347	46
	1135 (-20)	325	48,7
	1105 (-50)	302	52,7
	1075 (-80)	202	56,3
1	1155	347	46
	1135 (-20)	325	48,7

Таблица 9. Толщина покрытия для выравнивания температуры лопатки на выбранных значения для покрытия с $\lambda = 0,3$ Вт/м*К, мм.

x, м / T, К	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
1155	0.049	0.052	0.056	0.059	0.063	0.067	0.004	0.7	0.1	0.014	0.018
1135	0.07	0.074	0.078	0.082	0.087	0.091	0.028	0.032	0.036	0.04	0.045
1105	0.105	0.11	0.116	0.121	0.127	0.133	0.07	0.075	0.08	0.086	0.092
1055	0.18	0.189	0.197	0.206	0.214	0.224	0.161	0.169	0.178	0.187	0.196
102	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

1	48	59	7	82	94	07	45	57	69	82	95

Таблица 10. Толщина покрытия для выравнивания температуры лопатки на выбранных значения для покрытия с $\lambda = 0{,}5$ Вт/м*К, мм.

x, м / T, К	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
1155	0.081	0.087	0.093	0.099	0.105	0.112	0.006	0.011	0.018	0.024	0.03
1135	0.12	0.123	0.129	0.137	0.144	0.152	0.047	0.053	0.06	0.067	0.074
1105	0.176	0.184	0.193	0.203	0.212	0.222	0.117	0.125	0.134	0.144	0.153
1075	0.246	0.257	0.269	0.28	0.293	0.306	0.201	0.213	0.224	0.237	0.249

Таблица 11. Толщина покрытия для выравнивания температуры лопатки на выбранных значения для покрытия с $\lambda = 1{,}0$ Вт/м*К, мм.

x, м / T, К	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
1155	0.163	0.174	0.186	0.198	0.21	0.224	0.012	0.024	0.035	0.047	0.059
1135	0.232	0.246	0.259	0.274	0.289	0.304	0.093	0.107	0.12	0.134	0.149

Усовершенствование экологического холодильника «Пот ин пот»

КУРКИН Николай Александрович
г. Москва, ГБОУ Лицей №1581, 11 класс

Научный руководитель:
Шевич Юрий Артемьевич,
д.т.н., профессор кафедры
«Холодильная, криогенная техника
системы кондиционирования
и жизнеобеспечения»
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Введение.

Холодильные машины и установки предназначены для искусственного снижения и поддержания температуры ниже температуры окружающей среды в заданном объекте охлаждения. Машины и установки для создания низких температур называются криогенными. Отвод и перенос тепла осуществляются за счет потребляемой при этом энергии. Холодильная установка проектируется в зависимости от свойств охлаждаемого объекта, необходимой температуры охлаждения, источников энергии и видов охлаждающей среды: жидкая или газообразная.

Началом развития холодильного машиностроения можно считать создание Карлом Линде в 1874 г. первой аммиачной парокомпрессорной холодильной машины [1]. С тех пор появилось

несколько разновидностей холодильных машин, которые нуждаются в электричестве. В местах, где нет электричества, задача понижения температуры объекта охлаждения принимает трудновыполнимый характер.

В 2000 году Мохаммед Бах Абба, учитель из Нигерии, изобрел конструкцию «Пот ин пот», которая позволяет понизить температуру объекта охлаждения без применения электричества. По результатам конкурса «Rolex award for enterprise 2000» проект выиграл премию в размере 100 тысяч долларов.

Постановка задачи.

Конструкция «Пот ин пот» (рис. 1): полость между двумя глиняными горшками заполняется влажным песком. Вода, содержащаяся в песке, испаряется с наружной поверхности внешнего горшка за счет теплообмена с окружающей средой (горячим воздухом). Согласно законам термодинамики, процесс испарения вызывает понижение температуры, охлаждая внутреннюю емкость и ее содержимое. Температурный диапазон работы холодильника, основанного на испарительном охлаждении $\Delta t = 0.8°C$, при температуре окружающей среды $T_0 = 24.6°C$.

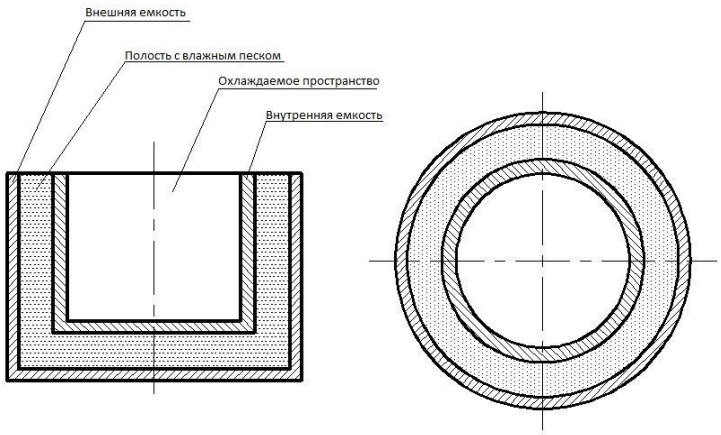


Рис. 1. «Пот ин пот» начальной конструкции.

Данная работа направлена на изучение испарительного охлаждения и оценку возможности усовершенствования конструкции «Пот ин пот» за счет применения современных термоэлементов и солнечных батарей.

Теоретическая часть.

Улучшение системы охлаждения «Пот ин пот».

На рис. 2 представлена разработанная электрическая схема устройства, позволяющая понизить температуру объекта охлаждения от t_1 до t_2 при сохранении автономности и экологичности.

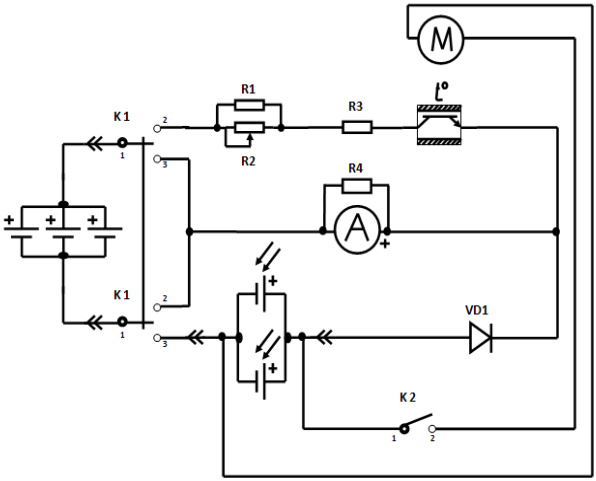


Рис. 2. Электрическая схема устройства.

В схеме используются резисторы R1 номиналом 20Ом, R3 номиналом 5Ом , R4 номиналом 4,2Ом и переменный резистор R2 номиналом 0-100Ом, диод VD1, двойной трехпозиционный переключатель К1, двухпозиционный переключатель К2, амперметр для измерения тока до 500мА, три свинцово-кислотные аккумуляторные батареи напряжением 4,5В и емкостью 1Ач каждая, две солнечные батареи на фотоэлементах и разъем для их отсоединения, термоэлектрический модуль на элементах Пельтье (ТЭМ) TEC1-12706, а также вентилятор М.

В среднем положении переключателя К1 схема выключена, устройство охлаждает исключительно за счет испарения.

В режиме охлаждения контакты 1 и 2 замкнуты. Ток через ТЭМ регулируется переменным резистором R2 и отображается

амперметром. Резистор R3 нужен для ограничения максимального тока через ТЭМ величиной примерно 1А. Так как амперметр рассчитан на 500 мА, параллельно ему включен резистор R4. Из-за этого показания амперметра нужно умножать на два. Такая сила тока выбрана исходя из наиболее оптимального режима работы ТЭМ в плане экономичности и выдаваемой мощности. Ток в цепи регулируется в пределах от 400мА до 1А.

Переключатель К2 используется для включения вентилятора М в режиме охлаждения для обдува радиатора ТЭМ и для осуществления общей вентиляции внутреннего пространства устройства. Вентилятор М запитан от солнечных батарей и работает при их освещенности $E_д \geq 100$ Лк.

В режиме заряда контакты 1 и 3 переключателя К1 замкнуты. При значении напряжения на солнечной батарее меньше, чем на аккумуляторной батарее, диод VD1 будет заперт, так как потенциал на его катоде будет больше, чем на аноде, и тока в цепи не будет. Как только освещение фотоэлемента повысится до того, что напряжение на нем превысит напряжение аккумуляторной батареи, диод откроется и потечёт ток заряда.

Расчет ТЭМ.

В работе использовался термоэлектрический модуль Пельтье TEC1-12706 (рис. 3).

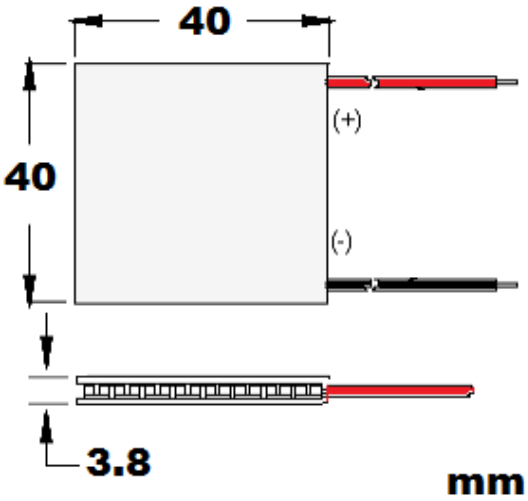


Рис. 3. Внешний вид TEC1-12706.

При напряжении $U_н = 12$В модуль выдает мощность $P_н = 72$ Вт. На графике зависимости напряжения на ТЭМ от тока (Рис. 4) [3] видно, что при токах $I_i \leq 6A$ зависимость линейная, так же видно, что сопротивление модуля $R_м \approx 2.5$ Ом

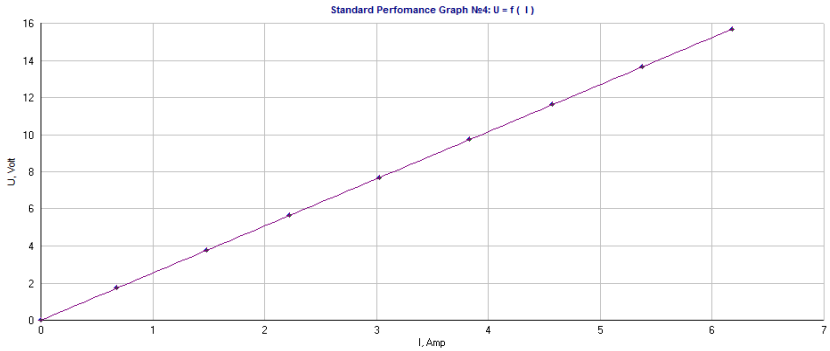


Рис. 4. Вольтамперная характеристика.

Для отвода тепла от ТЭМ используются радиаторы и вентилятор, обдувающий поверхность радиатора. Введем формулы зависимости мощности на элементах Пельтье (P) от силы тока (I) в цепи:

$$P(I) = R_н \times I^2, [Вт] \tag{1.1}$$

и времени разряда батареи (t) от силы тока (I) в цепи:

$$t(I) = \frac{C}{I}, [час] \tag{1.2}$$

где C - ёмкость аккумуляторной батареи, от которой запитан модуль, состоящей из трех аккумуляторов с ёмкостями C1=C2=C3=1 Ач, соединенных параллельно. C=3 Ач.

Тогда при увеличении силы тока в цепи (I) увеличивается мощность, выделяемая на элементе Пельтье (P), но уменьшается время работы (t).

В системе координат (P(I),t(I);I) (рис. 5) построены графики функций (1.1) и (1.2):

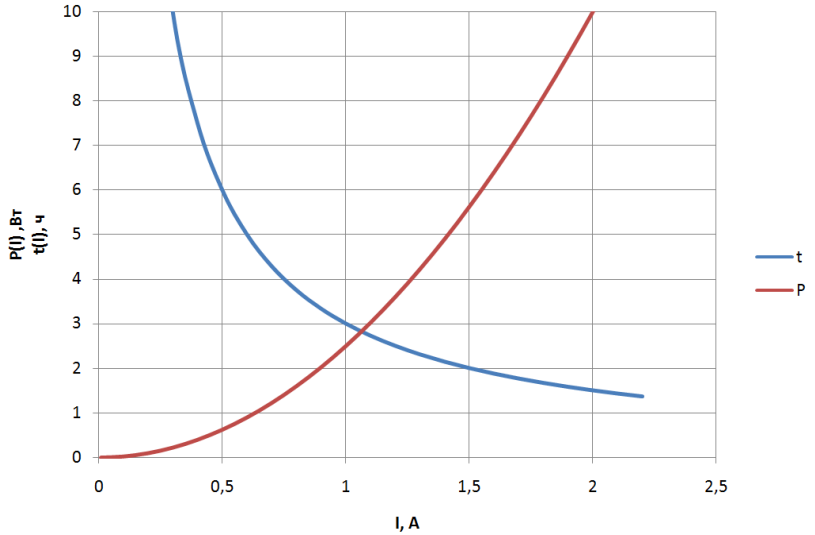


Рис. 5. Зависимости мощности и времени работы от силы тока.

Графики имеют пересечение при значении аргумента $I_0 \approx 1\,A$. При таком значении силы тока достигается оптимальный режим работы. Цепь сконструирована таким образом, чтобы ток не превышал значения I_0.

Расчет холодопроизводительности при испарительном охлаждении.

Введем понятие холодопроизводительности. Холодопроизводительность (Q) - количество теплоты, отнимаемое от охлаждаемого объекта в единицу времени с помощью холодильной машины, измеряется в Ваттах [4]. См. Приложение 1.

Пусть начальная температура охлаждаемого тела массы m с удельной теплоемкостью c равна t_0, а температура, до которой возможно охладить тело неусовершенствованной установкой - t_1. Затем производится расчет холодопроизводительности $Q_1^{t_0-t_1}$ на температурном уровне $t_0 - t_1$. Тогда, так как количество теплоты, отнимаемое от охлаждаемого объекта, равно произведению удельной теплоемкости на массу и на изменение температуры, то холодопроизводительность $Q_1^{t_0-t_1}$ холодильника начальной конструкции будет вычисляться по формуле:

$$Q_1^{t_0-t_1} = \frac{c \times m \times (t_0 - t_1)}{\tau_1} \quad [Вт], \tag{1.3}$$

где τ_1 - время , за которое произошло изменение температуры с t_0 до t_1.

Численные вычисления:

Имеем исходные данные (таблица 1):

Таблица 1. Данные для расчета.

Величина	Численное значение
c	4200 кДж/(кг·К)
m	0.05 кг
t_0	24.6 °C
t_1	23.8 °C
τ_1	36000 с

Тогда:

$$Q_1^{t_0-t_1} = \frac{4200 \times 0.05 \times (24.6-23.8)}{36000} = \frac{210 \times 0.8}{36000} = 4.67 \text{ мВт}$$

Расчет холодопроизводительности при комбинированном охлаждении.

Пусть при включении термоэлементов в цепь охлаждения через время τ_2 произошло изменение температуры с отметки t_0 до отметки t_1. Тогда холодопроизводительность $Q_2^{t_0-t_1}$ на температурном уровне $t_0 - t_1$ холодильника усовершенствованной конструкции будет вычисляться по формуле:

$$Q_2^{t_0-t_1} = \frac{c \times m \times (t_0 - t_1)}{\tau_2}, [Вт] \quad (1.4)$$

Численные вычисления:

Имеем исходные данные (таблица 2):

Таблица 2. Данные для расчета.

Величина	Численное значение
c	4200 кДж/(кг·К)
m	0.05 кг
t_0	24.6 ℃
t_1	23.8 ℃
τ_2	1080 с

Тогда:

$$Q_2^{t_0-t_1} = \frac{4200 \times 0.05 \times (24.6-23.8)}{1080} = \frac{210 \times 0.8}{1080} = 155.55 \text{ мВт}$$

Практическая часть

Компоненты

Для реализации данного проекта были приобретены (Приложение №2; рис. 6):

– набор глиняных нелакированных горшков (В работе использовались горшки объемами 2,5л и 1л),

- фотоэлемент « Sunwalk 001» монокристаллический (5-6В / 260-320мА) -2 штуки,
- элемент Пельтье TEC1-12706 (12В / 72Вт),
- песок кварцевый,
- мотор «Evercool»(12В/160мА),
- ведро пластиковое,
- аккумуляторная батарея «Delta» (4В, 1Ач)-3 штуки.

Сборка

В горшках имелись отверстия для отвода жидкости. Эти отверстия были заделаны эпоксидной смолой «Момент». Горшок меньшего объёма был помещен в больший по объёму горшок, а полость между ними засыпана песком. Вода была залита в ту же полость, куда был засыпан песок. Получился «Пот ин пот» начальной конструкции (Приложение №2; рис. 7).

Вскоре вся система была помещена во внешнюю ёмкость, и все необходимые устройства были установлены на свои места (Приложение №2; рис. 8). В конечном итоге холодильник принял следующий вид (Приложение №2; рис. 9):

Приложение №1

Испарительное охлаждение.

Испарение — процесс перехода вещества из жидкого состояния в парообразное или газообразное, происходящий на поверхности вещества. Вода состоит из молекул, которые находятся

в постоянном движении. Температура воды зависит от скорости движения молекул. Чем быстрее они движутся, тем теплее вода. Не все молекулы движутся с одинаковой скоростью. Некоторые движутся быстрее, некоторые - медленнее. Средняя скорость движения тех и других определяет температуру воды. Быстрые молекулы, которые обладают большей энергией, покидают поверхность воды. Они больше не являются частью воды в жидком состоянии, так как они превратились в газ - пар. Происходит испарение. Остаются, соответственно, медленные молекулы, температура воды понижается. Следовательно, испарение вызывает охлаждение.

То, насколько сильным будет испарение, зависит отчасти от того, сколько пара уже находится в воздухе. Воздух может удержать определенное количество пара. Мера того, сколько водяного пара уже находится в воздухе, называется относительной влажностью. Когда влажность низкая, испарение происходит быстрее. При высокой влажности испарение замедляется. Испарение происходит медленнее при высокой влажности, потому что обмен между жидкой водой и паром в воздухе происходит в обе стороны. Как только молекула воды уходит с поверхности жидкости, молекула, находящаяся в воздухе, может остаться на поверхности. Если влажность высокая, то в воздухе больше молекул воды: вероятность того, что часть из них попадет в жидкость, велика. Когда влажность равна 100%, то количество

молекул, попадающих в жидкость и выходящих из нее одинаково, изменения объема жидкости не происходит.

Термоэлектрические модули Пельтье.

В основе работы термоэлектрического охлаждающего модуля (ТЭМ) лежит эффект, открытый Жаном Пельтье, французским часовщиком, который в 1834 г. обнаружил, что при протекании постоянного электрического тока в цепи, состоящей из разнородных проводников, в местах контактов (спаях) проводников поглощается или выделяется, в зависимости от направления тока, тепло. При этом количество этой теплоты пропорционально току, проходящему через контакт проводников (рис. 10). Наиболее сильно эффект Пельтье проявляется на контактах полупроводников с различным типом проводимости (p- или n-) [5]. Объяснение эффекта Пельтье следующее: при переходе электрона из менее высокоэнергетической зоны проводимости одного полупроводника в более высокоэнергетическую зону проводимости другого электрон должен приобрести энергию. При поглощении этой энергии происходит охлаждение места контакта полупроводников. При протекании тока в обратном направлении происходит нагревание места контакта полупроводников [6]. В результате, в зависимости от направления движения электронов и, соответственно, тока, происходит нагрев (Th) или охлаждение (Tc) участка полупроводника, непосредственно примыкающего к спаю (p-n или n-p переходу). Единичным элементом ТЭМ является

термопара, состоящая из одного проводника p-типа и одного проводника n-типа. При последовательном соединении нескольких таких термопар теплота (Qc), поглощаемая на контакте типа n-p, выделяется на контакте типа p-n (Qh). Термоэлектрический модуль представляет собой совокупность таких термопар, обычно соединенных между собой последовательно по току и параллельно по потоку тепла. Термопары помещаются между двумя керамическими пластинами (рис. 11). Их количество может варьироваться в широких пределах - от нескольких единиц до нескольких сотен, что позволяет создавать ТЭМ с холодильной мощностью от десятых долей ватта до сотен ватт. Наибольшей термоэлектрической эффективностью среди промышленно используемых для изготовления ТЭМ материалов обладает теллурид висмута, в который для получения необходимого типа и параметров проводимости добавляют специальные присадки, например, селен и сурьму.

При использовании модуля Пельтье необходимо обеспечить эффективный отвод тепла с его горячей стороны, например, с помощью воздушного радиатора или водяного теплообменника. Здесь надо учесть, что отводить придется не только "перекачиваемую" теплоту, но и добавляемую (примерно 50%) самим модулем. Если поддерживать температуру горячей стороны модуля на уровне температуры окружающей среды, то на холодной стороне можно получить температуру, которая будет на десятки градусов ниже [7].

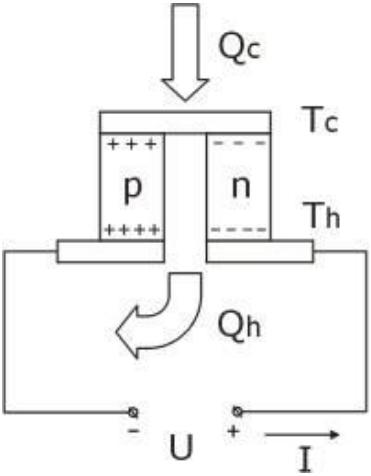


Рис. 10. Схема действия эффекта Пельтье.

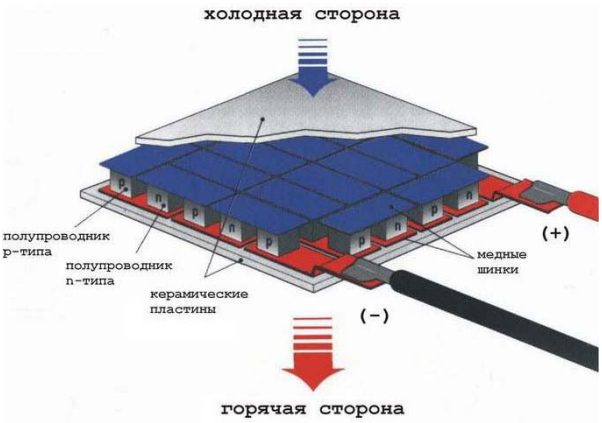


Рис. 11. Так выглядит модуль Пельтье.

Как уже отмечалось, степень охлаждения пропорциональна величине тока, проходящего через ТЭМ, что позволяет при

необходимости плавно регулировать температуру охлаждаемого объекта, причем с высокой точностью.

Фотоэлементы.

Солнечные элементы (СЭ) изготавливаются из материалов, которые напрямую преобразуют солнечный свет в электричество (рис. 12). Большая часть из коммерчески выпускаемых в настоящее время СЭ изготавливается из кремния. Кремний — это полупроводник. Он широко распространен на земле в виде песка, который является диоксидом кремния, также известного как кварцит.

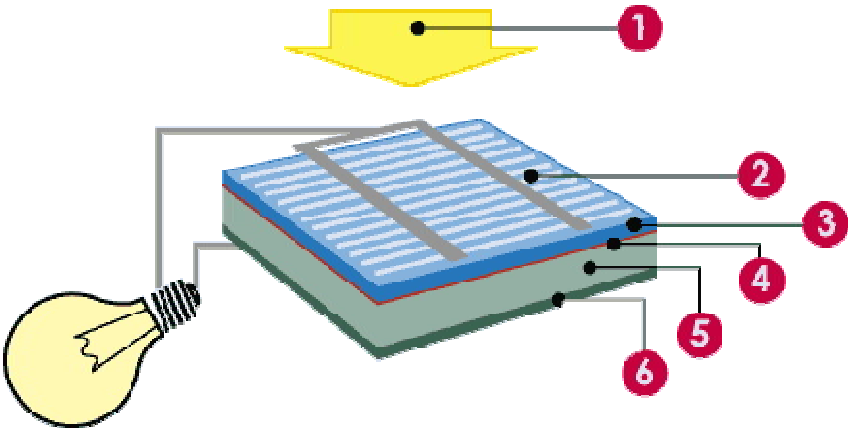


Рис. 12. Устройство фотоэлементов: 1- свет (фотоны), 2 - лицевой контакт, 3 - отрицательный слой, 4 - переходной слой, 5 - положительный слой, 6 - задний контакт.

Прежде всего, в СЭ имеется задний контакт и 2 слоя кремния разной проводимости. Сверху имеется сетка из металлических контактов и антибликовое просветляющее покрытие, которое дает СЭ характерный синий оттенок.

СЭ может быть следующих типов: монокристаллический, поликристаллический и аморфный (тонкопленочный). Различие между этими формами в том, как организованы атомы кремния в кристалле. Различные СЭ имеют разный КПД преобразования энергии света. Моно- и поликристаллические элементы имеют почти одинаковый КПД, который выше, чем у солнечных элементов, изготовленных из аморфного кремния.

В последние годы разработаны новые типы материалов для СЭ. Например, тонкопленочные фотоэлектрические элементы из медь-индий-диселенида и из теллурида кадмия. Технологии их производства постоянно развиваются, за последнее десятилетие КПД тонкопленочных элементов вырос примерно в 2 раза.

Последние технологии используют гибридные методы. Так появились элементы, которые имеют как кристаллический переход, так и тонкий полупрозрачный аморфный переход, расположенный над кристаллическим. Так как кристаллы и аморфный кремний наиболее эффективно преобразуют только часть спектра света, и эти спектры немного отличаются, применение таких гибридных элементов позволяет повысить общий КПД солнечного элемента [8].

Таблица 3. КПД различных фотоэлементов.

Тип фотоэлемента :	**КПД, %**
Монокристаллические	15-22
Поликристаллические	12-17
Аморфные	6-10
Теллурид кадмия	8-12

Заключение.

Результатом работы является усовершенствованная конструкция, позволяющая:

1. За меньшее время понизить температуру объекта охлаждения до той же отметки, что и начальная конструкция,
2. Расширить температурный диапазон работы,
3. Без потерь увеличить массу объекта охлаждения.

Важным является факт, что усовершенствованный холодильник остался энергонезависимым и экологически чистым. Общий вывод: В работе рассмотрены теоретические основы охлаждения испарением и собрана система охлаждения «Пот ин пот». За счет применения современных термоэлектрических модулей Пельтье и солнечных батарей произведено ее усовершенствование, выполнены необходимые расчеты.

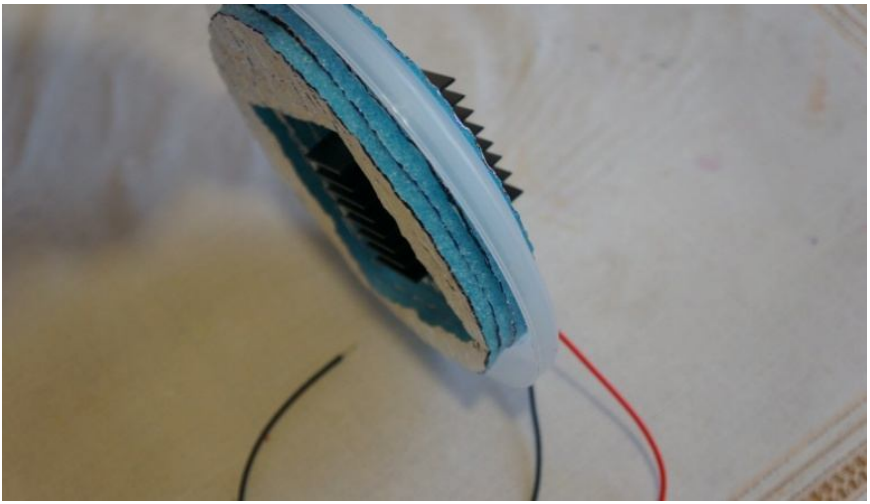
Приложение № 2.

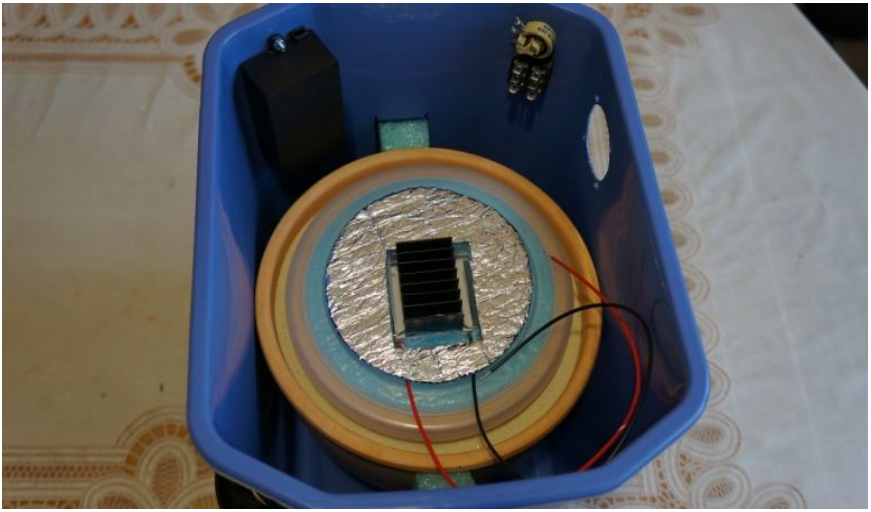
Рис. 6. Компоненты сборки.

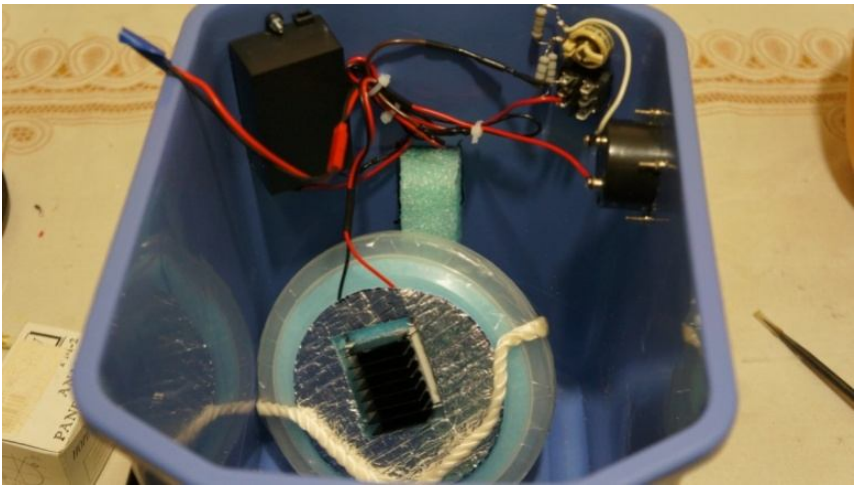
Рис. 7. «Пот ин пот».

Thermal Compound

TEC1-12706







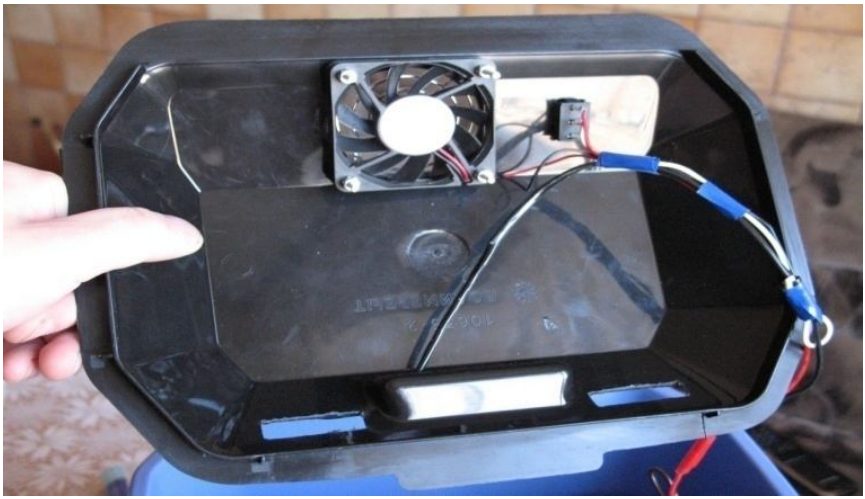


Рис. 8. Усовершенствование охлаждающей системы «Пот ин пот».

Рис. 9. Внешний вид усовершенствованной установки.

Литература:

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/холодильная_установка
2. https://ru.wikipedia.org/wiki/освещенность
3. График построен в программе «Kryotherm»
4. Большая Советская энциклопедия
5. http://peltier.narod.ru/index.html
6. http://peltier.narod.ru/index.html
7. https://ru.wikipedia.org/wiki/Элемент_Пельтье
8. http://www.solarhome.ru/basics/pv/techcells.htm

Расчет и изготовление конструкции аэрографа

САРКИСЯН Арам Паруйрович
г. Москва, ГБОУ Лицей №1501, 11 класс

Научный руководитель:
Очков Андрей Андреевич,
ассистент кафедры «Вакуумная
и компрессорная техника»
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Введение.

С каждым днем аэрография становится все более актуальной техникой изобразительного искусства в современном мире, а распылители краски можно использовать где угодно, и именно эти аспекты подтолкнули меня на создание своей модели аэрографа.

Для определения цели моей исследовательской работы были сформулированы следующие задачи:

1. Ознакомление с историей, понятием и видами аэрографов.

2. Изучение конструкции аэрографов.

3. Проведение расчетов.

4.Составление таблицы для проведения сравнительного анализа.

Работа состоит из введения, 2-х глав, которые в свою очередь содержат теоретическую и практическую часть, заключение и приложение.

ГЛАВА 1. ТЕОРИЯ АЭРОГРАФИИ.

1.1. История возникновения аэрографии.

История современной аэрографии начинается с Эбнера Пилера, ювелира из штата Айова (США). В 1879 году он при помощи ложки, иглы от швейной машины, согнутой отвертки, старых паяльных трубок и гнутого металла, скрутив все это вместе на нескольких деревянных брусках, собрал первый аэрограф. Соединив его с собственным запатентованным ручным воздушным компрессором, он назвал это устройство как «распределитель краски» для живописи акварелью и других художественных целей.

Позже разработчик Чарльз Бердик начал свои эксперименты, модифицируя существующую схему прибора, намереваясь сделать его легче и более похожим на ручку. Считается, что именно Чарльз Бердик в 1893 г. зарегистрировал первый патент на данное устройство. В конце XIX века фотографы всего мира активно использовали его для ретуши или раскрашивания черно-белых снимков. Причем «бесконтактная» техника нанесения краски позволяла получать как четкие и тонкие, так и размытые контуры и линии, благодаря чему рисунки, сделанные аэрографом, по восприятию были очень близки к качеству настоящих фотоснимков того времени. Некоторые фотосалоны даже предлагали клиентам такие услуги, как добавление на фото новых деталей или полное изменение заднего плана.

Настоящий бум аэрографии начался в начале XX века. Аэрограф тогда был для художника таким же модным и полезным

инструментом, как сегодня лэптоп для бизнесмена. С помощью «воздушной кисти» рисовали объявления, афиши, рекламные плакаты и иллюстрации в журналы. Почти все рисунки, в которых требовалась передача изображения фотографического качества, делали методом аэрографии.

Всем известен образ Мэрилин Монро Уорхола, консервные банки Кэмпбелла, увеличенные комические виньетки Лихтенштейна, стилизованные «ню» Вессельмана и другие выражения поп-арта. Художники использовали все виды художественных средств: масла, акриловые краски, эмали, шелкографию и, конечно, аэрографы.

На сегодняшний день аэрография находится на пике своей популярности, ведь это не только распыление краски на поверхность, но и нанесение рисунков, росписи мебели, интерьеров и многое другое. Иными словами, современная техника изобразительного искусства, которая способна упростить работу людям, чьи профессии связаны с данным типом живописи.

Говоря об этом приборе, также невозможно не отметить ту пользу, которую он оказывает на производстве и в быту. Промышленные распылители используют в монолитном строительстве для нанесения на поверхность различных химических веществ и краски, а также для разбрызгивания на готовые бетонные поверхности различных пропиток для ухода за бетоном. Ручные помповые распылители также могут использоваться в любых других областях промышленности, где

требуется равномерное распыление жидкости, например, грунтовок, биоцидных составов на различные поверхности, консервация изделий. Опрыскиватели и распылители так же могут использоваться для уборки, чистки и дезинфекции помещений, для ухода за транспортными средствами (чистка двигателей, колесных дисков, тормозной системы), для защиты растений и борьбы с сорняками. Применение распылителей позволяет значительно снизить время и трудозатраты на нанесение краски.

1.2. Понятие и виды аэрографов.

Аэрограф — это красящее устройство, распыляющее краску подобно аэрозольному баллончику, но гораздо тоньше и аккуратнее. Тонкость распыления краски, толщина наносимой линии или размер точки зависят от подаваемых к месту смешения количества и давления воздуха, количества и вязкости краски, конструкции аэрографа и расстояния между аэрографом и окрашиваемой поверхностью - основой. Рассмотрим особенности устройства аэрографов разных типов.

Аэрографы классифицируют следующим образом:

1. Аэрографы одинарного действия (рис. 1). В этих моделях триггер регулирует только воздушный поток. Нажатием на триггер открывают путь для воздуха, который, в зависимости от конструкции аэрографа, смешивается с краской внутри или снаружи корпуса. По этому принципу различают аэрографы внутреннего и наружного смешения

Аэрографы с наружным смешением самые простые и их чаще всего используют для равномерного окрашивания или лакирования больших поверхностей.

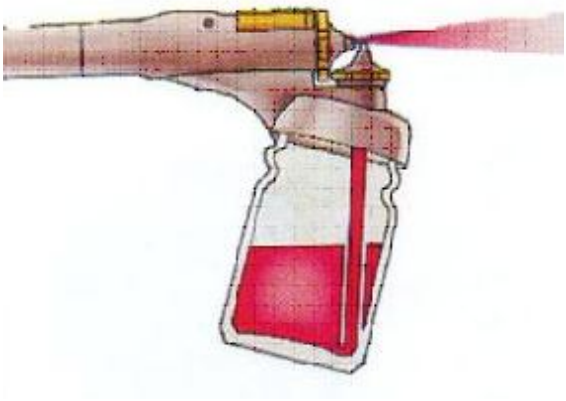


Рис. 1. Аэрограф одинарного действия.

У некоторых моделей аэрографов одинарного действия предусмотрен игольчатый клапан. Им настраивается количество подаваемой на распыление краски, но для такой настройки необходимо прерывать работу. У аэрографов одинарного действия с внутренним смешением процесс смешения воздуха и краски проходит внутри корпуса. Нажимая на триггер, открываем воздушный клапан, и воздух с большей или меньшей силой распыляет краску наружу. Количество краски регулируется винтом, находящимся в задней части ручки аэрографа. Аэрограф внутреннего смешения с неподвижной иглой и подвижным соплом. Этот аэрограф одинарного действия имеет триггер, который

регулирует только подачу воздуха, однако подвижное сопло позволяет предварительно устанавливать подачу краски (рис. 2).

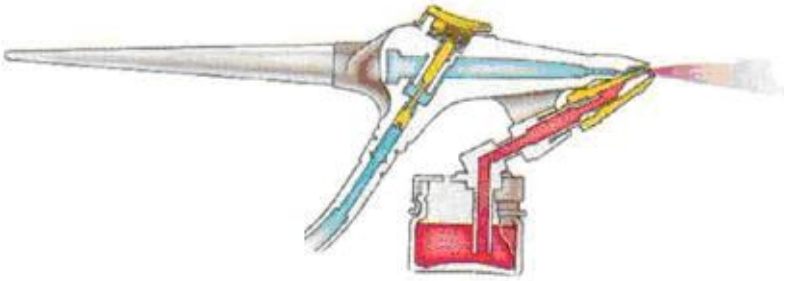


Рис. 2. Аэрограф внутреннего смешения с неподвижной иглой и подвижным соплом.

2.Аэрографы двойного действия.

Аэрограф внутреннего смешения двойного независимого действия, с верхней подводкой материала (рис. 3). При перемещении триггера аэрографа вниз открывается подача воздуха, а при одновременном оттягивании триггера назад, открывается подача краски.

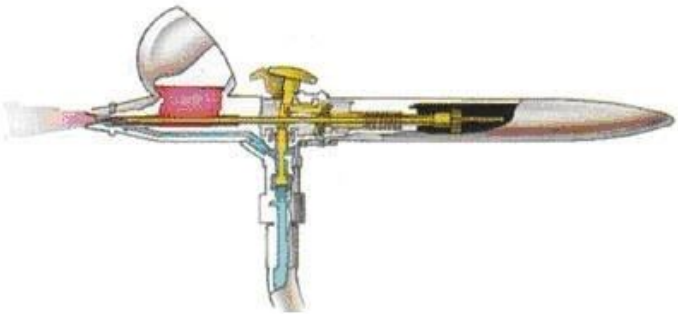


Рис. 3. Аэрограф внутреннего смешения двойного независимого действия.

В этих моделях триггер, регулируя степень открытия воздушного и игольчатого клапанов подачи краски, позволяет одновременно управлять воздушным и красочным потоками, не прерывая работу. Есть модели с взаимозависимой регулировкой подачи потоков: чем больше подача воздуха, тем больше подача краски, и независимой. Большинство аэрографов двойного действия, которые чаще всего пользуются профессионалы, - независимого двойного действия. В них поступления воздуха и краски регулируются независимо друг от друга. Работая аэрографом независимого двойного действия, сначала включается подача воздуха, а потом постепенно добавляют краску, и наоборот, заканчивая работу, сначала выключают подачу краски, а затем воздуха.

Конструкция аэрографа.

Большинство моделей имеют одинаковую конструкцию независимо от того, где расположен бачок для краски. Считается, что наиболее распространенные модели аэрографов, имеющиеся на

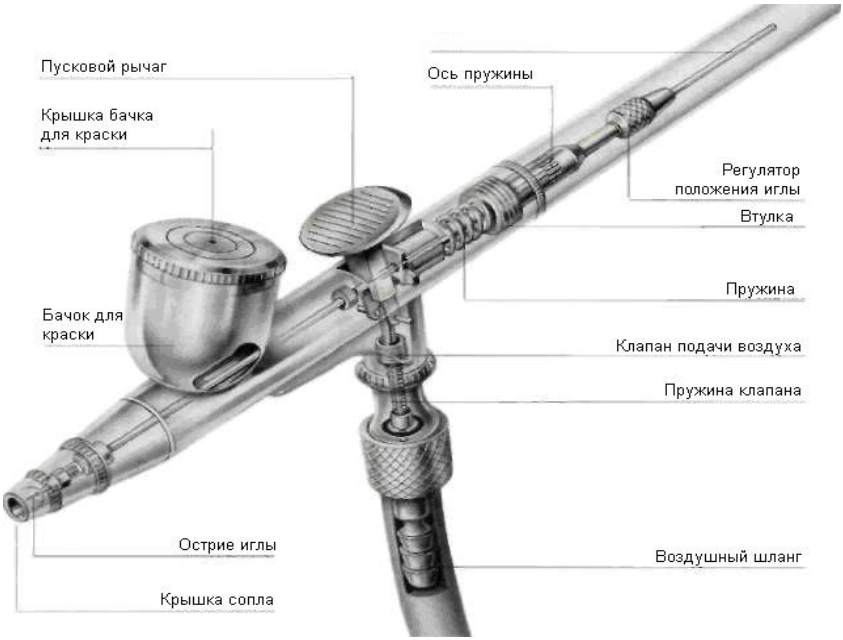


Рис. 4. Конструкция аэрографа.

рынке, представляют собой приборы независимого двойного действия, в которых обеспечивается раздельное управление потоками воздуха и краски. Отдельные детали могут различаться, однако, это не влияет на принцип действия. Все модели имеют металлический корпус, внутри которого размещены основные детали и где происходит смешивание воздуха и краски. Существуют модели аэрографов с гравитационной подачей краски, в которых бачок для краски расположен в верхней части прибора, а также модели с сифонной подачей краски, в которых бачок для краски расположен внизу. Одной из основных деталей аэрографа является

игла. Изменяя ее положение, можно регулировать количество краски, распыляемой через сопло. Игла должна быть расположена точно по центру сопла, иначе она будет препятствовать распространению струи краски; расположенная внутри втулка удерживает иглу в правильном положении. Ручка, которая прикручивается к корпусу аэрографа, защищает иглу от повреждений. Клапан подачи воздуха расположен в месте крепления воздушного шланга, он обеспечивает подачу воздуха в аэрограф. Пусковой рычаг соединен с двумя пружинами, регулирующими потоки краски и воздуха. При надавливании на него происходит открытие клапана подачи воздуха и регулирование его потока: при отклонении рычага назад игла втягивается, и краска распыляется.

Существуют два типа бачков для краски: с сифонной (A) и с гравитационной (B) подачей краски (рис. 5). Бачки обоих типов могут иметь разную конструкцию и соответственно разную емкость, и высоту.

Рис. 5. Типы бачков.

Бачки с гравитационной подачей краски находятся сверху корпуса, через отверстие внизу краска проходит внутрь и смешивается с воздухом. Бачки с сифонной подачей краски крепятся снизу и являются съемными, что позволяет использовать разные краски. Трубка на крышке бачка соединяется с корпусом, и краска по ней попадает внутрь аэрографа. Есть модели аэрографов с возможностью применять оба типа подачи краски. Краска ровной струей поступает из выходного отверстия. Если сопловое отверстие деформируется, струя не будет ровной, в результате получаются брызги.

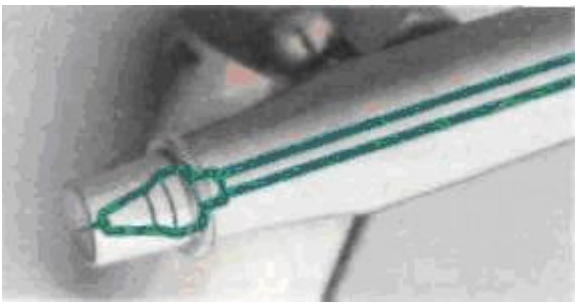


Рис. 6. Триггер.

Пусковой рычаг (триггер) - самый важный элемент аэрографа, он позволяет регулировать толщину линий, давление воздуха и ширину струи (рис. 6). Приводить рычаг в действие следует очень аккуратно; поскольку он постоянно находится в движении, его легко повредить. Положение иглы регулируется винтом (рис. 7). Он

позволяет перемещать иглу только назад при отклонении пускового рычага.

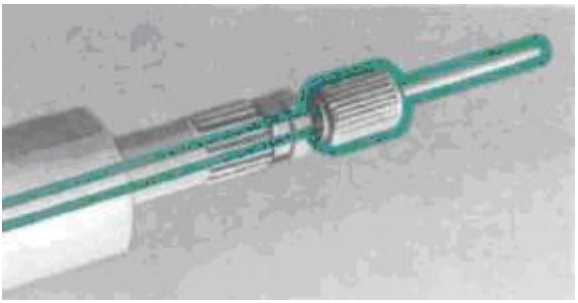


Рис. 7. Игла.

Положение иглы регулируется винтом. Он позволяет перемещать иглу только назад при отклонении пускового рычага. Перед тем как использовать аэрограф, убедитесь в том, что стопорная гайка установлена правильно, иначе игла не будет втягиваться (рис. 8).

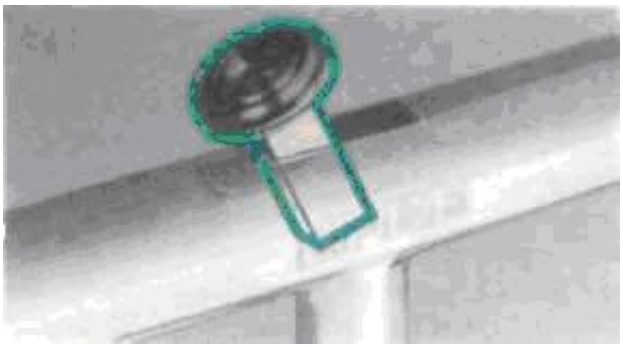


Рис. 8. Стопорная гайка.

ГЛАВА 2. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЭРОГРАФОВ.

1.1. Расчет основных параметров.

Для проведения расчетов основных параметров была сконструирована модель аэрографа одинарного действия с внутренним смешением. Данная конструкция собрана с помощью:

- ручки с металлическим корпусом;
- металлической емкости для краски (рис. 9).

Рис. 9. Конструкция.

Принцип действия: В сопло с большим диаметром подают воздух. В результате перепада давления в рабочей камере краска попадает в сопло и распыляется через выходное отверстие.

Условие задачи:

Из компрессора в сопло аэрографа, диаметром D_3 = 4мм, подают воздух со скоростью w_3 = 4,5 м/с. При этом из-

за перепада давления в рабочей камере диаметром D_2 =4мм краска поднимается и распыляется через выходное отверстие.

Найти диаметр отверстия D_1, при котором скорость вылета струи будет равна 17 м/с.

Трением краски о сопло аэрографа и теплообменом с окружающей средой пренебречь.

Давление в емкости с краской до распыления считать атмосферным.

Производительность компрессора $Q_к = 0{,}06 * 10^{-3}$ $м^3/с$; давление $P_к = 3 * 10^5$; $\rho_{краски}$ = 850 кг/м3; $\rho_{воздуха}$ = 1,2 кг/м3).

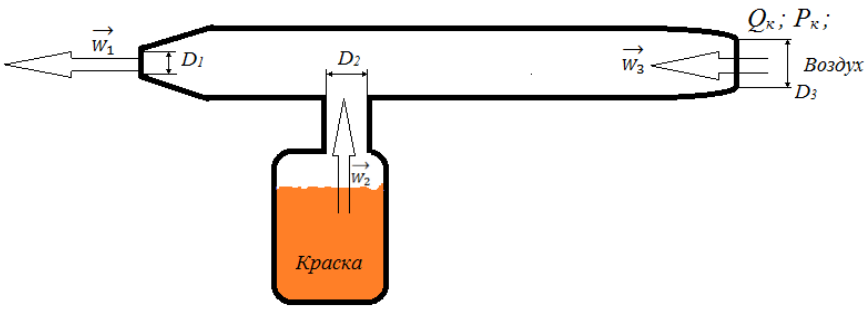


Рис. 10. Схема устройства.

Дано:

$Q_к$;$P_к$; w_3 ; $\rho_{краски}$; D_3 ;

D_2 ;$\rho_{воздуха}$; w_1 ;

D_1 – ?,

где

$Q_к$ – *производительность компрессора,* $м^3$ / *с;*

$P_к$ – *давление компрессора, Па;*

w_1 – *скорость смеси, м/с;*

w_3 – *скорость воздуха, м/с;*

$\rho_{краски}$– *плотность краски, кг/м3;*

$\rho_{воздуха}$– *плотность воздуха,* $кг/м^3$;

D_1 ,D_2 , D_3 – *диаметры указанные на рисунке, м;*

Разделим для удобства систему на 3 части:

1) подача воздуха до смешения с краской.

2) смешение с краской.

3) распыление смеси.

Процессы, характерные для всех без исключения струйных аппаратов, описываются тремя законами:

1. *сохранение энергии.*
2. *сохранение массы.*
3. *сохранение импульса.*

Импульс потока в любом сечении вычисляется по формуле:

$$I = Gw + pf,$$

где G – массовый расход, кг/с;

w – скорость, м/с;

p – давление, Па;

f – площадь сечения, м²;

I. Из закона сохранения импульса получим:

$$I_2 = I_3;$$

$$G_2 w_2 + p_2 f_2 = G_3 w_3 + p_3 f_3 ; \quad (1)$$

$$G = Q\rho ; \quad (2)$$

$$Q = wS ; \quad (3)$$

$$G = \rho w S ; \quad (4)$$

из выражений (1) и (4) получим

$$\frac{\pi D_2^2}{4} w_2^2 \rho_{краски} + p_a \frac{\pi D_2^2}{4} = Q_к w_3 \rho_{воздуха} + p_к \frac{\pi D_3^2}{4}$$

отсюда получим

$$w_2 = \sqrt{\frac{Q_к w_3 \rho_{воздуха} + p_к \frac{\pi D_3^2}{4} - p_a \frac{\pi D_2^2}{4}}{\frac{\pi D_2^2}{4} \rho_{краски}}}$$

II. Из уравнения неразрывности потока получим:

$$G_2 = G_1;$$

$$\frac{\pi D_2^2}{4} w_2 = \frac{\pi D_1^2}{4} w_1 ;$$

Отсюда

$$D_1 = D_2\sqrt{\frac{w_2}{w_1}};$$

или

$$D_1 = D_2\sqrt{\frac{\sqrt{\frac{Q_к w_3 \rho_{воздуха} + p_к\frac{\pi D_3^2}{4} - p_a\frac{\pi D_2^2}{4}}{\frac{\pi D_2^2}{4}\rho_{краски}}}}{w_1}};$$

$$D_1 = 4*10^{-3}\sqrt{\frac{\sqrt{\frac{0{,}06*10^{-3}*4{,}5*1{,}2+3*10^6*\frac{\pi*(4*10^{-3})^2}{4}-10^6*\frac{\pi*(4*10^{-3})^2}{4}}{\frac{\pi*(4*10^{-3})^2}{4}*850}}}{17}}$$

$$D_1 = 4*10^{-3}\sqrt{\frac{\sqrt{\frac{2{,}4}{0{,}12}}}{17}};$$

$$D_1 = 4*10^{-3}\sqrt{\frac{1}{4}};$$

$$D_1 \approx 2 * 10^{-3}\ (м)\ ;$$

Ответ: диаметр выходного отверстия должен быть равен 2мм.

Таблица 1. Сравнительные характеристики аэрографов.

Характеристика	Сконструированный аэрограф (внутреннего смешения)	Заводская модель одинарного действия (Fubag 110101)	Заводская модель двойного действия (TNT Air BD-133)
Расход воздуха, л/с	0, 2	0,18	0,3
Масса, г	50	200	340
Стоимость, руб.	около 100	500	4500

В результате проведения расчетов можно сделать следующие выводы:

Сконструированный аэрограф можно использовать как в быту, так и для покраски толстыми слоями. Также самодельный аэрограф является более оптимальным аэрографом среди аэрографов одинарного действия, т.к. приемлем в цене и по характеристикам не намного отстает от заводского аналога, но стоит отметить, что данная модель не способна рисовать мелкие рисунки или тонкие линии, так как угол разбрызгивания у нее не регулируется. Для тонких работ следует использовать аэрографы двойного действия.

Выводы.

На протяжении уже нескольких десятков лет распылители краски применяются для малярных работ. С каждым годом они становятся все лучше и лучше.

Преимущества современных моделей:

1. Благодаря распылителю можно произвести окрашивание предметов даже самых сложных форм. Все дело в том, что слой краски, который попадает на поверхность при определенном давлении для определенного предмета, очень тонкий, так что никаких потеков образовываться не будет.

2. Благодаря особенностям конструкции, распылитель для краски может работать с любым жидким веществом, что делает его весьма универсальным инструментом.

3.Данный малярный инструмент не требует никаких особых навыков для применения. Достаточно ознакомиться с инструкцией, которая всегда идет в комплекте поставки;

4.При помощи распылителя для краски можно в значительной степени увеличить производительность труда. Все дело в том, что окрашивание поверхности при помощи данного малярного инструмента происходит с намного большей скоростью, нежели окрашивание при помощи малярной кисти или малярного валика.

Справедливости ради, стоит отметить, что пульверизаторы для краски имеют некоторые недостатки, которые нельзя не учитывать. Так, например, в силу особенностей нанесения краски, воздух в помещении наполняется органическими растворителями,

что влечет за собой повышение вероятности возникновения пожара. Вещества, попадающие в воздух при окрашивании, очень вредны для органов дыхания, поэтому при работе с распылителем необходимо надеть респиратор.

Литература:

1. Соколов Е. Я. Зингер Н. М. "Струйные аппараты". Москва Издательство " ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ '‘, 1989г.

2. Лобачев П.В. " Насосы и насосные станции" Москва СТРОЙИЗДАТ, 1983г.

3.Б .Ф. Лямаев "Гидроструйные насосы и установки'‘ Издательство "Машиностроение", 1988

4. http://www.nasosinfo.ru/node/11 (интернет- источник)

Приложение.

Сконструированные модели аэрографов.

Аэрограф наружного смешения одинарного действия (рис. 11) сконструирован:

- из корпуса и стержня ручки;
- пластмассовой емкости для краски;
- винной пробки.

Рис. 11. Аэрограф наружного смешения одинарного действия.

Модель аэрографа одинарного действия с внутренним смешением (рис. 12).

Рис. 12. Модель аэрографа одинарного действия с внутренним смешением.

Возможность использования термоэлектрического преобразователя в составе АСММ

СТАНИШЕВСКИЙ Глеб Юрьевич
г. Москва, СОШ №2123 им. М. Эрнандеса, 11 класс

Научный руководитель:
Марков Павел Владимирович,
к.н., доцент кафедры
«Ядерные реакторы и установки»
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Введение.

Начало XX века ознаменовалось несколькими тенденциями, такими как, рост промышленного производства и численности населения, что неизменно привело к росту энергопотребления. Рост энергопотребления примерно пропорционален росту ВВП. Рост энергопотребления человечеством приводит к улучшению качества жизни и, в свою очередь, к росту численности населения. Так, по расчетам ученых с начала прошлого века рост населения увеличился в 4 раза, а потребление на человека увеличилось в 20 раз. Основной предпосылкой развития малых АЭС России служит её географическое положение, низкая плотность населения и отсутствие полноценной инфраструктуры для поддержания устойчивого развития регионов Крайнего Севера и Дальнего Востока, где каждый киловатт энергии на счету из-за децентрализованного электроснабжения. В России 2/3 территории

находится за Полярным Кругом. Развитие этих огромных территорий невозможно без обеспечения энергией. Использование ТЭЦ затруднено из-за проблем с доставкой топлива, и основная часть этих территорий находится в зоне вечной мерзлоты, т.е. обладает очень большой чувствительностью к антропогенным выбросам тепла. Строительство других видов станций нерентабельно, поэтому АЭС малой мощности могли бы идеально подойти как основной источник энергии. Таким образом, применение АТЭС малой мощности имело бы огромный эффект. Принципиальным решением данной проблемы могут служить принципиально новые технологии. К примеру, на современные разработанные реакторы можно делать завоз топлива 1 раз в 20 лет, при этом такая станция имеет небольшой обслуживающий персонал и минимальные затраты при эксплуатации. Конструкции АСММ позволяют использовать их как в наземном, так и в плавучем исполнении. Пример плавучей АСММ - станция «Академик Ломоносов». В России ещё не закончилось её строительство. Данный проект станции является многоцелевым. Общая стоимость строительства достигла 5,5 млрд. рублей.

1. Перспективы использования термоэлектрических генераторов для получения электроэнергии.

Термоэлектрический генератор - электрическое устройство, способное на прямое преобразование тепловой энергии в электрический ток посредством использования в своей конструкции

термоэлементов, т.е. различных комбинаций материалов, образующих термопары. Принцип действия термогенератора основан на эффекте термо-ЭДС Зеебека. Суть этого эффекта заключается в преобразовании энергии за счёт разности температур на разных частях устройства, результатом чего становится появление электродвижущей силы на клеммах. Величина возникающей термо-ЭДС в первом приближении зависит только от материала проводников и температур горячего (T_1) и холодного (T_2) контактов. В небольшом интервале температур термо-ЭДС E можно считать пропорциональной разности температур:

$$E = \alpha_{12}(T_2 - T_1), \quad (1),$$

где α_{12} — термоэлектрическая способность пары (коэффициент термо-ЭДС). В простейшем случае коэффициент термо-ЭДС определяется только материалами проводников, однако, строго говоря, он зависит и от температуры, и в некоторых случаях с изменением температуры α_{12} меняет знак. Более корректное выражение для термо-ЭДС:

$$\mathcal{E} = \int_{T_1}^{T_2} \alpha_{12}(T)dT. \quad (2)$$

Величина термо-ЭДС составляет милливольты при разности температур в 100°С и температуре холодного спая в 0°С. Например, пара медь-константан даёт 4,25мВ, платина-платинородий —

0,643мВ, нихром-никель — 4,1мВ. Главный секрет данного эффекта заключается в следующем явлении: при нагревании проводника электроны внутри данного вещества получают дополнительную энергию, после чего они начинают вести себя более активно. То есть, как мы помним, электроны - это элементарные частицы, которые вращаются вокруг атомов и имеют отрицательный заряд. Два тела, имеющие одинаковый вид заряда, стремятся оттолкнуться друг от друга. При нормальной температуре электроны атома обладают малой энергией, что соответствует определённой силе отталкивания их друг от друга. При повышении температуры у электронов будет повышаться и их энергия, что повысит и силу взаимного отталкивания.

А теперь посмотрим, как можно использовать данный эффект для получения электричества. Возьмем полупроводник, состоящий из слоя «n» и «p». У первого внутри избыток электронов, у второго - их недостаток. При соединении их друг с другом между ними образуется пограничная зона, которая препятствует переходу электронов в то место, где их не хватает. Тут то и пригодится нам температура. Мы начинаем подогревать границу межу двух зон. Это даёт электронам дополнительную силу для осуществления перехода с одной зоны в другую. Но в том месте, откуда электроны ушли, естественно, образовался положительный заряд, а туда, куда они пришли, отрицательный. Вот и получили термо-ЭДС. Чем больше разность температуры, тем больше электричества можно получить.

Описание конструкции термоэлектрического генератора. Есть два полупроводниковых элемента в виде кубиков (слои «n» и «p»). С одной стороны они соединены проводником. Над проводником находится электроизоляционный слой, который хорошо проводит тепло. Над изоляцией находится слой, принимающий тепло (рис. 1).

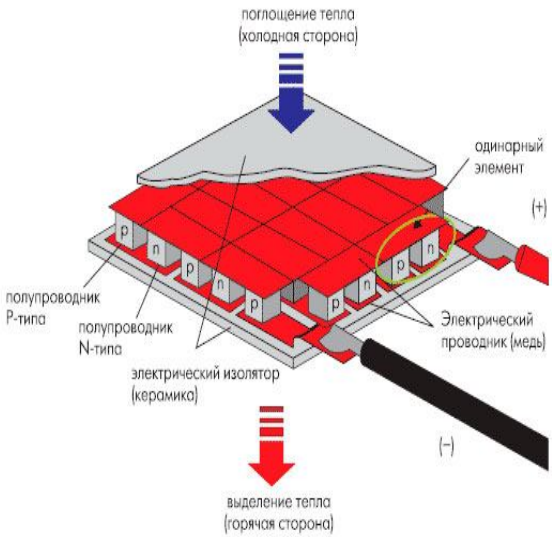


Рис. 1. Конструкция термоэлектрического генератора.

С другой стороны полупроводника к каждому из переходов также подсоединен проводник, но он не соединят зоны «n» и «p», а служит контактными выводами. За ним - изолятор, после которого находится слой для охлаждения. В целом, получаем две пластины для подогрева и для охлаждения, между которыми через изоляцию расположен полупроводник с отходящими от него контактными выводами. Данные термогенераторы, к сожалению, обладают очень

малым коэффициентом полезного действия, всего лишь единицы процентов. Следовательно, для масштабного производства электроэнергии их использовать нецелесообразно. Но поскольку, сам принцип получения электричества подразумевает простоту, и, вдобавок к этому, у способа есть такие преимущества как экологичность и безопасность, конструктивная простота и надёжность, простота и удобство обслуживания, минимальные габариты, мобильность и т.д., то устройству нашлось иное применение. Описание представлено далее в проекте.

2. Обзор реакторных установок с термоэлектрическим преобразованием энергии.

2.1 РУ «ГАММА»

РУ и термогенераторы уже совмещали, и в итоге получалась, к примеру, установка « ГАММА» Под научным руководством А.П. Александрова сооружена и в 1982 году введена в действие опытно-демонстрационная ядерная термоэлектрическая установка (ЯТЭУ) «Гамма», не имеющая действующих аналогов в национальном и мировом масштабах.

Принцип действия и характеристики АТЭУ «Гамма».

Технологическая схема установки базируется на трех основных принципах:

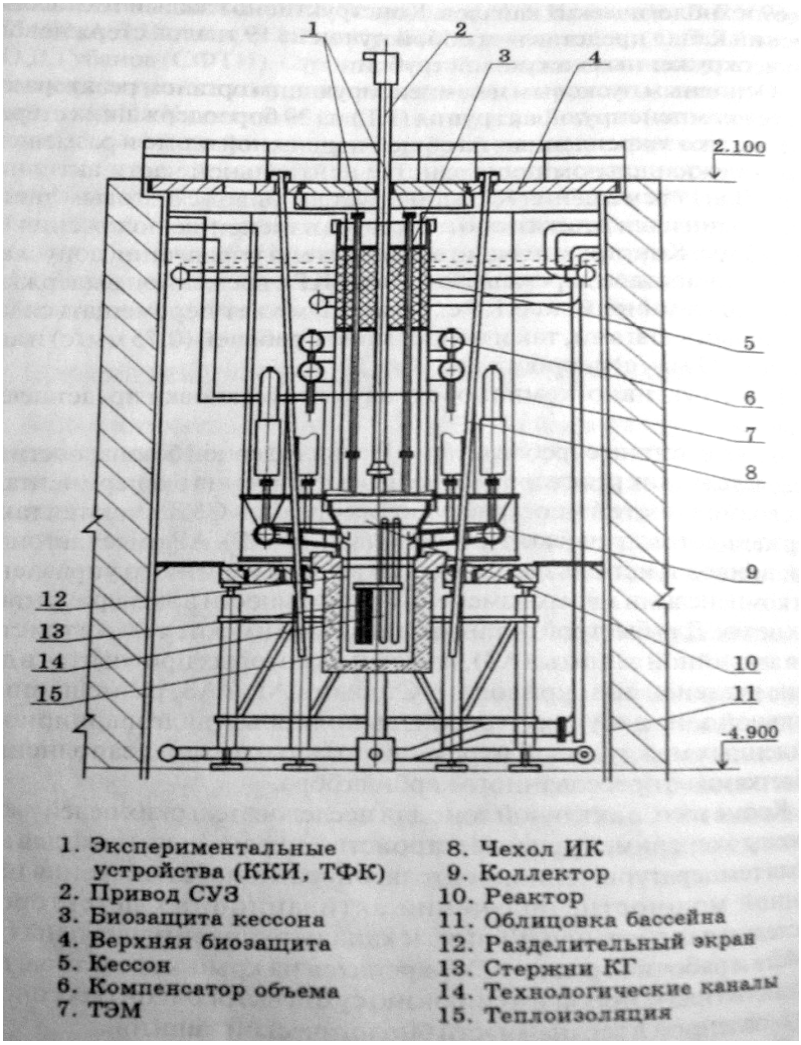


Рис. 2. Конструкция РУ.

- использование в качестве источника тепловой энергии водо-водяного реактора с саморегулированием мощности;

- применение для отвода тепловой энергии безнасосной схемы охлаждения. При этом осуществляется естественная циркуляция теплоносителя в первом и во втором контурах.

- использование термоэлектрической схемы преобразования тепловой энергии в электрическую.

Работа установки в основном режиме обеспечивается естественным протеканием физических процессов без использования каких-либо движущихся механизмов и активных средств автоматики. Установка состоит из реактора корпусного типа с выносным компенсатором объема и термоэлектрического генератора (ТЭГ), скомпонованных в едином агрегате. Активная зона реактора с размерами: высота 500 мм, эквивалентный диаметр 550мм, состоит из 68 технологических каналов. Конструктивно каждый технологический канал представляет собой пучок из 19 твэлов стержневого типа, окруженных кожуховой трубой. Основным пусковым и компенсирующим органом реактора является компенсирующая группа (КГ) из 29 борсодержащих стержней, жестко закрепленных на общей подвижной плите и размещенных в межканальном пространстве центральной части активной зоны. Для перемещения КГ используется привод с шаговым двигателем, один шаг которого соответствует изменению положения КГ на 0,75мм. Конструкция двигателя и схема управления допускает только пошаговое перемещение вверх КГ с временной выдержкой между шагами не менее 1,5с. Вниз КГ может перемещаться как отдельными

шагами, так и непрерывно с рабочей (0,75мм/с) и аварийной (12мм/с) скоростями.

Термоэлектрический генератор (ТЭГ) выполнен из 24 отдельных модулей, размещенных вертикально на четырех коллекторах, вынесенных за пределы корпуса реактора, по 6 штук на каждом коллекторе. Передача генерируемой в активной зоне тепловой энергии к термоэлектрическим модулям (ТЭМ) обеспечивается естественной циркуляцией теплоносителя первого контура. Гидравлический тракт ТЭМ построен по принципу трубки Фильда. Полупроводниковые батареи выполнены из низкотемпературных тройных сплавов. Электрическая энергия, вырабатываемая батареями, воспринимается системой резисторной нагрузки, а также может быть передана на реактивную нагрузку через инвертор.

Установка размещена в бассейне, заполненном водой, служащей для отвода тепловой энергии от ТЭГ и одновременно выполняющей роль биологической защиты. Все поверхности установки, за исключением рабочих участков ТЭГ и компенсатора объема, покрыты тепловой изоляцией.

2.2 «SHAP-10A».

Первым ядерным реактором, применённым на космическом аппарате, стал американский SNAP-10A (System of Nuclear Auxiliary Power) на борту аппарата Snapshot массой 440 кг, запущенный 3 апреля 1965 года ракетой-носителем Атлас.

Предполагалось провести лётные испытания реактора в течение 90 суток. Реактор был разработан компанией Boeing по заказу ВВС и Комиссии по атомной энергии США. Реактор на тепловых нейтронах использовал уран-235 в качестве топлива, гидрид циркония как замедлитель и натрий-калиевый расплав в качестве теплоносителя. Тепловая мощность реактора составляла около 40 кВт. Электрическая мощность, обеспечиваемая термоэлектрическим преобразователем, составляла от 500 до 650 Вт. Реактор успешно проработал 43 дня — до 16 мая 1965 года. В этот день был впервые включен экспериментальный ионный двигатель, также установленный на борту. Его работа сопровождалась многочисленными высоковольтными пробоями, электромагнитный импульс от которых нарушил работу бортовой аппаратуры. Кроме этого, по ложной команде были сброшены детали конструкции отражателя реактора, что привело к его необратимому глушению.

В SNAP-10A (рис. 3) термоэлектрический преобразователь состоит из 120 модулей по 3 последовательно соединенных модуля на каждую из 40 трубок с теплоносителем, включающих 2880 термоэлементов, изготовленных из сплавов Ge-Si (германий-кремний) *n*- и *p*- типов.

Рис. 6.11. Термомодуль SNAP-10A:

1 — термоэлемент Ge–Si; *2* — излучатель; *3* — горячая коммутация; *4* — изоляция; *5* — труба с Na – K-теплоносителем

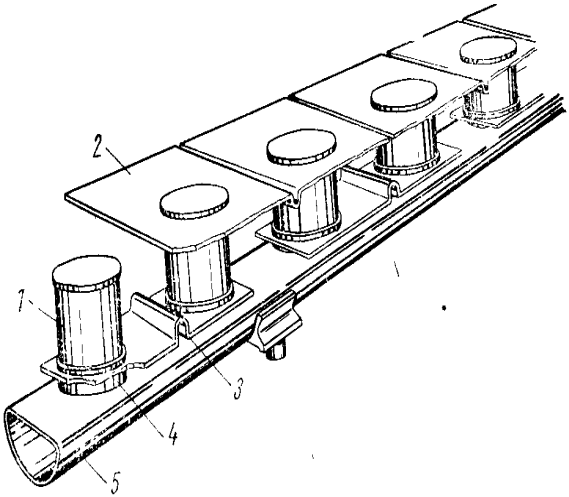


Рис. 3. Термомодуль SNAP-10A.

Таким образом, каждый модуль имеет по 6 последовательно соединённых термоэлементов и вырабатывает мощность по 4-5 вт. Термоэлемент представляет собой цилиндрические столбики *n*- и *p*-типов, располагающиеся вдоль трубки с теплоносителем. Столбики электрически изолированы от трубок тонкими дисками из окиси алюминия и алюминиевыми шинами, образуя излучатель на холодной стороне. Каждая алюминиевая пластина излучателя изолирована от соседних зазором. Коэффициент излучения пластин ~ 0.9.Такая схема обеспечивает среднюю температуру горячего спая термоэлемента ~500°С, среднюю температуру холодного спая 315°С и к.п.д. преобразования 1.43%. Последовательно-параллельное соединение термомодулей исключает возможность выхода из строя всей системы при разрушении одного элемента.

Увеличение температуры горячего спая до 705°С позволило получить мощность 1.2 Вт с одного термоэлемента.

2.3 «БУК».

Следующая ядерная энергетическая установка БЭС-5 «Бук» была использована на спутнике радиолокационной разведки УС-А (рис. 4). Первый аппарат этой серии был запущен 3 октября 1970 года с Байконура («Космос-367»). Сам «Бук» разрабатывался с 1960 г. в НПО «Красная Звезда». Электрическая мощность установки составляла 3кВт при тепловой в 100кВт, максимальный ресурс работы БЭС-5 — 124 (по другим данным 135) суток. Двухконтурная установка имела реактор на быстрых нейтронах БР-5А и термоэлектрический генератор, теплоноситель обоих контуров — эвтектика натрий-калий (температура плавления -11°С), температура в первом контуре 700 °С, во втором — 350 °С. Масса всей установки около 900кг. Активная зона реактора состоит из 37 твэлов с минимально возможным зазором между ними. Каждый твэл содержит три уран-молибденовых блочка длиной по 55 мм и два бериллиевых блочка длиной по 100 мм, образующих торцовые отражатели. Общая масса урана 30 кг, обогащение по 235-му изотопу — до 90%. Корпус реактора в виде шестигранной призмы с размером «под ключ» 140 мм окружён боковым бериллиевым отражателем толщиной 100 мм.

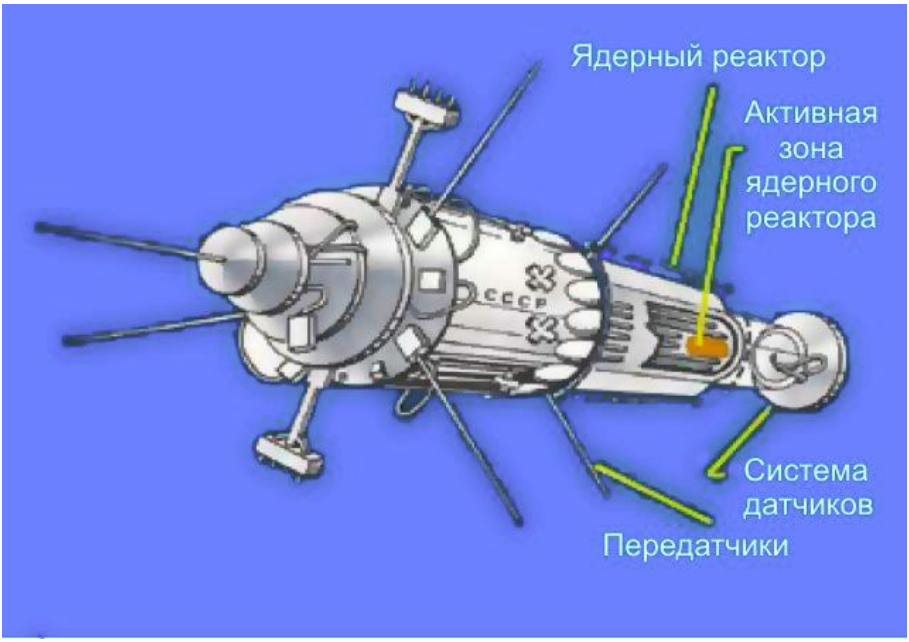


Рис. 4. Спутник радиолокационной разведки.

В отражателе могут перемещаться параллельно друг другу шесть бериллиевых стержней — органы управления реактором. Боковой отражатель состоял из отдельных секций, стянутых стальной лентой. Предполагалось, что при сходе спутника с орбиты и попадании его в плотные слои атмосферы лента должна быстро перегореть, отражатель развалиться на части, а активная зона сгореть. После неудачного падения 24 января 1978 Космоса-954 конструкция была изменена: все твэлы стали принудительно выбрасываться газовым исполнительным механизмом.

3. Постановка задачи.

В работе рассматривается возможность внедрения модулей ТЭГ в состав АСММ, разрабатываемых в настоящее время в РФ. Предлагается конструктивная схема конденсатора входящего в состав АСММ, выполняющего, в том числе, и функции ТЭГ. Выполнена оценка мощности ТЭГ предложенного исполнения.

3. Обзор АСММ, разрабатываемых в РФ, и оценка возможности использования в их составе ТЭГ.

3.1 «КЛТ-40С».

ЯППУ КЛТ-40С (рис. 5) представляет собой реакторную установку с водо-водяным реактором корпусного типа. В первом контуре принята газовая компенсация давления. Реактор, парогенераторы первого контура объединены в парогенерирующий блок силовыми патрубками. Блок размещен в кессонах бака металловодной защиты. Реактор состоит из корпуса, крышки, выемного блока и активной зоны. На крышке реактора установлены пять приводов органов компенсации избыточной реактивности – компенсирующие группы (КГ) и четыре исполнительных механизма аварийной защиты (АЗ). Приводы КГ и механизмы АЗ имеют разные принципы действия.

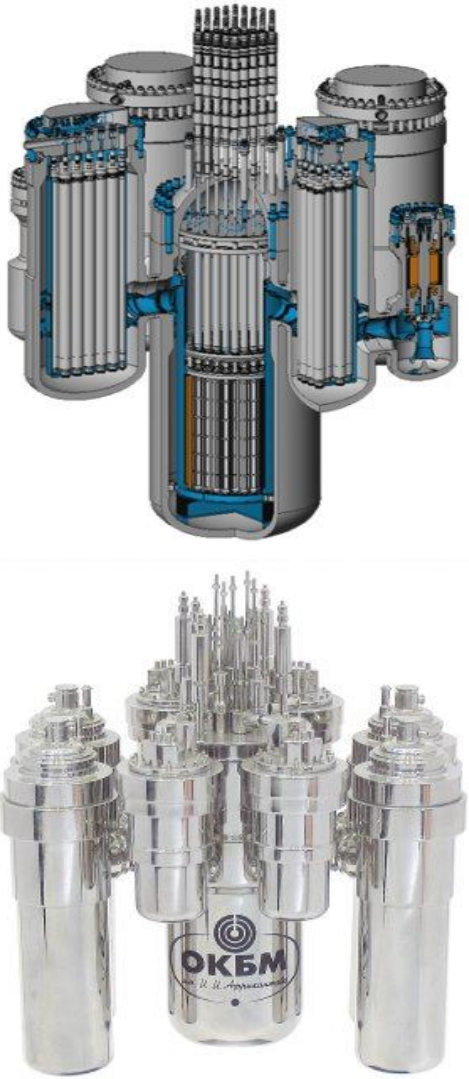


Рис. 5. Схема и общий вид конструкции.

Активная зона (АЗ) состоит из комплекта тепловыделяющих сборок (ТВС), что обеспечивает возможность перегрузки

отработанного топлива активной зоны отдельными сборками. В состав ТВС входят тепловыделяющие элементы стержневого типа. Парогенератор представляет собой прямоточный вертикальный цилиндрический трубный аппарат, трубная система которого набрана из цилиндрических спиральных змеевиков, изготовленных из коррозионностойкого материала. Циркуляционный электронасос — центробежный, одноступенчатый, бессальниковый, с герметичным двухскоростным электродвигателем. Исполнительный механизм АЗ состоит из реечного механизма с пружиной, сервопривода и асинхронного электродвигателя. Привод КГ включает винтовой механизм, редуктор и шаговый электродвигатель. Все источники ионизирующих излучений окружены биологической защитой. В качестве основных материалов защиты использованы сталь, бетон, вода. Конструктивно биологическая защита выполнена в виде бака с водой, съемных блоков сухой защиты и периферийной защитной оболочки (ЗО).

ЯППУ предполагается оснастить комплексом аппаратуры радиационного контроля и радиоактивного загрязнения в контурах и помещениях, включающих радиохимическую и радиометрическую лаборатории.

К системам безопасности РУ КЛТ-40С относятся:

- система управления и защиты реактора (СУЗ);
- система отвода остаточных тепловыделений;
- система аварийного охлаждения (проливки) активной зоны;

- система снижения аварийного давления в полости защитной оболочки;
- система защиты первого контура от переопрессовки;
- система сравнения с забортным давлением;
- система ввода жидкого поглотителя в реактор и др.

Аварийный останов реактора осуществляется введением в активную зону стержней АЗ и КГ. При обесточивании приводов КГ опускание поглотителей в активную зону происходит под действием гравитационных сил. Для повышения надежности воздействия на реактивность в запроектных авариях предусмотрена страховочная система ввода жидкого поглотителя в реактор, состоящая из бака с раствором азотнокислого кадмия и трубопровода (со съемным участком) к системе подпитки первого контура. Комплекс систем управления и автоматизации технических средств построен таким образом, что управление и контроль за наиболее важными параметрами установки, влияющими на ядерную безопасность, осуществляется по трехканальной схеме, а сигналы АЗ и экстренного снижения мощности реактора вырабатываются по мажоритарному принципу. Дистанционное управление установкой и контроль за ее работой осуществляются с поста управления.

Система аварийного охлаждения (проливки) активной зоны реактора включает три высоконапорных электронасоса и цистерну с запасом воды. После снижения давления в реакторе проливка продолжается резервным питательным насосом. Для

дорасхолаживания активной зоны предусмотрена возможность рециркуляции воды из барботажной цистерны насосами системы дренажа.

Система отвода остаточных тепловыделений выполнена в виде двух независимых каналов расхолаживания: водой второго контура через парогенераторы или водой третьего контура через теплообменник.

Одним из элементов систем локализации аварий является защитная оболочка (ЗО). Она представляет собой прочноплотную выгородку и рассчитана на внутреннее давление, реализующееся при максимальной проектной аварии (МПА) — разрыве полным сечением трубопровода первого контура. Система снижения аварийного давления в ЗО включает барботажную цистерну с пресной водой, каналы для подвода паро-воздушной смеси в цистерну пресной воды, предохранительные заглушки.

3.2. «АБВ».

Унифицированные реакторные установки малой мощности типа АБВ предназначены для выработки пара в составе энергоблоков автономных энергоисточников, используемых для целей снабжения электроэнергией, паром, пресной водой и отопления промышленных предприятий и жилых поселков. Возможно применение РУ АБВ для комбинированной выработки

электроэнергии и опреснения морской воды. Проект установки разработан «ОКБ Машиностроения».

Конструкция РУ АБВ позволяет использовать установку как на наземных, так и на плавучих атомных станциях. Основные компоненты РУ могут поставляться на монтаж в виде укрупненных блоков полной заводской готовности, что позволяет создавать различные компоновки РУ исходя из потребностей конкретного заказчика. Блоки оборудования РУ могут быть доставлены на строительную площадку любым видом транспорта. Масса самого крупного блока - парогенерирующего агрегата (ПГА), включающего основное оборудование РУ (реактор с оборудованием и трубопроводами 1 контура, бак металло-водной защиты и др.), составляет 200 т.

Реактор (рис. 6) - водо-водяной, интегрального типа с естественной циркуляцией теплоносителя по 1 контуру на всех уровнях мощности и вынесенной газовой системой компенсации давления. Такая система уменьшает время выхода реактора на мощность, упрощает обслуживание реакторной установки и не требует внешнего источника энергии для работы. Габариты реактора и парогенерирующего агрегата позволяют обеспечить их транспортировку любым видом транспорта, включая железнодорожный.

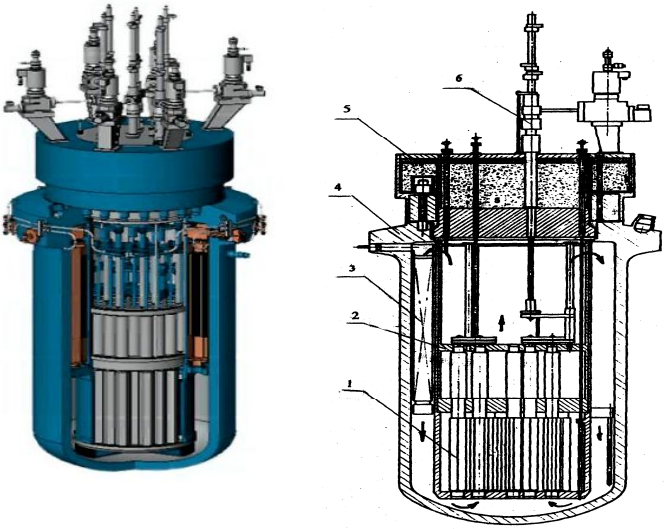


Рис. 6. Реактор АБВ: 1-а ктивная зона, 2- выемной блок, 3- парогенератор, 4-к орпус, 5-к рышка, 6- привод органов СУЗ.

Надежность принятой системы компенсации изменения давления 1 контура подтверждена длительным опытом эксплуатации аналогичных систем на действующих судовых установках.

Патрубки отвода перегретого пара, системы подпитки, системы компенсации давления, системы очистки и расхолаживания, газоудаления расположены в верхней части корпуса реактора. Крышка реактора - плоская, состоит из силовой плиты, к которой крепится и герметизируется сварным швом обечайка с приваренной верхней плитой.

Полость между верхней и силовой плитами заполнена теплоизоляцией и биологической защитой. Через крышку проходят стойки приводов СУЗ с холодильниками, чехлы термопреобразователей, трубки для дренажа теплоносителя, установки источников и детекторов нейтронов.

Трубная система ПГ в сборе с корпусом реактора представляет собой прямоточный, вертикальный теплообменник поверхностного типа, в котором генерируется пар требуемых параметров за счет тепла теплоносителя 1 контура. Трубная система состоит из 4 независимых секций, размещенных в кольцевом пространстве между корпусом и шахтой реактора. Схема циркуляции – противоточная. В качестве конструкционного материала теплообменной поверхности парогенератора применены титановые сплавы, как наиболее коррозионностойкие.

Активная зона гетерогенного типа на тепловых нейтронах состоит из 55 тепловыделяющих сборок. Для обеспечения ядерной безопасности и надежного контроля за состоянием активной зоны при пуске реактора в каждой ТВС, за исключением центральной, размещаются рабочие источники нейтронов.

Для компенсации запаса реактивности и выравнивания поля энерговыделений в каждой ТВС применяются стержни выгорающего поглотителя на основе гадолиния.

Для компенсации изменений реактивности, регулирования мощности и аварийной защиты в каждой ТВС, за исключением центральной, расположен рабочий орган СУЗ, который состоит из

12 отдельных поглощающих элементов, объединенных общей траверсой с цанговым захватом.

4. Описание конструкции предлагаемого ТЭГ на базе конденсатора АСММ.

Установка ТЭГ планируется в конденсаторном блоке установки КЛТ-40С (рис. 7). Блок будет представлять бак, в котором находится 350 трубок Фильда (рис. 8), в которых будет протекать водяное охлаждение третьего контура температурой 40°С. Поток воды будет подниматься вверх по внутренней трубке ,затем разворачиваться на 180° и опускаться во зазоре между двумя стенками и далее по трубопроводу следовать к градирне. Во внешней стенке трубки будут установлены ТЭГ. Тем временем в межтрубном пространстве будет проходить перегретый пар температурой 240°С, который будет конденсироваться на трубках , обладающих меньшей температурой. Конденсированный пар будет стекать вниз и собираться в коллекторе, далее следовать далее по патрубкам в парогенераторный блок.

Габариты блока: ширина 2м, высота 4 м, диаметр трубки 0.06 м, толщина внешней стенки трубки 0.006м, толщина внутренней стенки трубки 0.004м, толщина боковой стенки бака 0.05м.

Модель начерчена в Solidworks, прочие значения там помечены, чертёж прилагается в электронном виде.

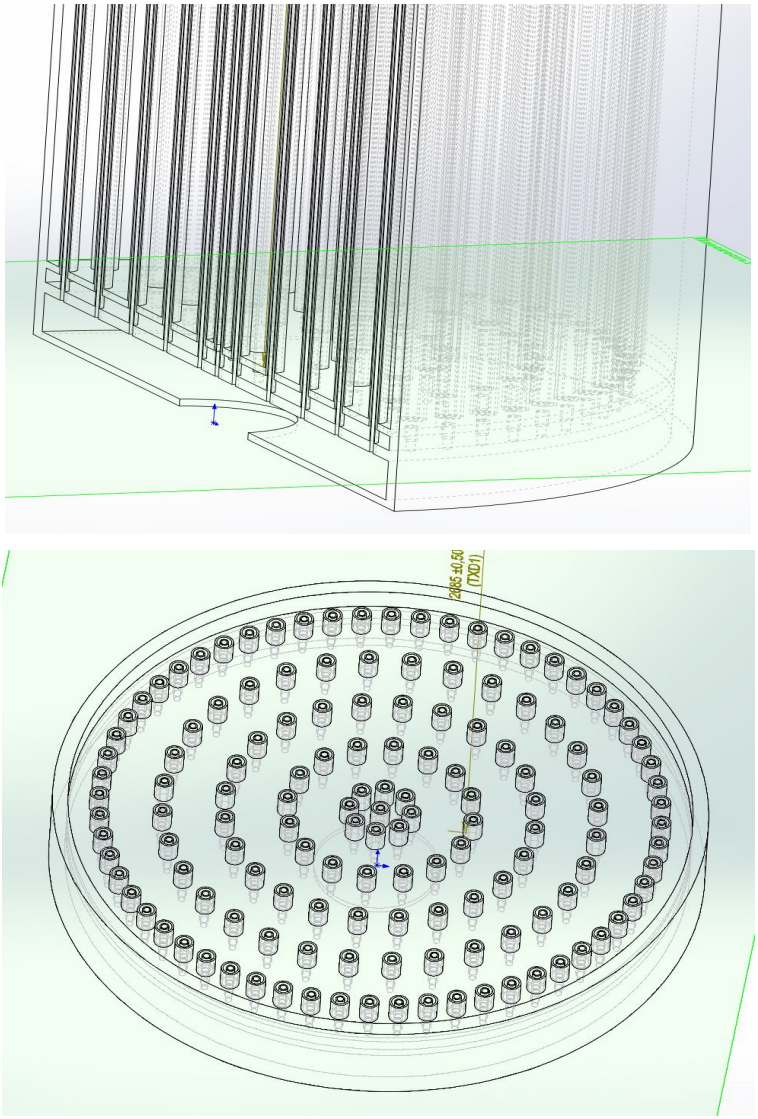
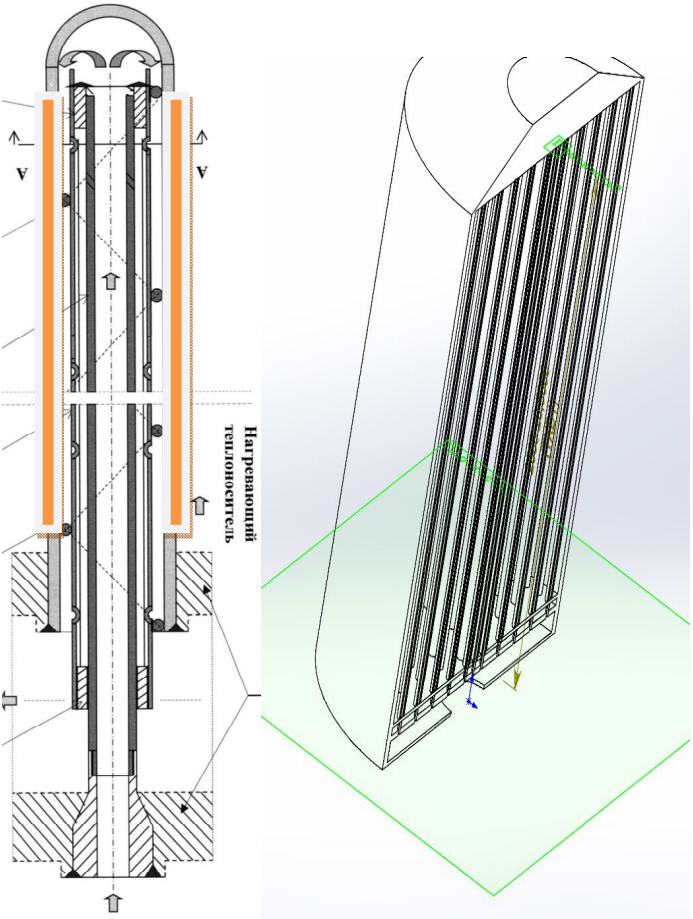


Рис. 7. Установка.



Расположение ТЭГ на внешних стенках трубок Фильда.

Рис. 8. Трубка Фильда.

5. Оценка электрической мощности ТЭГ.

Мощность ТЭГа рассчитывается по формуле:

$$N_{эл}=N_т*\eta_{тэг},$$

где N эл - выходящая мощность,

Nт - тепловая мощность конденсируемого пара,

ηтэг – к.п.д. ТЭГа.

Берём термогенераторы из таких элементов как: Pb-Te (свинец-теллур). Nт=117МВт - оценочное значение, принятое для расчётов.

$$\eta=\frac{T_a}{T_x}*\frac{M-1}{M+\frac{T_e}{T_x}}$$

$$T_a=\frac{T_x+T_e}{2}$$

$$M=\sqrt{1-Z*\frac{T_x+T_e}{2}}$$

где Z – добротность; для Pb-Te это значение равно $1.6*10^{-3}$,

T_x - Температура горячего спая (240°C),

T_e - Температура холодного спая (20°C).

Результаты расчётов:

К.п.д. = 5.5% . Полученная мощность = 6.5 МВт

Заключение.

В работе были рассмотрены уже созданные реакторы с ТЭГ, ядерные установки, на которые возможно установить предложенный вариант ТЭГ для увеличения общей мощности. Также была создана модель возможного конденсаторного блока и проведены оценочные расчёты его эффективности. При данных проводниках к.п.д. низкий, и, именно поэтому, в перспективе предлагаю использовать SmS моносульфид самария, который обнаружили в России.

SmS имеет весьма высокий к.п.д. - около 50%. При нагревании монокристалла SmS до 130°C открывается перспектива для утилизации низкопотенциального тепла. При совместной эксплуатации такого эффекта с термоэлектронной эмиссией или классическими термоэлементами можно легко достичь к.п.д. выработки электроэнергии на уровне 67—85%.

При исследовании высокотемпературных электрических свойств редкоземельных полупроводников было обнаружено новое физическое явление, заключающееся в возникновении спонтанной генерации электрического напряжения образцом материала при его равномерном нагреве. В основе эффекта лежит коллективный

процесс изменения валентности ионов редкоземельного металла (самария), сопровождающийся скачкообразным увеличением количества свободных электронов. Был изготовлен и испытан макет термоэлемента, осуществляющего преобразование в температурном интервале 150 – 450°С. Экспериментально определённый коэффициент полезного действия макета преобразователя энергии оказался равным ~47% при Т=150°С и ~ 30% при Т=450°С. Генерируемое электрическое напряжение составило около 0,5В. Вес макетного образца термоэлемента составлял всего 10г. Так полезная мощность должна обязательно возрасти.

Исследование активности почвенных микробных сообществ в условиях воздействия на них ароматических соединений

СОКОЛЮК Виктор Витальевич
г. Ставрополь, МБОУ СОШ, 11 класс

Научный руководитель:
Галахова Оксана Борисовна,
магистр почвоведения,
научно-образовательная школа
«Лифт в будущее»

Актуальность.

Проблема загрязнения почвы ароматическими соединениями становится все более и более актуальна в 21 веке. Ароматические соединения — циклические органические соединения, которые имеют в своём составе ароматическую систему. Основными отличительными свойствами являются повышенная устойчивость ароматической системы и, несмотря на ненасыщенность, склонность к реакциям замещения, а не присоединения.Нефть и пестициды являются ароматическими соединениями.

Одной из серьезных экологических проблем России становится загрязнение земель нефтью и нефтепродуктами в таких нефтедобывающих районах, как Западная Сибирь, Среднее и Нижнее Поволжье и др. Причины загрязнения – аварии на магистральных и внутрипромысловых нефтепроводах, несовершенство технологии нефтедобычи, аварийные и

технологические выбросы и т.д. В результате, например, в отдельных районах Тюменской и Томской областей концентрации нефтяных углеводородов в почвах превышают фоновые значения в 150-200раз. На Тюменском Севере площади оленьих пастбищ уменьшились на 12,5%, т.е. на 6 млн. га, замазученными оказались 30тыс.га. В Западной Сибири выявлено свыше 20тыс.га территории, загрязненной нефтью с толщиной слоя не менее пяти сантиметров. Наиболее распространено загрязнение почв канцерогенами типа полициклических ароматических углеводородов. Способность почвы к биоремедиации (применение технологий и устройств, предназначенных для удаления из почвы уже находящихся в ней загрязнителей, т.е. биологическая очистка почвы) еще изучена не до конца, и до сих пор не найден выгодный способ очистки почв от загрязнений. Нефтяное загрязнение отличается от многих других антропогенных воздействий тем, что оно дает не постепенную, а, как правило, «залповую» нагрузку на среду, вызывая быструю ответную реакцию.

При оценке последствий такого загрязнения не всегда можно сказать, вернется ли экосистема к устойчивому состоянию или будет необратимо деградировать. Во всех мероприятиях, связанных с ликвидацией последствий загрязнения, с восстановлением нарушенных земель, необходимо исходить из главного принципа: не нанести экосистеме больший вред, чем тот, который уже нанесен при загрязнении. Суть восстановления загрязненных экосистем – максимальная мобилизация внутренних

ресурсов экосистемы на восстановление своих первоначальных функций. В настоящее время наиболее перспективным методом для очистки нефтезагрязненных почв, как в экономическом, так и в экологическом плане является биотехнологический подход, основанный на использовании различных групп микроорганизмов, отличающихся повышенной способностью к биодеградации компонентов нефти и нефтепродуктов. Самовосстановление и рекультивация представляют собой неразрывный биогеохимический процесс.

На протяжении летних научно-образовательных школ «Лифт в будущее» я проводил исследования, направленные на изучение способности почвы к ремедиации, методов ее стимулирования и поиска «красной черты» воздействия пестицидов и нефти. Мне было интересно определить критическую дозу воздействия пестицидов «Топаз», «Раек» и углеводородов нефти на микрофлору почвы.

Цель проекта:

- оценить стрессовое воздействие ароматических соединений на почвенное микробное сообщество,
- разработать высоэффективный способ очистки земель от нефти и нефтепродуктов, повышающих активность нефтезагрязненных почв.

Задачи проекта:

1. Определить критические нормы воздействия пестицидов и углеводородов нефти на микрофлору почвы.

2. Сравнить действие удобрений (с микроэлементами и без) на активность микробного сообщества.

3.Оценить активность пероксидазы и содержание ее в образцах загрязнённых почв и в роголистнике (потенциальный агент биоремедиации).

4. Оценить активность пероксидазы в образцах загрязнённых почв с внесением роголистника (потенциальный агент биоремедиации).

5. Определить активность микробного сообщества в образцах почв.

6. Создать рекомендации по использованию роголистника, как агента биоремедиации в промышленных целях.

На практике решил проверить действие роголистника, как агента биоремедиации. Роголистник является растением, которое часто вызывает зарастание водоёмов, имеющих рекреационное/ рыбоводческое значение.

Используемые методы исследования.

С целью изучения загрязняющих свойств нефти и нефтепродуктов и влияющих на почву были применены четыре метода.

1. Гидролиз диацетата флуоресцеина. Активность микробного сообщества определялась методом гидролиза диацетата флуоресцеина (ФДА) в почвенной суспензии. Нефть образует плёнку, затрудняющую дыхание. Поэтому решил проследить динамику активности гидролиза диацетата флуоресцеина.

2. Определение пероксидазной активности. Выяснил, что ароматические соединения быстрее разрушаются при наличии пероксидазы. Определял содержание пероксидазы таким образом: 1г. почвы залил 10мл раствора 1% гидрохинона, добавил 1мл 0,05% раствора перекиси водорода, встряхнул 1мин на вортексе, затем поместил в термостат на 30мин (28С). Контроль - пробирка с гидрохиноном перекисью. После инкубации в пробирку добавил 5мл этилового спирта (96%) и встряхнул на вортексе 1мин. Центрифугировал на пробирочной центрифуге на 3500 оборотах 10 мин. Затем супернатант перелил в сухие пробирки и произвел измерение оптической плотности при длине волны 490нм (Хазиеф Ф.Х., 2005).

3. Дыхание микробного сообщества (МС) определял методом RT (респираторного тестирования). Определение «красной черты» для пестицидов проводил по интенсивности дыхания при нарастающей концентрации. Принцип почерпнул из определения минимальной дозы антибиотиков. Формула пестицидов: «Топаз» - C13H15Cl2N3 пенконазол, «Раек» - C19H17Cl2N3O3 дифеноконазол. В каждую ячейку культурального планшета внес почву 0,5г и 0,5мл пестицида в концентрациях N\10, N\5, N, 5N, 10N, где N-норма. Интенсивность дыхания МС регистрировалась через 12 часов по окраске тест-системы.

Крышку индикаторного планшета залил расплавленной средой, содержащей на 100 мл воды:

-Агар =1,3г,

-Бромкрезоловый красный =1,87мг,

-NaHCO3=0,034г ,

-KCl=1г.

Бромкрезоловый красный при подкислении среды (снижении pH) изменил окраску от фиолетового до желтого.

4. Измерение массовой доли нефтепродуктов в почве. Методика предназначена для измерения массовой доли нефтепродуктов в минеральных почвах (пески, супеси, суглинки, глины), органогенных (торф, лесная подстилка), органоминеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектрометрии на анализаторах нефтепродуктов при их содержании от 50 до 100000 мг/кг. Метод заключается в экстракции нефтепродуктов из почв и донных отложений четыреххлористым углеродом, хроматографическом отделении нефтепродуктов от сопутствующих органических соединений других классов, и количественном определении нефтепродуктов (НП) по интенсивности поглощения в ИК-области спектра. Все лабораторные анализы образцов почв проводились в лабораториях научно-образовательных школ «Лифт в будущее» в г. Смоленске, г. Москве, г. Уфе и в Московском Государственном Университете имени М. В. Ломоносова. Все результаты обрабатывались в программе Excel. В опытах использовалась нефть компании «Башнефть», отличающаяся повышенным содержанием соединений серы (2 % и выше). В ходе исследований я вел лабораторный журнал, в котором фиксировал все данные. Для уменьшения

погрешностей я точно следовал методикам, повторяя опыты несколько раз.

Ход исследования.

1. Гидролиз диацетат флуоресцеина (ФДА)6

Для проведения этого метода мне потребовались исследуемые материалы, заложенные по следующей схеме в Таблице 1.

Подготовка к исследованию.

1) Отобрал почву для проведения опытов.
2) Взял четыре чашки Петри.

Таблица 1. Исследуемые материалы.

№ варианта	Варианты опыта
0	Контрольная
1	Нефть и NPK
2	Нефть
3	Нефть + NPK+ микроэлементы

3) В каждую из чашек Петри поместил по 80г почвы. В чашки под номерами 1,2,3 внес по 3мл нефти. В образец под номером 0 внес 15мл воды. В образец под номером 2 добавил 15мл воды.

4) Внес удобрения в чашки под номерами 1 и 3. В чашку Петри под номером 3 добавил удобрения с микроэлементами 6,2г, разбавив с 15мл воды. В чашку Петри под номером 1 добавил 3г амминофоса и 3г селитры калиевой, разбавив с 15мл воды (рис. 1).

Рис. 1. Проведение экспериментов.

Активность микробного сообщества определялась методом гидролиза диацетата флуоресцеина (ФДА) в почвенной суспензии (рис. 2,3, таблица 2).

Рис. 2. Проведение эксперимента.

Таблица 2. Полученные результаты.

дата	Образец 0	Образец 1	Образец 2	Образец 3

8.06.14	1,7 нм	1,330 нм	1,650 нм	0,605 нм
10.06.14	1,908 нм	1,818 нм	1,420 нм	0,703 нм
14.06.14	1,330 нм	1,603 нм	1,495 нм	1,120 нм

Результаты исследования:

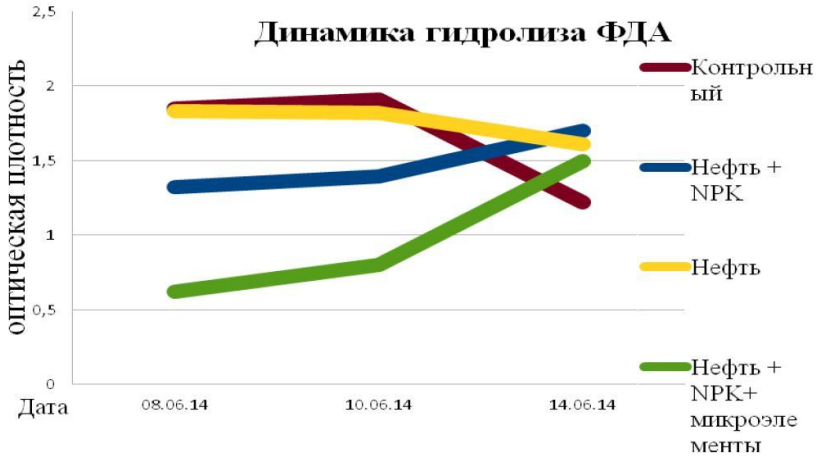


Рис. 3. Графическое представление результатов.

Вывод: Отмечена тенденция роста активности микроорганизмов в почве с внесенными удобрениями, вызывающими их ускоренный метаболизм.

Определение «Красной черты» воздействия УВ нефти на почву.

Активность микробного сообщества определялась методом гидролиза диацетата флуоресцеина (ФДА) в почвенной суспензии (таблица 3, рисунок 4)

Таблица 3.Данные для эксперимента.

	0 мг/кг (0%)				4,25 мг/кг (5%)				12,75 мг/кг (15%)			
	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
3 июня	0,14				0,195				0,098			
7 июня	0,503				0,984				0,833			
10 июня	0,589				1,08				0,73			

Результаты исследования:

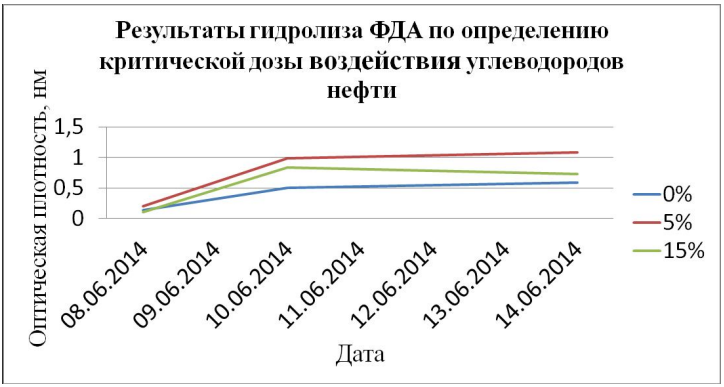


Рис. 2. Графическое представление результатов.

Вывод: Таким образом, мной не была найдена "красная черта" воздействия УВ нефти на МС почвы. Данные результаты натолкнули меня на мысль о том, что рост ферментативной активности в контрольном образце связан с благоприятными условиями (увлажнение почвы, тёплая среда), стимулирующими

грибы к активной жизнедеятельности. При концентрации 5% выявлен рост количества ферментов в почве, т.к. данная концентрация нефти является благоприятной для её переработки микроорганизмами. Я считаю, что 15%-я концентрация оказалась менее благоприятной для МС, т.к. дышащие организмы из-за образования нефтяной плёнки не были способны к активной жизнедеятельности, а значит, и к образованию ферментов.

2. Определение пероксидазной активности.

Для проведения этого метода мне потребовались исследуемые материалы, такие же, как и для предыдущего метода (см. таблицу 1).

Подготовка к исследованию:

По 1г каждого образца почвы, роголистника, редиса залил 10мл раствора 1% гидрохинона, добавил 1мл 0,05% раствора перекиси водорода, встряхнул 1 мин на вортексе, затем поместил в термостат на 30 мин (28С). Контроль - пробирка с гидрохиноном и перекисью. После инкубации в пробирки добавил 5 мл этилового спирта (96%) и встряхнул на вортексе 1 мин. Центрифугировал на пробирочной центрифуге на 3500 оборотах 10 мин. Затем супернатант перелил в сухие пробирки, и произвел измерение оптической плотности при длине волны 490нм (рис. 3, таблица 4).

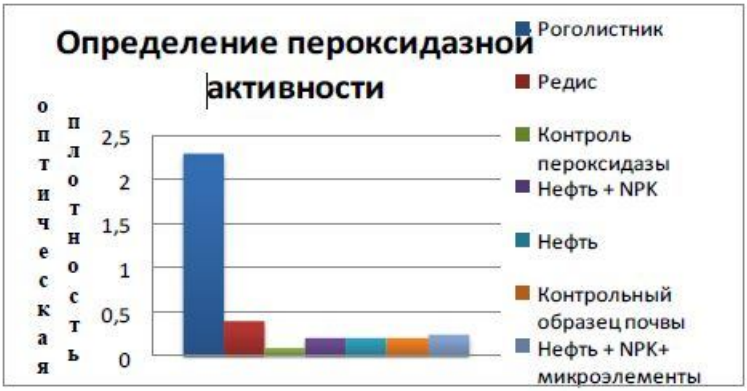


Рис. 3. Результаты.

Таблица 4. Оптическая плотность при длине волны 490нм.

Роголистник	Редис	Контроль пероксидазы	Нефть + NPK	Нефть	Контрольный образец почвы	Нефть + NPK+ микроэл
2,3 нм	0,4 нм	0,1 нм	0,2 нм	0,2 нм	0,2 нм	0,25 нм

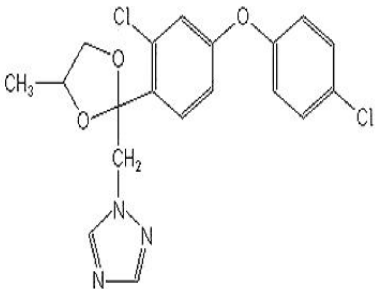
Вывод: Таким образом, самая высокая пероксидазная активность отмечена у роголистника, что объясняет его способность окислять различные органические соединения и способствовать биоремедиации почвы.

Пестициды. Определение степени влияния пестицидов Топаз и Раёк на чистую культуру *Trichoderma harziannum(биопрепарат Глиокладин) методом RT (респираторного тестирования).*

Для проведения этого эксперимента мне потребовались исследуемые материалы раек, топаз (рис. 4).

Подготовка к исследованию: для пестицидов я взял планшеты. В каждую из 24 ячеек микробиологического планшета внес чистую культуру Trichoderma harziannum, небольшое количество глюкозы для питания и раствор каждого пестицида. Подготовил раствор бромкрезолового красного. При этом бромкрезоловый красный при подкислении среды (снижении pH) изменяет окраску от фиолетового до желтого (рис. 5).

Раек



Топаз

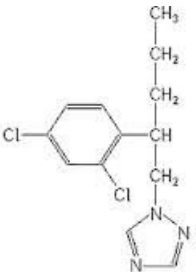


Рис. 4. Химическая формула исследуемого материала.

Рис. 5. Проведение эксперимента.

Результаты (рис. 6):

1. При концентрации пестицидов Раёк и Топаз 10N, где N – рекомендуемая доза, дыхание отсутствовало

2. Наибольшая активность грибов наблюдалась в контрольных образцах, не содержащих пестицидов.

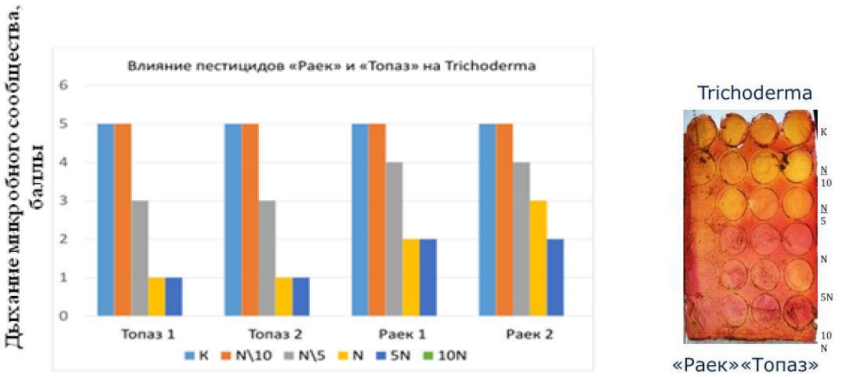


Рис. 6. Результаты.

Вывод: Таким образом, мною была найдена «красная черта» для *Trichoderma harzianum* – концентрация, в 10 раз превышающая норму, которая губительна для данных грибов. При этом пестицид Топаз оказался наиболее токсичен, т.к. при воздействии его концетрации N, N/5 и 5N отмечено более слабое дыхание, чем при такой же концентрации пестицида Раёк.

Я предполагаю, что в сельскохозяйственном производстве рациональнее было бы использовать растворы пестицидов с концентрацией в 10раз меньше указанной нормы, что было бы безвредно для почвенной микрофлоры.

3. Дыхание микробного сообщества (МС)

Определение степени воздействия пестицида Раёк на микрофлору дерново-подзолистых и серых лесных почв («Луг-Москва», «Луг Уфа») методом RT (респираторного тестирования)

Подготовка планшетов: для пестицида я взял планшеты, измерил интенсивность дыхания при нарастающей концентрации пестицида «Раек». В каждую ячейку микробиологического планшета внес почвенную суспензию - субстрат в различных концентрациях. Подготовил раствор бромкрезолового красного.

Результаты (рис. 7):

1. При наибольшей концентрации пестицида Раёк 10N, дыхание отсутствовало.

2. Наибольшая активность МС наблюдалась в контрольном образце, не содержащем пестицид, а также в образце с самой маленькой концентрацией N/10.

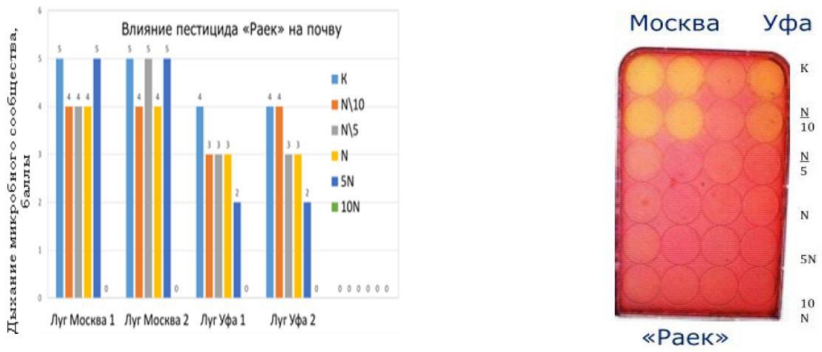


Рис. 7. Результаты эксперимента.

Выводы: Таким образом, мною была найдена «красная черта» для МС серой лесной и дерново-подзолистой почвы (Луг Москва, Луг Уфа) - концентрация 10N раствора пестицида Раёк, губительная для микроорганизмов данной почвы.

Дыхание микробного сообщества (МС).

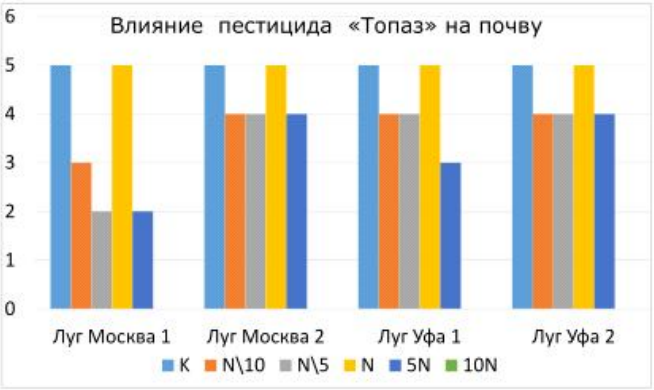
Определение степени воздействия пестицида Топаз на микрофлору серой лесной и дерново-подзолистой почвы (Луг-Москва, Луг Уфа) методом RT (респираторного тестирования)

Подготовка планшетов: для пестицида взял планшеты, измерил интенсивность дыхания при нарастающей концентрации. В каждую из 24 ячеек микробиологического планшета внес почвенную суспензия и раствор пестицида с различными концентрациями. Подготовил раствор бромкрезолового красного. При этом бромкрезоловый красный при подкислении среды (снижении pH) изменил окраску от фиолетового до желтого.

Результаты (рис. 8):

1. При наибольшей концентрации пестицида Топаз 10N дыхание отсутствовало.

2. Наибольшая активность МС почвы наблюдалась в контрольных образцах, не содержащих пестицидов, а также в образце с самой маленькой концентрацией N/10.



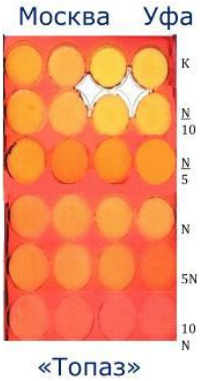


Рис. 8. Результаты.

Выводы: Таким образом, мною была найдена «красная черта» для МС серой лесной и дерново-подзолистой почвы (Луг Москва, Луг Уфа) - концентрация 10N раствора пестицида Топаз, губительная для микроорганизмов данной почвы.

4. Измерение массовой доли нефтепродуктов в почве.

Подготовка к исследованию: образцы почвы высушил при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния. Затем

рассыпал на бумаге (кальке) и пинцетом удалил механические включения (неразложившиеся корни, растительные остатки, камни и др.), измельчил с помощью лабораторного гомогенизатора и протер через сито с диаметром ячеи 0,5мм. Из образца отобрал пробу почвы массой 100 ± 1г, которую высушил на воздухе до постоянного веса. Пробу отквартовал и отобрал для анализа две параллельные навески.

Навеску исследуемой пробы поместил в колбу емкостью 100см^3 с притертой стеклянной пробкой. Пробу почвы в колбе залил 10см^3 четыреххлористого углерода и интенсивно встряхивал в аппарате для встряхивания проб в течение 1 часа. Полученный экстракт отфильтровал через бумажный фильтр «белая лента» и слил в бюкс с притертой крышкой. Экстракцию с последующим фильтрованием повторил еще 2 раза с новыми порциями четыреххлористого углерода по 10см^3 в каждой. Все экстракты объединил в мерный цилиндр емкостью 50см^3 и зафиксировал суммарный объем V. После этого на приборе оценил содержание нефтепродуктов. Показания прибора не должны быть более 90мг/дм^3. В случае превышения показания пипеткой надо отобрать аликвоту экстракта объемом 5см^3, поместить ее в мерную колбу вместимостью 25см^3и долить до метки четыреххлористым углеродом. Если показания прибора снова превышают 90 мг/дм^3, процедуру разбавления нужно повторить.

Опыт проводился в двух повторениях (рис. 9, фото 11-14).

1 образец (1.1, 1.2) – *почва + нефть*

2 образец (2.1, 2.2) – *почва + роголистник (двойная норма) + нефть*

3 образец (3.1, 3.2) – *почва + роголистник* + нефть

4 образец (4.1,4.2) – *почва + роголистник + NPK (микроэлементы) + нефть*

5 образец (5.1, 5.2) – *почва + роголистник*

6 образец (6.1, 6.2) – *почва*

Фото 11

Фото 12

Фото 13

Фото 14

Рис. 9. Проведение опыта.

Результаты (рис. 10):

Вывод: Роголистник является перспективным растением для биоремедиации почв, он стимулирует микрофлору и выделяет ферменты для переработки нефти.

Результаты: (Таблица 5, рисунок 7)

Таблица 5

Дата	Номер	Масса, г	Объем, мл	Разбавл.	КН-3, мг/л	мг/кг	Среднее
27/01/15	**1.1**	1,93	42,5	20	27,8	12243,52	**12189,85**
	1.2	2,35	46	20	31	12136,17	
	2.1	2,17	46	20	22,1	9369,59	**9408,6**
	2.2	2,1	40	20	24,8	9447,62	
	3.1	2,33	45	20	28	10815,45	**10614,87**
	3.2	1,96	42	20	24,3	10414,29	
	4.1	2,02	31	20	29,8	9146,53	**9295,82**
	4.2	2,35	31	20	35,8	9445,11	
	5.1	2,15	31	1	41,8	602,7	**594,01**
	5.2	1,99	32	1	36,4	585,33	
	6.1	2,48	35	1	43,6	615,32	**632,48**

Рисунок 7

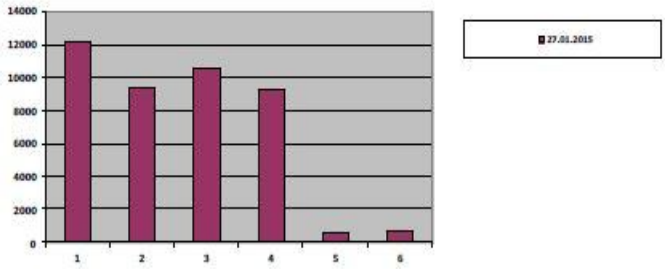


Рис. 10. Результаты.

Результаты исследований всех методов:

1. Отмечена стимуляция активности микроорганизмов в почве с внесением удобрений.

2. Показано, что роголистник является перспективным растением для фиторемедиации нефтезагрязненных почв. Роголистник, добываемый при очистке прудов, можно использовать в качестве удобрения для ремедиации почвы, т.к. он имеет высокую пероксидазную активность.

3. «Красная черта» при воздействии пестицидов на почву достигнута при десятикратном увеличении нормы.

4. При концентрации нефти, равной 15%, активность микрофлоры почвы сильно снижается.

5. Отмечена повышенная активность микроорганизмов с внесенным роголистником. Внесение двойной нормы улучшает эффект.

6. Возможность выращивания растений на почве, загрязненной нефтью, в которую внесен роголистник, так как экосистема восстанавливается быстрее.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ, СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ

Роголистник является чистым сырьем, добывается при очистке водоемов и является экономически выгодным, не требующим больших материальных затрат. Способ безупречен с экологической точки зрения.

Основными источниками разлива нефти являются грузовые операции на нефтяных терминалах, аварии танкеров, перевозящих нефть и нефтепродукты, незаконные эксплуатационные сбросы с судов нефтесодержащих отходов и аварии на буровых платформах.

Большинство аварий происходят или в воде, или в непосредственной близости к ней.

Роголистник (Ceratophyllum) распространен практически по всему земному шару от полярного круга до тропиков. Растет на глубине до девяти метров или в тени деревьев, стоящих близко к берегу. Это растение приспособлено к выживанию при большом разбросе температуры воды: от двенадцати до тридцати градусов. Тот факт, что роголистник произрастает в воде или непосредственной близости с водой и разливы нефти происходят в тех же местах, позволит без особых экономических затрат использовать именно роголистник, или, в дальнейшем, препарат на его основе, для восстановления в короткие сроки структуры почвы. Разработанный способ биоремедиации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, рекомендуется к использованию в производственной деятельности природоохранных предприятий.

По моему мнению, из всех существующих на сегодняшний день предлагаемых способов очистки почвы от загрязнения нефтью и нефтепродуктами, метод с использованием роголистника, или препарата, созданного на его основе, наиболее актуален.

Примерами исследований, описанных в проекте, я доказал, что метод с использованием простого растения – роголистника – эффективен, так как почва приобретает способность к плодородию намного быстрее, нежели с применением других биологических методов. Не это ли самая главная задача – восстановление плодородия почвы?

Полученные при проведении опытов результаты могут быть использованы как справочные данные.

В дальнейшем я планирую разработать препарат на основе роголистника, проверить действие этого препарата на конкретном участке.

Литература:

1. Green, V.S et al. Assay for fluorescein diacetate hydrolytic activity: optimization for soil samples. Journal of Soil Biology and Biochemistry. 2006, 38:693-701.

2. Campbell, C.D., Chapman, S.J., Cameron, C.M., Davidson, M.S., Potts, J.M., 2003. A rapid microtiter plate method to measure carbon dioxide evolved from carbon substrate amendments so as to determine the physiological profiles of soil microbial communities by using whole soil. Appl. Environ. Microbiol. 69, 3593–3599.

3. Кожевин П.А. Экология почвенных микроорганизмов / В сб. Экология микроорганизмов. М., Academia, 2004 с.71-94

4. Виноградский С.Н. Почвенная микробиология. М.1952

5. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. М.МГУ 2005

6. Заварзин Г.А. Биоразнообразие и устойчивость микробного сообщества.//Журнал общей биологии, 31 (2) 386-393(1970)

7. Ronald M. Atlas Microbial Degradation of Petroleum Hydrocarbons: an Environmental Perspective, Microbiological Reviews, 1981, p. 180-209

8. Хазиев Ф.Х., Методы почвенной энзимологии, М.2005

9. P. Baborováa, M. Möderb, P. Baldriana, KCajthamlováa, T.Cajthamla Purification of a new manganese peroxidase of the white-rot fungus Irpexlacteus, and degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by the enzyme, 2005

10. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органоминеральных почвах и донных отложениях методом ИК – спектрофотометрии, ПНД Ф 16.1: 2.2.22 – 98, 1998

Разработка и изготовление комплекта оборудования для измерения давления в гидросистемах

КОСТОМАРОВ Ким Кимович
г. Москва, ГБОУ Лицей «Вторая школа», 11 класс

Научный руководитель:
Акинфиев Алексей Алексеевич,
доцент кафедры «Гидромеханика,
гидромашины и гидропневмоавтоматика»
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Измерение давления в гидросистемах во время проведения испытаний и диагностики в лабораторных и полевых условиях - актуальная задача.

Машины оснащаются точками диагностирования, манометрическими сборками, однако наблюдение за манометрами и фиксация проведенных измерений затруднительны, так как требуют записи на бумагу, для чего испытателю необходим дополнительный обученный персонал. Желательно иметь средства измерений в комплекте: электрический датчик давления, усилитель, аналогово-цифровой преобразователь, компьютер. Кроме фиксации показаний в этом случае возможна запись измеренных значений и их обработка.

Целью настоящей работы было создание комплекта для измерения давления в гидросистемах. Заинтересованность в таком комплекте проявило подразделение диагностики гидропривода ООО «ИТЦ-Крос» для оснащения гидротестера и стендового оборудования.

Гидротестер (рис. 1) содержит нагружающее устройство, выполненное в виде предохранительного клапана, расходомера и средства измерения давления в виде манометра. Простейшая схема применения гидротестера приведена на рис. 2.

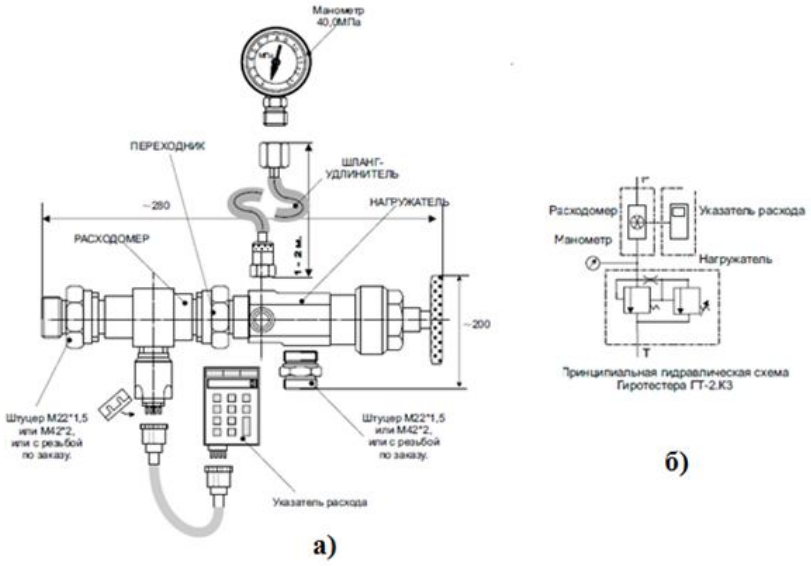


Рис. 1. Гидротестер ГТ-2:

а) конструктивная схема гидротестера; б) гидросхема.

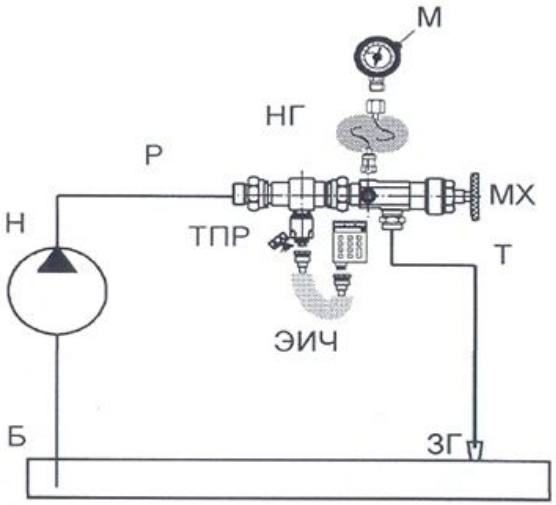


Рис. 2. Использование гидротестера для измерения расхода и давления насоса:
Б - бак машины, ЗГ - заливная горловина, М - манометр, НГ- нагружатель, ТПР- расходомер, ЭИЧ – электронный измеритель частоты, МХ - маховик, Р – напорная линия, Т – сливная линия.

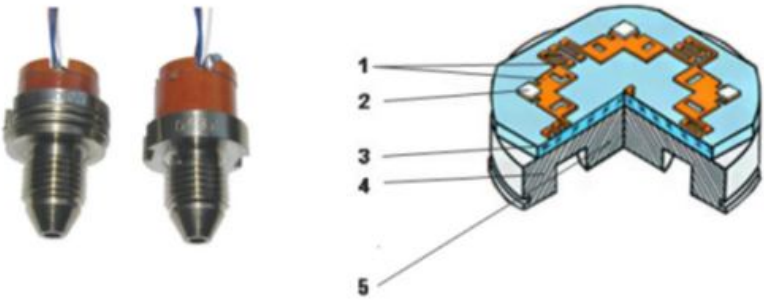
Гидротестер подсоединяется к насосу машины, сливная линия гидротестера соединяется с баком. Для проверки насос нагружается с помощью клапана, расход измеряется турбинным датчиком расхода, давление манометром.

В работе решались следующие задачи:

- подбор оборудования для измерения давления;
- изготовление усилителя;
- доработка платы сопряжения аналогового сигнала от датчика давления для оцифровки и передачи информации в компьютер;
- разработка и опробование программного обеспечения;
- тарировка комплекта и его использование в гидротестере;

- испытание комплекта на гидротестере.

Для комплекта был использован мембранный датчик давления типа Р21 (рис. 3) отечественного производства. Завод «Сигнал» в г. Энгельс выпускает такие датчики для различных диапазонов давлений. Наиболее востребованным диапазоном измерений давлений для мобильных машин являются: 0-30бар (давление управления, подпитки, слива), 0-250бар (рабочие давления). Общий вид датчика приведен на рис. 3.



а) б)

Рис. 3. Датчик давления типа Р21: а) общий вид датчика, б) конструктивная схема. 1- мост Уинстона, 2 – контакты, 3 – сапфировая подложка, 4 – титановая мембрана, 5 – монтажная поверхность.

Тензочувствительным элементом датчика является двухслойная мембрана, нижняя часть которой выполнена из титана (4), верхняя часть из сапфира (3) присоединена к титану с помощью специального техпроцесса. Мост Уинстона выполнен из кремния (1) и образует схему на сапфировой мембране, схема имеет

алюминиевые контактные площадки (2), к которым присоединяются устройства для обработки сигнала.

На рис. 4 приведена условная электрическая схема датчика. Четыре резистора соединены в полную мостовую схему, на вход датчика подается напряжение 12В (Vo). При подаче давления внутрь датчика мембрана изгибается, происходит изменение сопротивлений и разбалансировка ветвей, выходное напряжение может быть использовано для измерения давления. Выходное напряжение надо усилить, оцифровать и передать в компьютер.

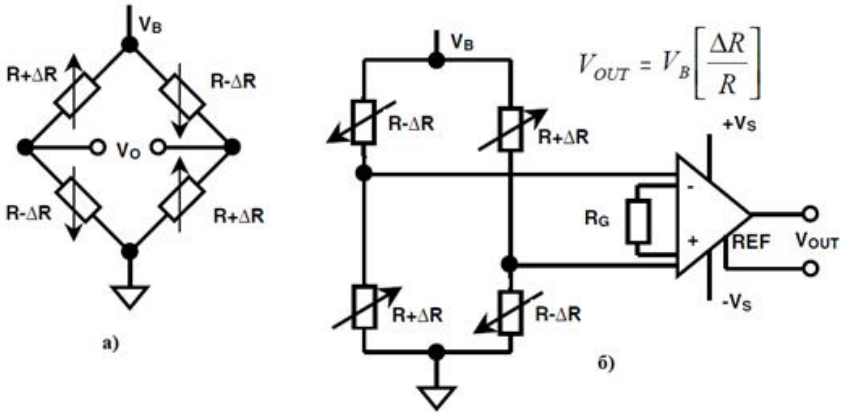


Рис. 4. Схема полного моста(а) и электрическая схема (б) датчика.

К контактам датчика были присоединены платы со схемой усилителя. Было выбрано оборудование для приема и оцифровки аналогового сигнала от датчика: комплект микросхем STM-32f4, размещенный на специально изготовленной плате. Комплект состоит из микропроцессора, оперативной памяти, аналогово-

цифрового преобразователя. Для диагностики создаваемого оборудования на плате был размещены светодиоды (рис. 5).

Оцифрованный сигнал от платы STM-32f4 передается в COM-порт и далее обрабатывается в компьютере.

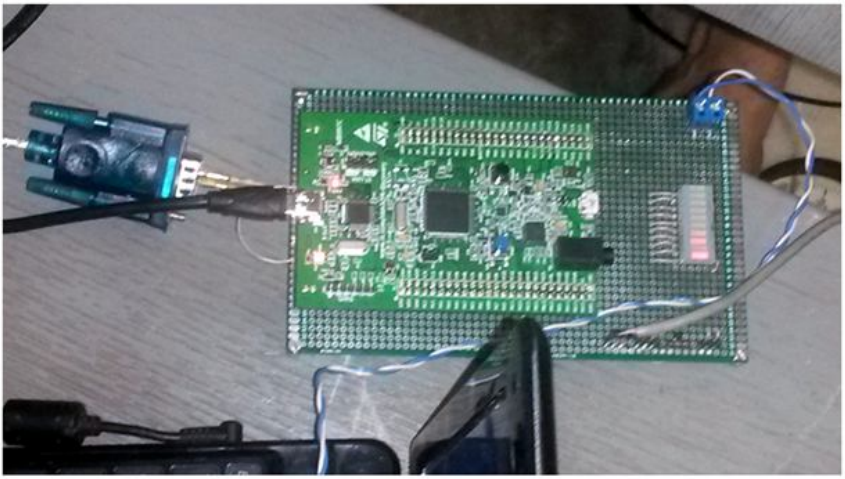


Рис. 5. Плата STM-32.

Для работы комплекта измерений необходимо обеспечить взаимодействие информации, поступающей от датчика через плату STM-32f4 и COM-порт и компьютера. Для этого в среде разработки на языке СИ мною под руководством О.И. Тарасова было разработано программное обеспечение для STM-32f4, которое посредством компиляции в Kiel uVision5 (среда разработки на С для микроконтроллеров) создавался файл с расширением hexs. Этот файл через USB разъем передавался на плату STM-32f, записывался в память платы. Код представлен в конце работы.

На языке СИ в среде RED-studio было написано программное обеспечение, которое обеспечивало считывание сигнала с COM-порта в буфер, вывод на дисплей, сохранение информации в текстовом файле для дальнейшего использования и обработки в соответствии с необходимостью. Код представлен в Приложении.

Комплект оборудования был протарирован в лаборатории кафедры Э-10, процесс тарировки представлен на рис. 6, графики тарировки - на рис. 7. Пример вывода изображения сигнала от датчика на экран (рис. 8).

Рис. 6. Тарировка комлекта.

Таблица 1

давление	сигнал с датчика2	сигнал с датчика1
0	465	1080
5	560	1120
10	665	1160
15	770	1190
20	875	1230
25	980	1255
30	1080	1285
35	1170	1320
40	1280	1360
45	1380	1400
50	1480	1430

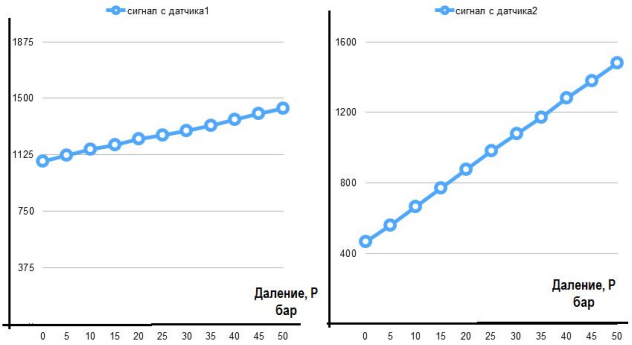


Рис. 7. Результаты тарировки датчиков.

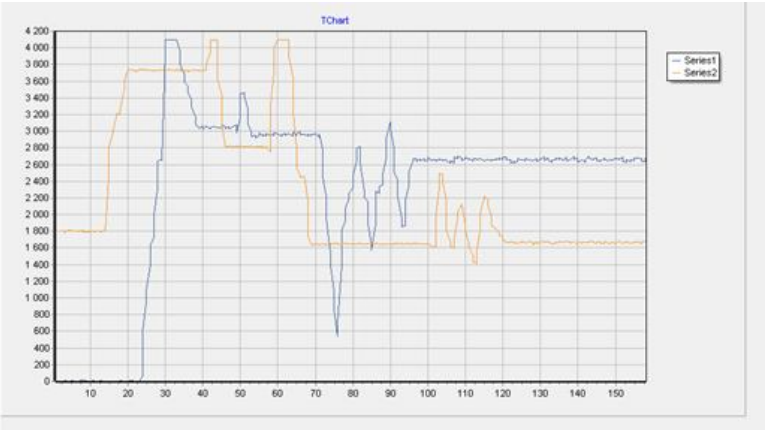


Рис. 8. Пример вывода изображения сигнала от датчика на экран.

Задачи по созданию комплекта измерения давления решены. Данный комплект был подготовлен для использования с четырьмя датчиками: два рабочих и два для резерва. Однако оборудование, подготовленное при разработке комплекта, позволяет расширить количество используемых датчиков по необходимости.

Технические решения, примененные при работе над комплектом, позволяют использовать его для обработки сигналов от турбинного расходомера, что в свою очередь расширит сферу применения разработанного комплекта оборудования.

Работа выполнена под руководством А.А. Акинфиева и О.И. Тарасова.

Приложение

Программное обеспечение для платы STM-32f4

```
#include <stm32f4xx.h>

#define LED_PORT GPIOD
#define LED_GREEN (1<<12)
#define LED_ORANGE (1<<13)
#define LED_RED (1<<14)
#define LED_BLUE (1<<15)

void setup_leds (void)
{
        RCC -> AHB1ENR |= RCC_AHB1ENR_GPIODEN;
        RCC -> AHB1ENR |= RCC_AHB1ENR_GPIOAEN;
        RCC -> AHB1ENR |= RCC_AHB1ENR_GPIOBEN;

        GPIOA -> MODER &= ~GPIO_MODER_MODER0;

        LED_PORT -> MODER |= GPIO_MODER_MODER12_0 |
GPIO_MODER_MODER13_0 | GPIO_MODER_MODER14_0
|GPIO_MODER_MODER15_0;
}
```

```
void setup_ports(void)
{
        RCC -> AHB1ENR |= RCC_AHB1ENR_GPIOEEN;
        GPIOE -> MODER |= GPIO_MODER_MODER3_0;
        GPIOE -> MODER |= GPIO_MODER_MODER4_0;
        GPIOE -> MODER |= GPIO_MODER_MODER5_0;
        GPIOE -> MODER |= GPIO_MODER_MODER6_0;
        GPIOE -> MODER |= GPIO_MODER_MODER7_0;
        GPIOE -> MODER |= GPIO_MODER_MODER8_0;
        GPIOE -> MODER |= GPIO_MODER_MODER9_0;
        GPIOE -> MODER |= GPIO_MODER_MODER10_0;
        GPIOE -> MODER |= GPIO_MODER_MODER11_0;
        GPIOE -> MODER |= GPIO_MODER_MODER12_0;

}

void setup_adc1 (void)//PA1
{

        ADC_InitTypeDef ADC_InitStructure;
        GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;
        ADC_CommonInitTypeDef        ADC_CommonInitStructure;//
adc_init
        ADC_DeInit(); // сброс параметров ADC

RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_ADC1, ENABLE);

                GPIO_InitStructure.GPIO_Pin   = GPIO_Pin_1;
                GPIO_InitStructure.GPIO_Mode  = GPIO_Mode_AN;
        GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_InitStructure);

   ADC_InitStructure.ADC_ScanConvMode = DISABLE;
```

```
   ADC_InitStructure.ADC_ContinuousConvMode = DISABLE;
   ADC_InitStructure.ADC_DataAlign = ADC_DataAlign_Right;
    ADC_InitStructure.ADC_ExternalTrigConv =
ADC_ExternalTrigConvEdge_None;
   ADC_InitStructure.ADC_NbrOfConversion = 1;
   ADC_InitStructure.ADC_Resolution = ADC_Resolution_12b;
   ADC_Init(ADC1, &ADC_InitStructure);

   ADC_RegularChannelConfig(ADC1, ADC_Channel_1, 1,
ADC_SampleTime_480Cycles);

   ADC_CommonInitStructure.ADC_Mode = ADC_Mode_Independent;
   ADC_CommonInitStructure.ADC_Prescaler = ADC_Prescaler_Div2;
   ADC_CommonInitStructure.ADC_DMAAccessMode =
ADC_DMAAccessMode_Disabled;
   ADC_CommonInitStructure.ADC_TwoSamplingDelay =
ADC_TwoSamplingDelay_5Cycles;
   ADC_CommonInit(&ADC_CommonInitStructure);

   ADC_DiscModeCmd(ADC1, DISABLE);
   ADC_EOCOnEachRegularChannelCmd(ADC1, DISABLE);
   ADC_DMARequestAfterLastTransferCmd(ADC1, DISABLE);
   ADC_DMACmd(ADC1, DISABLE);


   ADC_Cmd(ADC1, ENABLE);

}
void setup_USART(void)
{
GPIO_InitTypeDef GPIO_USART_ini;
USART_InitTypeDef USART2_User_ini;
```

```
RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOA, ENABLE);
RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_USART2, ENABLE);


GPIO_USART_ini.GPIO_Pin = GPIO_Pin_2;
GPIO_USART_ini.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF;
GPIO_USART_ini.GPIO_Speed = GPIO_Speed_100MHz;
GPIO_USART_ini.GPIO_OType = GPIO_OType_PP;
GPIO_USART_ini.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_UP;

GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_USART_ini);

GPIO_USART_ini.GPIO_Pin = GPIO_Pin_3;
GPIO_USART_ini.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF;
GPIO_USART_ini.GPIO_Speed = GPIO_Speed_100MHz;
GPIO_USART_ini.GPIO_OType = GPIO_OType_PP;
GPIO_USART_ini.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_UP;

GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_USART_ini);
GPIO_PinAFConfig(GPIOA, GPIO_PinSource2, GPIO_AF_USART2);
GPIO_PinAFConfig(GPIOA, GPIO_PinSource3, GPIO_AF_USART2);

USART2_User_ini.USART_BaudRate = 115200;
USART2_User_ini.USART_WordLength = USART_WordLength_8b;
USART2_User_ini.USART_StopBits = USART_StopBits_1;
USART2_User_ini.USART_Parity = USART_Parity_No;
USART2_User_ini.USART_HardwareFlowControl =
USART_HardwareFlowControl_None;
USART2_User_ini.USART_Mode =
USART_Mode_Tx|USART_Mode_Rx;
USART_Init(USART2, &USART2_USER
```

```
_ini);
NVIC_EnableIRQ(USART2_IRQn);
USART_ITConfig(USART2, USART_IT_RXNE, ENABLE);
USART_Cmd(USART2, ENABLE);

}
void send_to_PC(int m)
{

        while(!(USART2->SR & USART_SR_TC)){}
        USART_SendData(USART2, m);
}
void setup_adc2 (void)//PB0
{
                ADC_InitTypeDef ADC_InitStructure;
        GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;
        ADC_CommonInitTypeDef ADC_CommonInitStructure;

RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_ADC2, ENABLE);

                GPIO_InitStructure.GPIO_Pin   = GPIO_Pin_0;
                GPIO_InitStructure.GPIO_Mode  = GPIO_Mode_AN;
        GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStructure);

   ADC_InitStructure.ADC_ScanConvMode = DISABLE;
   ADC_InitStructure.ADC_ContinuousConvMode = DISABLE;
   ADC_InitStructure.ADC_DataAlign = ADC_DataAlign_Right;
    ADC_InitStructure.ADC_ExternalTrigConv =
ADC_ExternalTrigConvEdge_None;
   ADC_InitStructure.ADC_NbrOfConversion = 1;
   ADC_InitStructure.ADC_Resolution = ADC_Resolution_12b;
   ADC_Init(ADC2, &ADC_InitStructure);
```

```
   ADC_RegularChannelConfig(ADC2, ADC_Channel_8, 1,
ADC_SampleTime_480Cycles);


   ADC_CommonInitStructure.ADC_Mode = ADC_Mode_Independent;
   ADC_CommonInitStructure.ADC_Prescaler = ADC_Prescaler_Div2;
   ADC_CommonInitStructure.ADC_DMAAccessMode =
ADC_DMAAccessMode_Disabled;
   ADC_CommonInitStructure.ADC_TwoSamplingDelay =
ADC_TwoSamplingDelay_5Cycles;
   ADC_CommonInit(&ADC_CommonInitStructure);

   ADC_DiscModeCmd(ADC2, DISABLE);
   ADC_EOCOnEachRegularChannelCmd(ADC2, DISABLE);
   ADC_DMARequestAfterLastTransferCmd(ADC2, DISABLE);
   ADC_DMACmd(ADC2, DISABLE);

   ADC_Cmd(ADC2, ENABLE);
}
int main(void)
{
        int a=0, b=0, x=0, a1=0, b1=0;
        setup_USART();
        setup_leds();
        setup_adc1 ();
        setup_adc2 ();
        setup_ports ();

        while(1)
        {
```

```
		ADC_RegularChannelConfig(ADC1,ADC_Channel_1,
1, ADC_SampleTime_480Cycles);
		ADC_SoftwareStartConv(ADC1);
		while(x<10000)
		{
			x++;
		}x=0;
		a = ADC_GetConversionValue(ADC1);



		ADC_RegularChannelConfig(ADC2,ADC_Channel_8,
1, ADC_SampleTime_480Cycles);
		ADC_SoftwareStartConv(ADC2);
		while(x<10000)
		{
			x++;
		}x=0;
		b = ADC_GetConversionValue(ADC2);

		{/*
		if (a>0&&a<409)
		{
			GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_3;

			GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_4;
			GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_5;
			GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_6;
			GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_7;
			GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_8;
			GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_9;
			GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_10;
```

```
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_11;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_12;

}
if (a>409 && a<818)
{
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_4;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_3;

        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_5;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_6;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_7;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_8;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_9;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_10;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_11;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_12;

}
if (a>819 && a<1227)
{
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_3;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_4;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_5;

        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_6;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_7;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_8;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_9;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_10;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_11;
```

```
		GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_12;

	}
	if (a>1227 && a<1636)
	{
		GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_3;
		GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_4;
		GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_5;
		GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_6;

		GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_7;
		GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_8;
		GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_9;
		GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_10;
		GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_11;
		GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_12;
	}
	if (a>1636 && a<2045)
	{
		GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_3;
		GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_4;
		GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_5;
		GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_6;
		GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_7;

		GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_8;
		GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_9;
		GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_10;
		GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_11;
		GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_12;
	}
	if (a>2045 && a<2454)
```

```
{
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_3;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_4;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_5;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_6;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_7;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_8;

        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_9;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_10;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_11;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_12;
}
if (a>2454 && a<2863)
{
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_3;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_4;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_5;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_6;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_7;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_8;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_9;

        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_10;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_11;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_12;
}
if (a>2863 && a<3272)
{
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_3;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_4;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_5;
```

```
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_6;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_7;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_8;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_9;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_10;

            GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_11;
            GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_12;
    }
    if (a>3272 && a<3681)
    {
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_3;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_4;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_5;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_6;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_7;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_8;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_9;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_10;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_11;

            GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_12;
    }
    if (a>3681)
    {
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_3;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_4;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_5;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_6;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_7;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_8;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_9;
```

```
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_10;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_11;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_12;
}       */
                if (b>0 && b<409)
{
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_3;

        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_4;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_5;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_6;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_7;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_8;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_9;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_10;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_11;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_12;

}
if (b>409 && b<818)
{
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_4;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_3;

        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_5;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_6;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_7;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_8;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_9;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_10;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_11;
```

```
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_12;

}
if (b>819 && b<1227)
{
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_3;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_4;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_5;

        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_6;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_7;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_8;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_9;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_10;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_11;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_12;

}
if (b>1227 && b<1636)
{
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_3;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_4;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_5;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_6;

        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_7;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_8;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_9;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_10;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_11;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_12;
}
```

```
if (b>1636 && b<2045)
{
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_3;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_4;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_5;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_6;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_7;

        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_8;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_9;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_10;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_11;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_12;
}
if (b>2045 && b<2454)
{
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_3;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_4;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_5;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_6;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_7;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_8;

        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_9;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_10;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_11;
        GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_12;
}
if (b>2454 && b<2863)
{
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_3;
        GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_4;
```

```
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_5;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_6;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_7;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_8;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_9;

            GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_10;
            GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_11;
            GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_12;
    }
    if (b>2863 && b<3272)
    {
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_3;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_4;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_5;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_6;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_7;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_8;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_9;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_10;

            GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_11;
            GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_12;
    }
    if (b>3272 && b<3681)
    {
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_3;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_4;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_5;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_6;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_7;
            GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_8;
```

```
                GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_9;
                GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_10;
                GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_11;

                GPIOE -> ODR &= ~GPIO_ODR_ODR_12;
        }
        if (b>3681)
        {
                GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_3;
                GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_4;
                GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_5;
                GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_6;
                GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_7;
                GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_8;
                GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_9;
                GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_10;
                GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_11;
                GPIOE -> ODR |= GPIO_ODR_ODR_12;
        }


}



send_to_PC('B');
        b1=b/255;
        send_to_PC(b1);
        b=b%255;
        send_to_PC(b);
```

```
        send_to_PC('A');
                a1=a/255;
                send_to_PC(a1);
                a=a%255;
                send_to_PC(a);

        }
}
```

Программное обеспечение для компьютера в среде «Red studio»

```
#include <vcl.h>
#include <stdio.h>
#include <windows.h>
#include <cstddef>
#include <iostream>
#include <winbase.h>
#pragma hdrstop
#include "Unit2.h"
#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"
TForm1 *Form1;
        DCB dcb; COMMTIMEOUTS timeouts;
        COMSTAT ComStat;
        DWORD dwErrorFlags;
        OVERLAPPED o;
        BOOL fSuccess;
        DWORD dwEvtMask;
        HANDLE hMasterCOM;
        #define WB  100
        #define HB  100
        #define D  10
  long int  t=0, a1=0,b1=0,schet=0;
```

```
        unsigned char bufrx;
        int n=0,m=0;
        char st='a';
        int ClientWidch = 10,sch=0,show=0, a=0;
        double time1=1, time2=1;
        unsigned long  feedback;
__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner): TForm(Owner){
        hMasterCOM =
CreateFile(L"\\\\.\\COM5",GENERIC_READ|GENERIC_WRITE,0,NU
LL,CREATE_NEW,FILE_ATTRIBUTE_NORMAL,NULL);
         if (hMasterCOM != INVALID_HANDLE_VALUE){
                Label1->Caption="Open";
         }
         else { Label1->Caption="Close"; } dcb.DCBlength =
sizeof(DCB);
        dcb.BaudRate =  CBR_115200; dcb.fBinary = TRUE;
        dcb.fOutxCtsFlow = FALSE;dcb.fOutxDsrFlow = FALSE;
        dcb.fDtrControl = DTR_CONTROL_DISABLE;
        dcb.fDsrSensitivity = FALSE;dcb.fNull = FALSE;
        dcb.fRtsControl = RTS_CONTROL_DISABLE;
        dcb.fAbortOnError = FALSE;
        dcb.ByteSize = 8;dcb.Parity = NOPARITY;
        dcb.StopBits = 1;dcb.XoffLim=0;dcb.XonLim=0;
        SetCommState(hMasterCOM, &dcb);
        timeouts.ReadIntervalTimeout=0xFFFFFFFF;
        timeouts.ReadTotalTimeoutMultiplier = 0;
        timeouts.ReadTotalTimeoutConstant = 0;
        timeouts.WriteTotalTimeoutMultiplier = 100;
        timeouts.WriteTotalTimeoutConstant = 100;
        SetCommTimeouts(hMasterCOM, &timeouts);
}
void __fastcall TForm1::Timer1Timer(TObject *Sender){
```

```
        ClearCommError( hMasterCOM, &dwerrorFlags, &ComStat );
        n=(int)ComStat.cbInQue;
        while (sch<n && sch<4){
                ReadFile(hMasterCOM, &bufrx, sizeof(bufrx),
&feedback, NULL);
                        show=0;
                        m=2;
                        ReadFile(hMasterCOM, &bufrx, sizeof(bufrx),
&feedback, NULL);
                        if (bufrx=='A'){
                                while (m!=0){
                                        if(m==1){
                                                show=bufrx*255;
                                        }
                                        ReadFile(hMasterCOM, &bufrx,
sizeof(bufrx), &feedback, NULL);
                                        m--;
                                }
                                show=show + bufrx;Edit1->Text=bufrx;
                                Series1->AddXY(time1,show);
                        }
                        m=2;show=0;
                        if (bufrx=='B'){
                                while (m!=0){
                                        if(m==1){
                                                show=bufrx*255;
                                        }
                                        ReadFile(hMasterCOM, &bufrx,
sizeof(bufrx), &feedback, NULL);
                                        m--;
                                }
                                show=show + bufrx;
```

```
                                    Edit1->Text=bufrx;
                                    Series2->AddXY(time1,show);
                                }
            sch++;
            }
          PurgeComm (hMasterCOM, PURGE_RXCLEAR);
          sch=0;show=0;
}
void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender){
          a=1;
}
void __fastcall TForm1::Timer2Timer(TObject *Sender){
          time1++;
}
void __fastcall TForm1::Button2Click(TObject *Sender){
  a=0;
}
void __fastcall TForm1::Edit2Change(TObject *Sender){
;
}
```

СЕКЦИЯ IX. Автоматизация, робототехника и механика

Разработка принципов логистической концепции космических станций и летательных аппаратов

КОВТУН Анна Сергеевна
г. Москва, ГОУ Лицей №1580, 11 класс

Научный руководитель:
Зуев Вячеслав Александрович,
к.т.н., доцент кафедры
«Подъемно-транспортные системы»
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Введение.

Актуальность темы. В настоящее время во многих странах мира (Россия, США, Франция и т.д.) наблюдается рост активности в освоении и изучении космического пространства, и не только внутри солнечной системы. С точки зрения физики, изучение космоса позволяет решить огромный комплекс задач, как чисто фундаментальных, так и прикладных.

К фундаментальным относится возможность открытия новых состояний веществ, изучение элементарных частиц и материй, и т.д.

К прикладным задачам можно отнести использование невесомости, пониженной гравитации и отсутствие сопротивления воздуха для более экономичных транспортных перемещений. Уже

планируется работа по освоению Луны и близколетящих астероидов на предмет добычи ресурсов.

На данный момент ученых всего мира интересует освоение не только космического пространства в целом, но и конкретно нашей звезды, основного источника энергии на нашей планете - Солнца. Для изучения его строения и функционирования недостаточно посылать туда только спутники, желательно построить лабораторию внутри звезды.

Для решения этой проблемы необходимо создать космические корабли, базы для их строительства и наполнения необходимыми грузами во время эксплуатации. То есть следует создать элементы сложной технической системы, реализовать связи между ними. А для решения задач космической транспортной логистики надо определить оптимальные траектории перемещения летательных аппаратов в зависимости от их назначения.

При этом требуется рассчитать формы и объемы как кораблей, так и космических станций. Также необходимо решение проблем, связанных с логистическими задачами: определение оптимальной расстановки объектов как внутри самой станции на солнце, межпланетных станциях, так и на летательных аппаратах, которые будут поставлять необходимые ресурсы в лабораторию и на базы для их строительства и обеспечения заданного функционирования.

Если удастся разобраться в том, как функционирует наш основной источник энергии, то это будет огромный прорыв в

развитии науки, который позволит всему человечеству узнать тайны нашей Вселенной и не только...

Цель и задача исследовательской работы.

Целью проектной исследовательской работы является создание математического аппарата для решения задач внутренней логистики космических станций, лабораторий и летательных аппаратов. При построении математической модели требуется решить задачи компоновки элементов логистической системы и определить необходимые ограничения.

В соответствии с целью работы сформулированы основные задачи:

1. Определить возможные условия, в которых могут находиться части космических логистических систем;
2. Определить влияние этих условий на космические логистические системы;
3. Определить принципы построения космических логистических систем;
4. Разработать методы построения космических логистических систем.

В работе использованы методы математического моделирования, элементы математической логики, теории графов и геометрического моделирования.

Глава 1. Обзор существующих разработок по математическому моделированию компоновки объектов.

Прежде чем говорить о математическом моделировании, стоит ввести такое понятие, как математическая модель. **Математическая модель** - один из вариантов адекватного представления функционирования реального устройства и/или протекающих в нём процессов, явлений, с помощью математических теорий или их алгоритмических отображений [1]. Процесс построения и изучения математических моделей называется **математическим моделированием**. В данной работе мы будем использовать дискретные математические модели.

Дискретная математическая модель - это модель, в которой все переменные и параметры - дискретные величины.

Дискретная величина - величина, заданная только отдельным значением.

С помощью математической модели будут решены задачи пространственного размещения элементов систем и трассировки соединений этих элементов.

Существует целый класс задач, связанных с компоновкой и размещением элементов объектов. Общим для всех этих задач является то, что имеется набор объектов, которые надо разместить, и имеется набор областей размещения. Размещаемые объекты и области размещения обладают определенными характеристиками или свойствами: размеры, назначение, категория, вероятность использования. Объект будет считаться размещенным, если однозначно определено его положение в пространстве. За базовый элемент привязки объекта в пространстве принимается характерная

точка объекта, например, центр или концы диагональных углов…(рис. 1). Для определения положения объекта можно взять координату этой точки относительно начала. Начало координат размещается в характерной точке пространства, в котором располагается исследуемый объект (например, места логистического контакта, трассы перемещения грузов…).

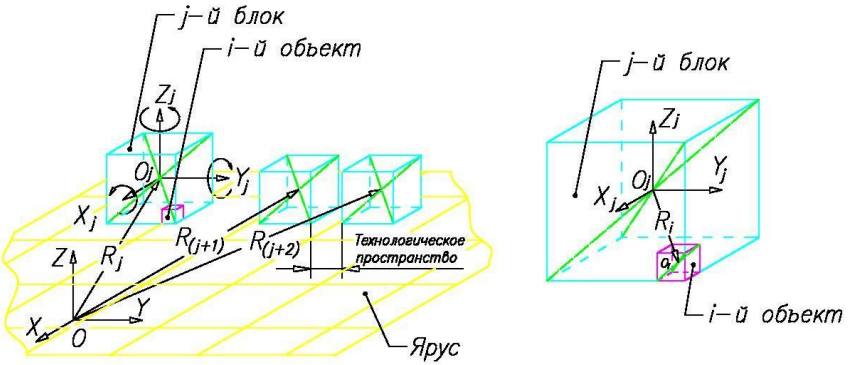


Рис. 1. Системы координат, необходимые для размещения блоков внутри системы и описания положения объекта «i» внутри блока «j».

Координата точки «О» находится в начале транспортной линии, по которой будут транспортироваться объекты (рис 2.1, рис 2.2, рис 2.3, рис 2.4, рис. 2.5).

Все эти задачи различаются наложенной на них системой ограничений и выбором критериев оптимальности. Ограничения зависят от условий обслуживания объекта, также от частоты (или вероятности) его использования и многих других факторов. Кроме того, существует ограничение общего характера - это

непересечение размещаемых объектов друг с другом с учетом требуемого технологического пространства для их использования вокруг объекта (рис. 1).

Наложенные ограничения серьезно сужают количество возможных решений задачи. Выбор ограничений является важным этапом, потому как от его правильности и полноты зависит степень достоверности решений.

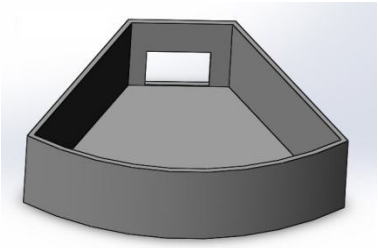


Рис 2.1 Форма объекта “Сектор”.

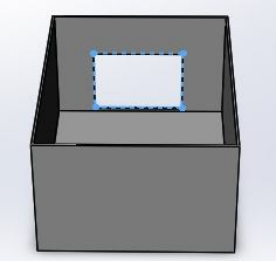


Рис 2.2 Форма объекта “Параллелепипед”.

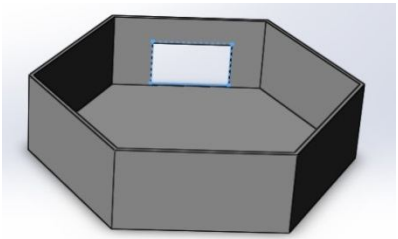


Рис 2.3 Форма объекта “Шестиугольная призма**”.**

Рис 2.4 Форма хранения “Стеллаж”.

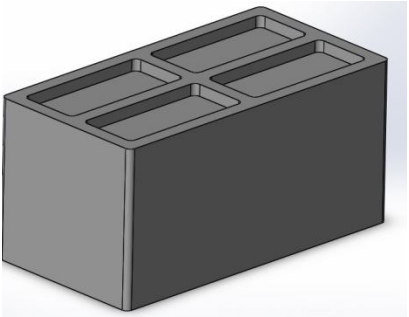


Рис 2.5 Форма хранения “Контейнер”.

1.1 Анализ задач компоновки.

Задача компоновки относится к области САПР, и главной целью является минимизация работы по перемещению соответствующих грузов внутри каждого блока логистической системы и системы в целом. При решении задачи требуется учесть множество факторов: возможные способы транспортировки, количество ярусов, на которых может располагаться необходимое оборудование; форма объектов, выбор мест разгрузки/загрузки, необходимые технологические зазоры между элементами и т.д.

Учет способов транспортировки состоит в размещении объектов по транспортной линии. Так, среди основных типов размещения (компоновки) в зависимости от типа транспорта можно выделить: компоновка в ряд, компоновка в несколько рядов, циклическая компоновка и компоновка в открытой области.

Выбор компоновки в ряд (рис. 3, поз. 2.1) имеет место быть тогда, когда объекты должны быть размещены вдоль линии. При выборе циклической компоновки (рис. 3, поз. 2.2) требуется разместить m объектов в M возможных областях размещения в замкнутой кольцевой сети, по которой детали транспортируются в одном направлении. Компоновка в открытой области (рис 3, поз. 2.3) соответствует ситуации, когда объекты могут быть размещены без условий или ограничений, которые вызваны такими вариантами расстановки, как в линию или циклически [2]. Компоновка в несколько рядов (рис.3 поз. 2.4) заключается в размещении

объектов по нескольким линиям. При этом транспортировка происходит как между объектами одного ряда, так и между рядами.

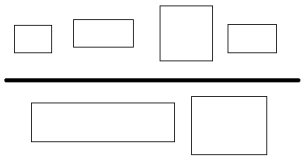


Рис 2.1 Компановка в ряд

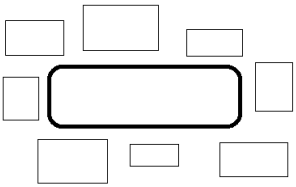


Рис 2.2 Циклическая компанова

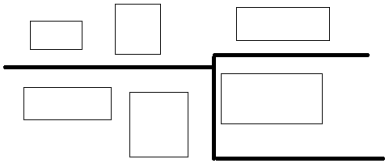


Рис 2.3 Компановка в открытой области

Рис 2.4 Компановка в несколько рядов

Рис. 3. Различные виды компоновок (поз. 2.1- 2.4).

При многоярусном размещении транспортировка будет осуществляться также и по вертикали. Для такого перемещения объектов требуется необходимый для этого транспорт.

Эта задача формулируется как определение относительного расположения объектов в многоэтажном сооружении. Количество и расположение устройств для транспортировки грузов является либо исходными данными, либо определяется в процессе оптимизации с помощью имитационного моделирования. Количество ярусов определяется в зависимости от площади и т.д.

1.2 Постановка задачи компоновки.

Задача компоновки - минимизировать затраты на транспортировку между блоками. При решении задачи используется метод теории графов.

Для определения относительного местоположения объектов при минимизации работы по перемещению можно использовать формулы (1.1), (1.2).

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{N}\sum_{l=1}^{N} f_{ik} d_{jl} X_{ij} X_{kl} \rightarrow \min \qquad (1.1)$$

При $$\sum_{j=1}^{N} X_{ij} = 1, i = \overline{1,N} \qquad (1.2),$$

где N-количество размещаемых объектов;

f_{ik}- трудоемкость транспортировки продукта от объекта *i* к *k*;

d_{jl}- технологическое пространство (рис.1)

X_{ij}=0,1-логическая переменная для определения принадлежности объекта *i* блоку *j*.

Целевая функция (1.1) представляет собой сумму временных и финансовых затрат на транспортировку объекта между каждой парой отсеков, а уравнение (1.2) показывает, что каждый объект размещен только в одном месте.

Дискретное представление компоновки (рис. 4) обычно используется для динамической задачи. В этом случае целью является размещение равных по объему объектов и выполнение

следующих ограничений: в каждом блоке размещается только один объект, каждый объект размещается только в одном блоке.

Дискретные преставления не подходят для определения точного положения объектов в заданном объеме и не позволяют моделировать соответствующие конкретные ограничения, такие как ориентация объектов, точки погрузки-разгрузки или расстояние между объектами. В таких случаях более подходящим является использование непрерывных функций. Непрерывная задача компоновки (рис. 5) часто рассматривается как задача размещения объекта в любом месте внутри заданной области при условии отсутствия пресечения между ними. Положение объекта на выделенной площади задается либо координатами геометрического центра объекта (x_i, y_i, z_i); половиной длины l_i и половиной ширины w_i, либо по координатам нижнего левого угла, длиной L_i и шириной W_iобъекта. Расстояние между двумя объектами может быть выражено как:

$$d_{ij}\left((x_i, y_i, z_i), (x_j, y_j, z_i)\right) = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| + |z_i - z_j| \quad (1.3)$$

Точки погрузки-разгрузки добавляют ограничения на решение задачи. В этом случае расстояние для перемещения объектов из точки разгрузки объекта *i* в точку погрузки j рассчитывается как:

$$d_{ij} = |x_i^O - x_j^I| + |y_i^O - y_j^I| + |z_i^O - z_j^I| \quad (1.4),$$

где (x_i^O, y_i^O, z_i^O) - координаты точки разгрузки объекта i,

(x_j^I, y_j^I, z_j^I)-координаты погрузки объекта j.

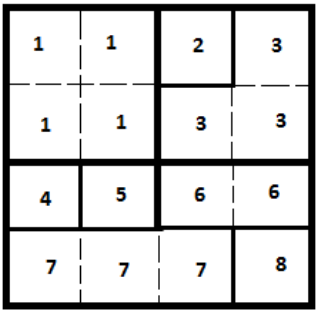


Рис. 4. Дискретное представление компоновки.

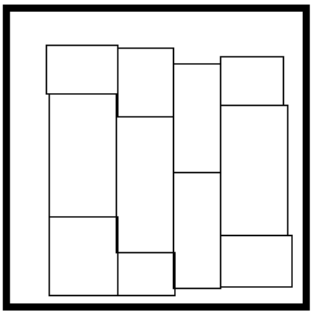


Рис. 5. Непрерывное представление компоновки.

Очевидно, что существует ограничение на площадь предоставляемой территории, т.е. общая доступная площадь должна быть больше или равна сумме площадей, занимаемых объектами. Площадь, выделенная под каждый объект на плане этажа, должна также включать пространство для других ресурсов, которые необходимы для работы объектов. Расстояние между объектами могут быть включены в поверхность объекта.

Другим очень важным ограничением является отсутствие пересечения объектов. Формулы (1.5) , (1.6) , (1.7) – условия непересечения X,Y,Z-проекции:

$$(x_{jt} - x_{ib})(x_{jb} - x_{it}) \geq 0 \qquad (1.5)$$

$$(y_{jt} - y_{ib})(y_{jb} - y_{it}) \geq 0 \qquad (1.6)$$

$$(z_{jt} - z_{ib})(z_{jb} - z_{it}) \geq 0 \qquad (1.7),$$

где $(x_{ib}, y_{ib}, z_{ib}), (x_{it}, y_{it}, z_{it})$-координаты соответственно верхнего левого и нижнего правого угла объекта *i*; $(x_{jb}, y_{jb}, z_{jb}), (x_{jt}, y_{jt}, z_{jt})$-координаты соответственно верхнего левого и нижнего правого угла объекта *j*.

Другие ограничения могут быть также рассмотрены в постановке задачи. Например, заранее определенная ориентация некоторых объектов. Наиболее универсальным способом математического моделирования компоновки является использование теории графов. Наибольшее распространение получили ориентированные графы, гиперграфы и мультиграфы. Теории графов позволяет описать структуру проектируемой системы, систему технологических связей. Однако графы не учитывают свойства размещаемых объектов.

Гиперграф: С математической точки зрения, гиперграф представляет собой пару (V,E). V — непустое множество объектов

некоторой природы, называемых вершинами гиперграфа, а E — семейство непустых, необязательно различных, подмножеств множества E, называемых рёбрами [3].

Например, в рассматриваемом случае для проживания и работы экипажа на станции нам необходимо разместить: кухню, продуктовый склад, столовую, продуктовый и пару промышленных складов, спальню и рабочую зону. С помощью гиперграфа мы сможем наглядно показать функциональную связь между различными элементами, входящими в систему (рис. 6).

,

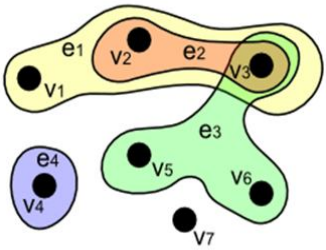


Рис. 6. Гиперграф системы обслуживания экипажа.

$E = \{e_1, e_2, e_3, e_4\} = \{\{v_1, v_2, v_3\}, \{v_2, v_3\}, \{v_3, v_5, v_6\}, v_4\}$;

$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7\}$,

где v_2 - кухня; v_3- продуктовый склад;

e_2-множество продовольственных объектов; $e_2 = \{v_2, v_3\}$.

v_1-столовая;

e_1 - множество объектов питания;

$e_1 = \{v_1, \{v_2, v_3\}\}$;

v_5- склад А; v_6-склад Б;

e_3-множество складских помещений;

$e_3 = \{v_3, v_5, v_6\}$;

v_4-спальня;

e_4-зона отдыха; $e_4 = \{v_4\}$;

v_7-рабочая зона.

Ориентированный граф - граф, рёбрам которого присвоено направление. Направленные рёбра именуются также *дугами* [4]. Ориентированный граф нам позволит не только обозначить пути перемещения, но и вычислить минимальное расстояние между вершинами множества V (рис. 7).

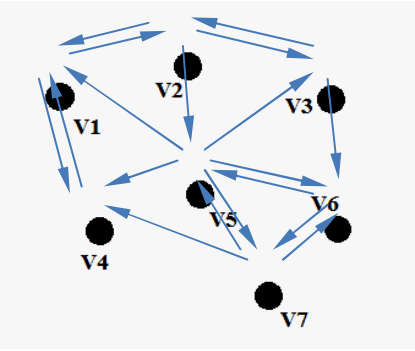


Рис. 7. Ориентированный граф системы обслуживания экипажа.

Задание свойств объектов и областей размещения, а также их взаимосвязей возможно с применение N-ориентированных графов с ограничениями. Применение данного математического аппарата позволяет абстрагироваться от конкретной предметной области и

работать с задачей компоновки некоторых объектов в заданной области.

1.3 Подходы к решению задачи.

Есть несколько типов оптимизации. Их можно разделить на точные методы (метод ветвей и границ) и приближенные подходы (эвристика и метаэвристика).

Метод ветвей и границ используется, например, для однонаправленной задачи циклической компоновки. Также такой подход применяется для решения задачи размещения нескольких объектов в пределах заданной прямоугольной области. Для этого предложены общие классы правильных неравенств, основанные на ациклическом подграфе, чтобы увеличить спектр размещаемых задач и использовать их в алгоритме ветвей и границ. Задача нахождения точек загрузки/разгрузки на объектах фиксированного размера для заданной компоновке состоит в минимизации общего расстояния материальных потоков между точками загрузки/разгрузки. Метод ветвей и границ можно использовать для решения этой задачи, однако только в случаях небольшой размерности задача может быть решена оптимально.

Поскольку точные методы часто не подходят для задач больших размерностей, многочисленные исследователи разрабатывают методы эвристики и метаэвристики. Конструирующие методы последовательно формируют множество объектов, пока не будет получен вариант компоновки. Методы

улучшения решения начинают с одного исходного решения и пытаются улучшить его с получение нового решения.

Для формализации задач компоновки и размещения элементов построим математическую модель.

Глава 2 Математическая модель компоновки космической станции.

2.1 Обобщенная постановка задачи

Для формализации задач компоновки и размещения элементов построим математическую модель. В модели мы не рассматриваем задачи транспортной логистики, сортировки и упаковки. Рассмотрим объекты исследования и их взаимодействия как множества (рис. 7)

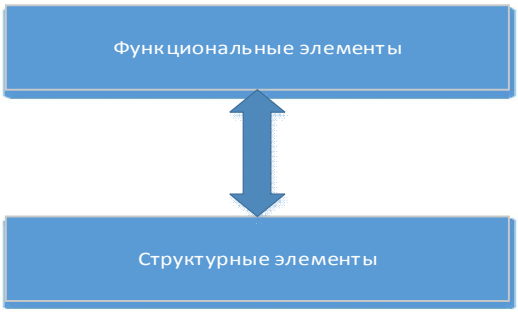


Рис. 7. Схема взаимодействия объектов.

Множество процессов, представимых как функция от времени (функциональные элементы системы):

- Транспортировка к заданному месту,

- Разгрузочные работы,
- Приемка и учет,
- Комплектовочные работы,
- Местное перемещение,
- Другие логистические задачи.

Множество объектов, представимых как функция от объема (структурные элементы системы):

- Полезный груз,
- Доки,
- Функциональные зоны,
- Транспортные и погрузочные средства,
- Пространство для свободного перемещения,
- Другие структурные элементы системы.

Рассмотрим также случай, требующий решения нетривиальной задачи (рис. 8).

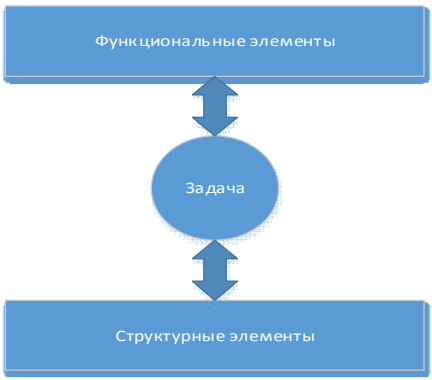


Рис. 8. Схема нетривиального взаимодействия объектов.

Попытаемся формализовать систему.

Введем термины:

Процесс – это некоторая последовательность взаимодействий элементов системы, направленная на реализацию некоторой функции системы.

Объект – это элемент взаимодействия процессов. Объектом считаем как внутренний структурный элемент системы, так и элементы взаимодействия с внешней средой.

Задача – ситуация взаимодействия двух элементов системы, требующая принятия решения.

Глава 3 Условия, в которых находится станция.

3.1 Описание условий, в которых могут находиться космические логистические системы.

Так как по определению хотя бы одна из частей космической логистической системы находится за пределами Земли, то наиболее важными факторами при разработке этих систем являются условия космоса. Части логистической системы могут располагаться как в открытом космосе, так и на поверхности (или под поверхностью) какого-либо космического тела. Такими частями могут быть как космические корабли, перевозящие грузы и людей, так и планетарные или космические базы. В этом случае важно задаться параметрами окружающей среды для каждой части космической логистической системы.

Перечислим некоторые параметры среды, требующие применения специальных технических решений. Такими параметрами являются:

- экстремальная температура среды;
- повышенный радиационный фон среды;
- гравитация, не соответствующая земной, либо её отсутствие;
- интенсивное солнечное излучение;
- крайне слабое излучение Солнца;
- магнитные поля большой напряженности;
- возможность попадания в объект логистической системы космического мусора или метеоритная угроза;
- расположение элемента логистической системы под поверхностью космического тела;
- космический вакуум или атмосфера, непригодная для жизнедеятельности человека;

3.2 Описание влияний условий среды на космические логистические системы.

Рассмотрим влияние вышеописанных условий на элементы космической логистической системы:

- Расположение компонентов космической логистической системы в зоне экстремальных температур требует специальной теплоизоляции этих компонентов или принятия иных мер, которые позволят стабилизировать температуру внутри данного компонента

до пригодной для человека. Это требование может быть реализовано с помощью установки системы термостабилизации внутри элемента логистической системы.

- Наличие повышенного радиационного фона в зоне нахождения элемента логистической системы требует применения специальных мер для нормализации фона внутри системы. Это может быть реализовано путем установки противорадиационных экранов, изготовленных из специальных материалов, или принятия иных мер.
- Присутствие компонента логистической системы в зоне гравитации требует специального оборудования, рассчитанного для работы в условиях данной среды. При отсутствии гравитации в зоне размещения компонента системы необходимо создать специальное оборудование, которое может работать в невесомости.
- Интенсивное солнечное излучение в месте нахождения компонента логистической системы позволяет использовать солнечные батареи для получения электроэнергии, но требует принятия специальных мер для предотвращения перегрева поверхности компонента;
- При недостатке солнечного света использование солнечных батарей для выработки электроэнергии невозможно и требуется искать другие решения, например, применять термоэлектрические генераторы;

- Магнитные поля большой напряженности вызывают большие наведенные токи в проводящих элементах компонента логистической системы при их перемещении в поле, что приводит к сильному нагреву элементов. Требуется использование специальных немагнитных материалов для таких компонентов.
- Космический мусор и метеориты представляют достаточно большую угрозу для целостности и функционирования элемента космической логистической системы.
- Расположение элемента логистической системы под поверхностью космического тела требует принятия специальных технических решений, позволяющих осуществлять ремонт этого элемента;
- Космический вакуум или агрессивная атмосфера требует использования специальных узлов и агрегатов, рассчитанных на эксплуатацию в данных условиях, а также полной или частичной герметизации компонента логистической системы при необходимости.

Анализируя полученные требования, можно констатировать, что почти для каждого компонента космической логистической системы требуется применение специальных технических решений, в зависимости от того, где этот компонент собирается, как транспортируется и где располагается в рабочем состоянии.

3.3 Описание условий, в которых находится станция.

Для описания условий среды необходимо рассмотреть строение Солнца [5] (рис. 9). Центральная часть Солнца с радиусом

примерно 150-175 тыс. км, в которой идут термоядерные реакции, называется солнечным ядром. Плотность вещества в ядре составляет примерно 150 000 кг/м^3, а температура в центре ядра – более 14 млн.К, давление в 200 миллиардов раз выше, чем у поверхности Земли. Над ядром, на расстоянии примерно от 0,2 до 0,7 радиуса Солнца от его центра, находится зона лучистого переноса. В этой зоне перенос энергии происходит главным образом с помощью излучения и поглощения фотонов. Перепад температур в данной зоне составляет от 2 до 7 млн.К.

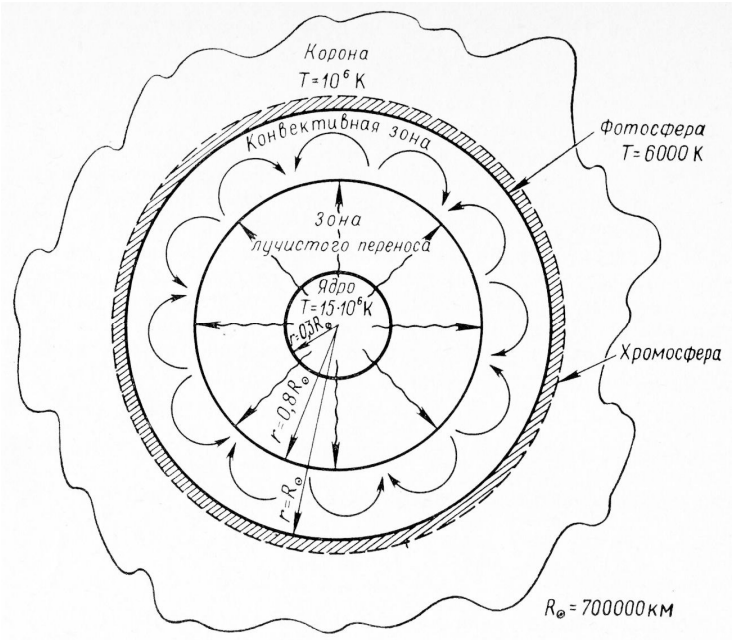


Рис. 9. Строение солнца (в разрезе).

Подповерхностный слой Солнца толщиной примерно 200 000 км называется конвективной зоной. По мере приближения температура падает в среднем до 5800К.

Фотосфера образует видимую поверхность Солнца. Толщина слоя достигает, по разным оценкам, от 100 до 400км. Температура по мере приближения к внешнему краю фотосферы уменьшается с 6600К до 4400К.

Хромосфера – внешняя оболочка Солнца толщиной около 2000км, окружающая фотосферу. Температура хромосферы увеличивается с высотой от 6000 до 20000К

Корона – последняя внешняя оболочка Солнца. Средняя корональная температура составляет от 1 млн. до 2 млн.К, а максимальная в отдельных участках - от 8 млн. до 20 млн.К.

Ускорение свободного падения на экваторе 274,0 м/с². [3]

Таким образом, станция должна выдерживать экстремальное давление и температуру в 15 млн.К, а также гравитационные перегрузки.

Глава 4. Разработка конструкции станции и ее компоновки.

4.1 Система управления станцией.

Система управления станцией состоит из вычислительной системы станции, системы управления аппаратурой и системы управления движением и навигацией. В задачи системы управления входит:

- организация распределения электропитания;

- управление элементами конструкции;
- логическая обработка командной и телеметрической информации и управление бортовыми системами станции;
- ориентация и стабилизация станции;
- обеспечение стыковок, перестыковок и расстыковок с кораблями и модулями.

4.2 Система обеспечения жизнедеятельности станции и экипажа.

Система обеспечения жизнедеятельности стации и экипажа состоит из системы обеспечения теплового режима (СОТР), системы электроснабжения (СЭС), системы связи, системы обеспечения жизнедеятельности (СОЖ) [6]. В задачи системы входит:

- поддержание состава газовой среды обитания в обитаемых отсеках;
- потребление экипажем пищевых продуктов и питьевой воды;
- утилизация отходов;
- защита органов дыхания экипажа в случае аварийной ситуации;
- поддержание необходимого температурно-влажностного режима;
- обеспечение электроэнергией всех систем;
- обеспечение связи.

4.3 Складской модуль.

Складской модуль предназначен для хранения расходуемых материалов, резервных блоков и агрегатов, а также и запасов питания.

4.4 Решение задачи размещения составных частей станции.

Решаем задачу размещения составных частей станции по аналогии с решением задачи проектирования складского комплекса [7]. Предложим общую компоновку станции по уровням (рис.10.1-10.3):

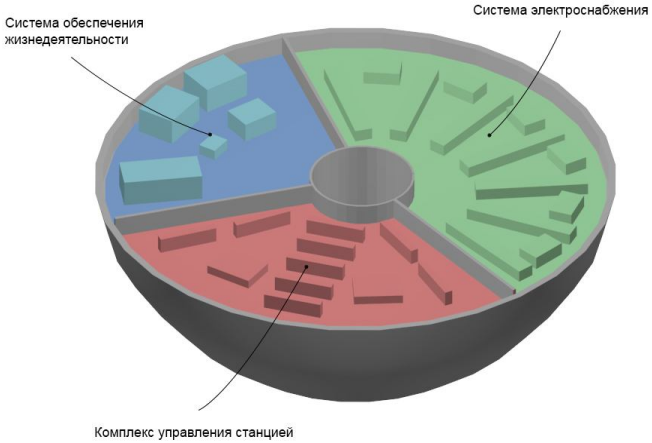


Рис. 10.1 Первый уровень станции.

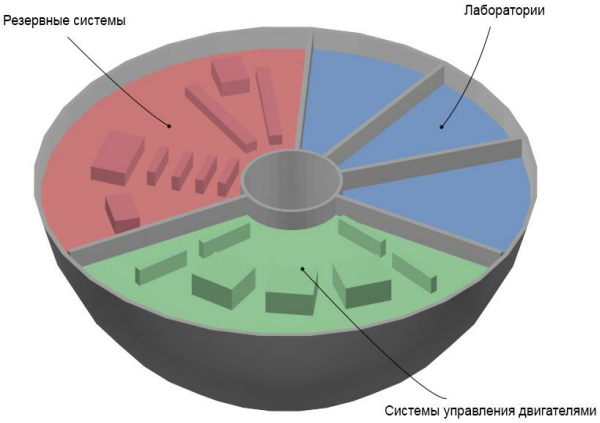


Рис. 10.2 Второй уровень станции.

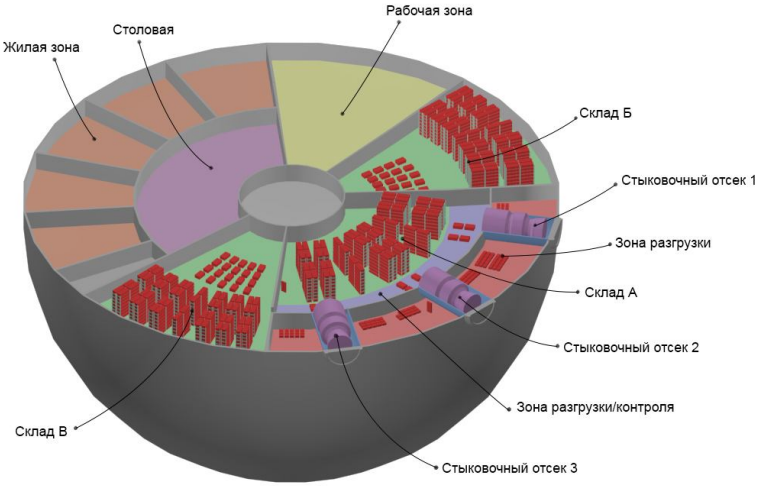


Рис. 10.3 Третий уровень станции.

4.5. Решение задачи размещения объекта на складе.

При проектировании складского комплекса, прежде всего, необходимо учитывать особенности груза, которые во многом определяют технологию, а также характеристики входных и выходных грузопотоков и необходимый товарный запас, задающие объем хранения.

Как и на любом складском комплексе, на космическом складе существуют зоны разгрузки, контроля, хранения, консолидации. Основными проблемами при проектировании космического склада являются:

1) выбор способа хранения объектов, поступающих на склад,
2) выбор тары для хранения этих объектов,
3) выбор способа и оборудования для перемещения объектов по складу.

Выберем способ хранения и тару для объектов на складе. В земных условиях товары на складе могут храниться на стеллажах, в шкафах или быть сложены в штабели. Наиболее распространенная тара для хранения – поддон, а также могут использоваться специальные ящики. Для космического склада в отсутствии гравитации наиболее удобно хранить объекты в специальных стойках, в которые устанавливаются и фиксируются ящики или коробы с товарами. Стойки могут быть изготовлены по принципу стеллажных конструкций (рис. 2.4). В такие стойки могут устанавливаться специальные ящики для хранения (рис. 2.5).

Установку и перемещение ящиков могут осуществлять сами космонавты, но более эффективно использование специальных роботов. Ниже представлена возможная схема работы такого робота и сам робот (рис. 10).

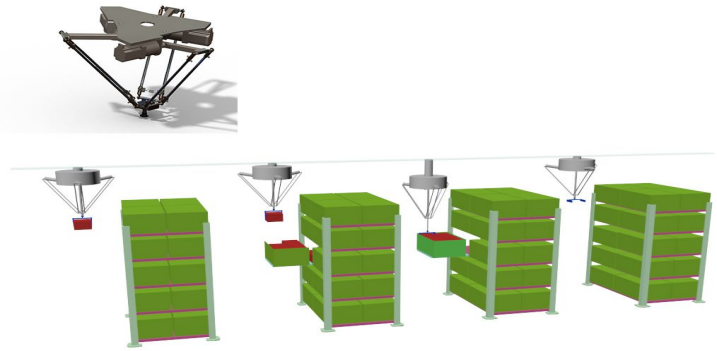


Рис. 10. Схема работы робота, который перемещает ящики с грузами.

Глава 5. Строительство станции и ее снабжение.

При проектировании космической логистической системы необходимо решить задачи строительства элементов этой системы и последующего их снабжения. Сборка такого объекта как станция на Земле невозможна из-за ее габаритов и массы, поэтому необходимо определить место, где сборка станции будет оптимальна. Одновременно с определением места сборки станции можно решить задачу снабжения. Оптимально производить сборку станции ближе к месту ее рабочего расположения. Ближайшая к Солнцу планета – Меркурий. По своим физическим характеристикам Меркурий напоминает Луну. У него нет естественных спутников,

но есть очень разреженная атмосфера. Планета обладает крупным железным ядром (83% от всего объема планеты), являющимся источником магнитного поля. Температура на поверхности Меркурия колеблется от 90К на темной стороне и до 700К на солнечной стороне [7], [8].

Удобнее всего собрать станцию на орбите Меркурия из-за низкой гравитации, а затем переместить ее внутрь Солнца. Каркас станции необходимо собирать из отдельных блоков. Для удобства сборки сферу лучше всего собирать из шестиугольных блоков. Внешнюю сторону сферы необходимо покрыть нейтронным веществом для защиты от сверхвысоких температур. Также на поверхности Меркурия необходимо построить базу, которая будет обеспечивать сборку станции, а после ввода станции в эксплуатацию – ее снабжение. База на Меркурии необходима из-за большого расстояния между Землей и Солнцем и различных технических требований к космическим кораблям, которые смогут доставлять грузы внутрь Солнца от Меркурия и которые обеспечат доставку грузов с Земли на Меркурий.

Полет к Меркурию от Земли занимает примерно 105 суток по гомановской траектории при его среднем расстоянии от Солнца 0,387 а.е. и требует начальную скорость 13,5км/с [9] (рис. 11).

Рис. 11. Ближайшее планетное окружение Солнца.

При полете по гомановской траектории планетоцентрическая скорость входа космического аппарата в сферу действия Меркурия равна 9,611км/с. Скорость падения на поверхность планеты 10,509км/с. Всю указанную скорость необходимо погасить с помощью тормозной двигательной установки, которая должна быть двух- или трехступенчатой. Суммарная характеристическая скорость для старта с поверхности Земли оказывается равной 26,2км/с, а для старта с орбиты на высоте 200 км. – 16,7 км/с.

Для выхода на низкую круговую орбиту при полете к Меркурию по гомановской траектории необходим тормозной импульс 7,5км/с. Это дает суммарную характеристическую скорость при старте с поверхности Земли 22,6км/с, при старте с околоземной орбиты - 13,06км/с. Фактическое значение этих величин должно быть больше на несколько километров в секунду из-за наклона и существенного эксцентриситета орбиты Меркурия. Полет от Меркурия до Солнца предварительно займет 70 суток.

Альтернативным вариантом может быть сборка солнечной станции на орбите Луны и ее последующая транспортировка.

Третьим вариантом может быть создание промежуточной базы на орбите, совпадающей с орбитой Меркурия. Этот вариант более эффективен с точки зрения затрат топлива, т.к. не придется гасить скорость корабля при посадке на планету, но он сложнее из-за требований, предъявляемых к базе вне планеты.

Заключение.

В результате исследования разработаны подходы математического моделирования космических станций, основанные на применении теории графов, формировании ограничений и их учета при решении задачи компоновки. Разработанная в рамках данного подхода обобщенная структура математической модели компоновки объектов учитывает множество параметров размещаемых объектов, характеристику областей размещения и много другое. Эти множества могут быть расширены за счет добавления новых значимых параметров и характеристик.

Разработанные принципы пригодны для практического использования при математическом моделировании логистического взаимодействия космических станций и летательных аппаратов, для проектирования контейнеров, транспортной инфраструктуры складских и производственных блоков как внутри летательных аппаратов, планетарных станций, так и расположенных внутри Солнца.

Внедрение математического моделирования при реальной разработке позволит ускорить получение проектных решений при проектировании всей цепочки доставки и размещения необходимых грузов, а также удешевить затраты на транспортировку.

Основные выводы и результаты работы:

1. Разработан подход к математическому моделированию компоновки космических объектов, основанный на применении обобщённой структуры математической модели и метода формирования ограничений и их учета при решении задачи.
2. Разработана обобщенная структура математической модели, основанная на применении теории графов.
3. Определены возможные условия, в которых могут находиться части космических логистических систем.
4. Определены влияния этих условий на космические логистические системы.
5. Разработаны методы построения космических логистических систем.

Литература:

1. ru.wikipedia.org
2. dn.tstu.ru
3. www.imbp.ru
4. http://traditio-ru.org
5. http://www.astronaut.ru

Численно-аналитическое моделирование деформирования систем, работающих на изгиб в условиях развитых пластических зон

ДЕМИН Константин Владимирович
г. Москва, ГОУ Лицей №1580, 11 класс

Научный руководитель:
Чернятин Александр Сергеевич,
к.т.н., доцент кафедры
«Прикладная механика»
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Введение.

Наличие пластических зон в конструкции не всегда означает потерю несущей способности, так как в наиболее нагруженных областях может оставаться упругое ядро и, как правило, имеются избыточные внешние связи, приводящие к перераспределению нагрузок. Для того чтобы дать точную оценку прочности конструкции, необходимо уметь анализировать и оценивать размеры зон пластического деформирования и их влияние на напряжённо-деформированное состояние и несущую способность конструкции.

Пластические деформации в отличие от упругих не являются обратимыми, то есть не исчезают после снятия нагрузки,

и их появление практически для любых технических систем является негативным фактором. Однако возникновение пластических деформаций, зон пластического деформирования, как правило, ещё не означает, что конструкция больше не сможет работать. В связи с этим вводится понятие несущей способности, то есть возможности конструкции воспринимать нагрузку до того момента, как точки (зоны) приложения нагрузок не станут беспрепятственно перемещаться вследствие пластического деформирования. Так, при достижении состояния близкого к предельному, дальнейшее увеличение нагрузок не приведёт к увеличению сопротивления материала конструкции, которое обусловлено зонами упругого деформирования. Таким образом, для оценки предельных величин нагрузок необходимо изучение поведения конструкции в упругопластическом состоянии.

Аналитическое решение упругопластических задач фактически невозможно ввиду ряда сложностей, за исключением некоторых достаточно простых частных случаев (модельных задач). Например, упругопластический изгиб консольной балки, который изучается в работе. В работе проводится численное решение задачи с помощью компьютерного моделирования.

Целью данной работы является разработка алгоритма и программы в среде Matlab для моделирования пластических деформаций в технических объектах. В связи с этим ставятся следующие задачи:

1) аналитическое решение модельной задачи об определении упругопластических деформаций в консольной балке;

2) разработка численного алгоритма, позволяющего поэтапно отслеживать образование пластических деформаций.

Решение первой задачи позволит верифицировать разработанную на основе алгоритма программу. Несмотря на геометрическую простоту самой задачи, тем не менее, для её решения потребуется привлечение интегрального исчисления, не говоря о самой нелинейности этой задачи и сложных механических процессах, происходящих в конструкции при упругопластическом поведении.

В дальнейшем разработанная программа может быть использована в курсах сопротивления материалов и теории пластичности для более глубокого изучения вопросов пластического деформирования.

Модельная задача.

1. Постановка задачи.

В рамках рассматриваемой задачи (рис. 1) необходимо:

- определить угол поворота при упругопластической деформации консольной балки,

- выявить функциональную зависимость этой величины от силы, действующей на консольную балку, и построить график этой зависимости.

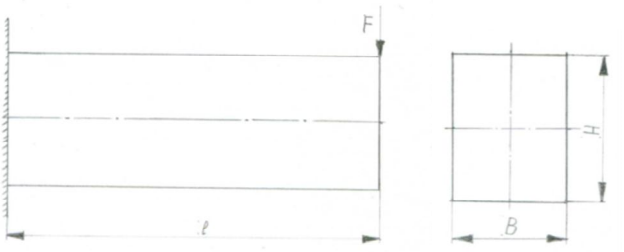


Рис. 1. Расчетная схема консольной балки, где l – длина балки; F – сила, действующая на балку, B –ширина балки; H – высота балки.

2. Допущения.

Для успешного решения задачи, несмотря на всю её сложность, необходимо ввести некоторые допущения и упрощения расчётной модели, такие как:

- *Идеализация материала.* Рассматривается идеально упругопластический материал (рис. 2). При малых деформациях, до напряжения σ_T, называемого пределом текучести, происходит упругое деформирование, соответствующее закону Гука: напряжения прямо пропорциональны деформациям.

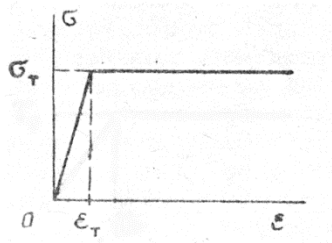


Рис. 2. Диаграмма растяжения идеального упругопластического материала

Если деформация превышает значения $\varepsilon_т$, то имеет место пластическое течение при постоянном напряжении $\sigma_Т$. Таким образом, участок упрочнения вообще отсутствует.

- *Гипотеза о плоских сечениях.* Плоские сечения, являющиеся до деформации нормальными к оси стержня и плоскими, остаются такими же, (то есть нормальными и плоскими) и после деформации. В действительности, даже при упругом изгибе сечения искажаются в самой плоскости, то есть меняется их форма.

- *Гипотеза о малости деформаций и принцип начальных размеров*. Гипотеза о малости деформаций гласит, что для всякого твердого тела линейные и угловые деформации малы, то есть значительно меньше единицы. В результате, в стержневых конструкциях и рамах, когда длины участков значительно больше размеров сечений, перемещения сечений оказываются значительно меньше размеров конструкции (участков). На основании этого становится справедливым принцип начальных размеров.

Принцип начальных размеров утверждает, что при составлении уравнений равновесия деформированного тела можно пренебречь его деформацией и рассматривать тело как жесткое, недеформированное, имеющее те же размеры, какие оно имело до нагружения.

Таким образом, для обеспечения корректности предложенных принципов необходимо, чтобы пластические деформации не достигали значительных величин.

Аналитическое решение задачи.

1. Применение метода сечений.

Суть метода сечений следующая: балка мысленно рассекается на две части и рассматривается только одна ее часть, а воздействие на нее другой заменяется соответствующими внутренними усилиями (факторами), которые определяются из условия статического равновесия рассматриваемой части. При прямом поперечном изгибе, который реализуется в консольно нагруженной балке, в поперечных сечениях действуют поперечная сила и изгибающий момент.

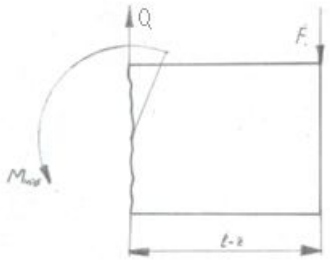


Рис. 3. Метод сечений для консольной балки, где Q – поперечная сила и $M_{изг}$ – изгибающий момент, действующие в сечении балки; z – расстояние от заделки до рассматриваемого сечения.

Итак, применяя метод сечений (рис. 3), получаем следующие уравнения статики:

$$\begin{aligned} Q &= F \\ M_{изг} &= Q(l-z) = F(l-z) \end{aligned} \qquad (1)$$

2. Напряжения в поперечных сечениях

Рассмотрим консольную балку (рис. 4), на которую действует некоторая сила F, величина которой приводит к образованию пластических деформаций. В балке можно выделить два участка: с чисто упругим и упругопластическим деформированием. В последнем образуется упругое ядро, благодаря которому балка не теряет несущей способности. Очевидно, что образование пластических зон будет проходить симметрично – сверху и снизу балки.

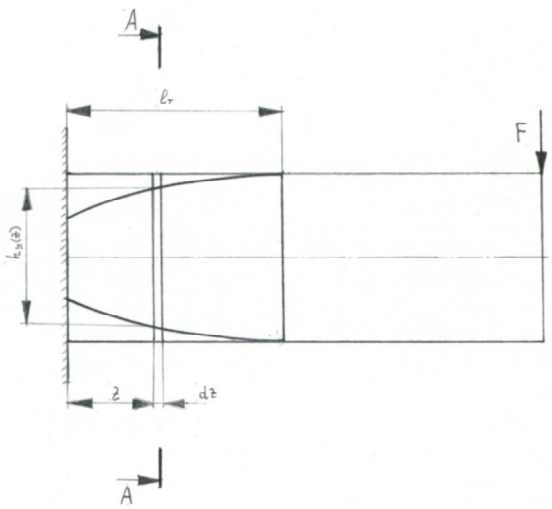


Рис. 4. Расчетная схема консольной балки с учетом образующейся пластической зоны, где $l_т$ – длина участка упругопластического деформирования (участка текучести), $h_y(z)$ – высота упругого ядра, на расстоянии z.

Рассмотрим сечение А-А (рис. 4) консольной балки, находящееся на расстоянии z от заделки. Нормальное напряжение в

зонах с пластическими деформациями равно, согласно модели материала, пределу текучести $\sigma_т$. (рис. 5). Тогда как в упругом ядре, как и при обычном изгибе, напряжения распределяются по высоте согласно линейному закону.

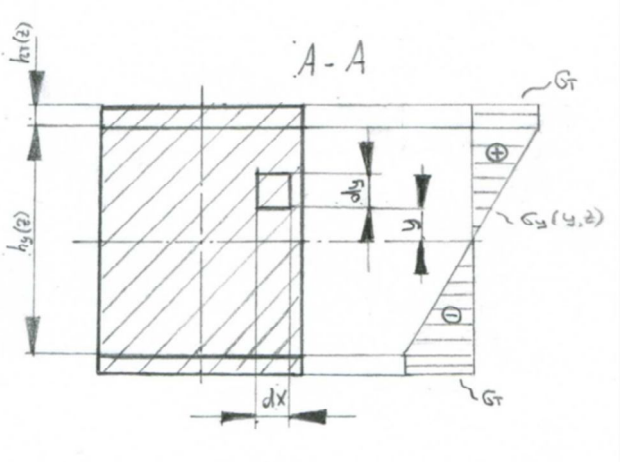


Рис. 5. Сечение балки А-А и эпюра напряжений, где σ(y,z) – напряжение в точке сечения, имеющей координату y, $h_т(z)$ – высота слоя текучести.

Таким образом, напряжение можно представить, как кусочно-линейную функцию, исходя из эпюры напряжений (рис. 5):

$$\sigma_z = \begin{cases} \sigma_т, & \frac{h_y}{2} < y \le \frac{H}{2} \\ \sigma_y, & -\frac{h_y}{2} \le y \le \frac{h_y}{2} \\ -\sigma_т, & -\frac{H}{2} \le y < -\frac{h_y}{2} \end{cases} \qquad (2)$$

3. Взаимосвязь между изгибающим моментом и напряжениями в сечении.

Выделим предельно малый участок площади dA (элементарную площадь) в сечении, где dx и dy – это стороны этого участка, y – расстояние между элементарной площадью и горизонтальной осью симметрии x. Тогда изгибающий момент можно записать через двойной интеграл:

$$M_{изг}(z) = \iint_A dM \,, \qquad (3)$$

где dM – изгибающий момент предельно малой величины (элементарный момент), обусловленный действием нормального напряжения на площадке dA.

По определению, напряжение – это отношение силы, действующей на некоторую площадку, к ее площади. Следовательно, элементарная сила в площадке dA:

$$dF = \sigma_z dA$$

Момент – это произведение силы на плечо. Поэтому:

$$dM = dFy$$

Так как dA = dxdy, то формула (3) приобретает следующий вид:

$$M_{изг}(z) = \iint_{xy} \sigma_z y dx dy$$

Или с учётом размеров сечения:

$$M_{изг}(z) = \int_{-\frac{H}{2}}^{\frac{H}{2}} \left(\int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} \sigma_z y dx \right) dy \qquad (4)$$

Пропуская математические выкладки после подстановки (2) в (3), получим выражение для изгибающего момента, действующего в сечении на участке упругопластического деформирования:

$$M_{изг}(z) = \frac{B\sigma_т \left(3H^2 - h_y{}^2\right)}{12}$$

Сопоставляя соотношения (1) и (4), получаем следующее выражение:

$$\frac{B\sigma_т \left(3H^2 - h_y{}^2\right)}{12} = F(l - z) \qquad (5),$$

на основе которого можно определить высоту упругого ядра в произвольном сечении с координатой z на участке упругопластического деформирования. Также можно определить его протяжённость (определить положение границы между упругим участком и упругопластическим), положив $z = l_т$, $h_y = H$, и выразив $l_т$:

$$l_{т} = l - \frac{B\sigma_{т}H^2}{6F} \qquad (6)$$

4. Сила начала текучести и предельная сила для консольной балки

Посчитаем силу $F_{Т}$, при которой в системе образуются первые пластические деформации. Этому случаю соответствует $l_{т}$ =0. Поэтому, исходя из формулы (6), имеем:

$$F_{т} = \frac{B\sigma_{т}H^2}{6l}$$

Теперь рассмотрим предельный случай, при котором балка теряет несущую способность и превращается в механизм. При этом $h_{у} = 0$ (рис. 6). Наиболее нагруженным сечением, согласно (1), будет являться сечение у заделки.

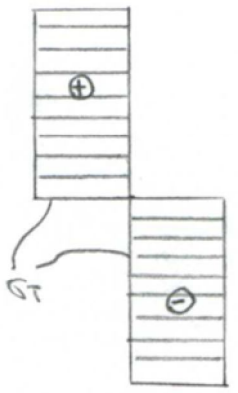


Рис. 6. Эпюра напряжений в сечении у заделки, охваченного полностью пластическими деформациями, что соответствует предельному случаю.

По аналогии с предыдущими вычислениями, используя формулы (1), (2) и (4), получаем:

$$M_{пр} = \int\limits_{-\frac{H}{2}}^{0} \left(-\sigma_{т}\right) y dA + \int\limits_{0}^{\frac{H}{2}} \sigma_{т} y dA = \frac{B\sigma_{т}H^{2}}{4},$$

$$M_{пр} = F_{пр}\left(l - z^{*}\right) \xrightarrow[z^{*}=0]{} F_{пр} = \frac{M_{пр}}{l} = \frac{B\sigma_{т}H^{2}}{4l}$$

Таким образом, найденная величина предельной силы и будет определять несущую способность рассматриваемой консольной балки. Сопоставляя величины $F_{Т}$ и $F_{пр}$, можно отметить, что после появления первых пластических деформаций сопротивление балки внешней нагрузке F уменьшилось.

5. Искривление участка с упругопластическим деформированием.

Консольную балку можно разбить на два участка: ОТ и ТК, с упругопластическим и упругим состояниями, соответственно. Первый имеет длину $l_{Т}$, а второй $l-l_{Т}$. Определим угол поворота $\theta_{ОТ}$ сечения, являющегося границей двух участков балки, то есть определим искривление участка с упругопластическим состоянием. Начнём с того, что рассмотрим предельномалый участок консольной балки длины dz, мысленно считав, что одно сечение закреплено и определим угол поворота другого (рис. 7) под действием изгибающего момента.

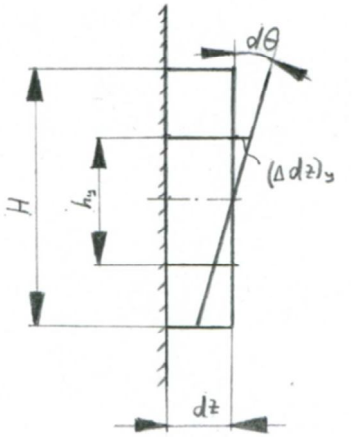


Рис. 7. Бесконечно малый элемент консольной балки.

Так как гипотеза о плоских сечениях остается справедливой, то при упругопластической деформации грань участка (правое сечение) балки останется плоской и перпендикулярной к оси балки, повернувшись на угол dθ от первоначального положения. Так как угол dθ в виду гипотезы о малости деформаций предельно мал, то:

$$d\theta \approx tgd\theta$$

Но тангенс – это отношение противолежащего катета к прилежащему:

$$d\theta = \frac{(\Delta dz)_y}{(h_y / 2)}$$

Вспомним, что линейная деформация – это предел отношения приращения длины отрезка к его первоначальной длине, при длине отрезка, стремящейся к нулю. Следовательно,

$$\varepsilon_z^y = \frac{(\Delta dz)_y}{dz} \Rightarrow (\Delta dz)_y = \varepsilon_z^y dz$$

Данная деформация представлена для слоя, разделяющего упругое ядро и пластическую зону, для которого справедливы следующие условия: $h=h_y$ и $\sigma=\sigma_т$. Воспользовавшись законом Гука, в итоге найдём изменение длины данного слоя:

$$\varepsilon_z = \frac{\sigma_z}{E} \Rightarrow \varepsilon_z^y = \frac{\sigma_т}{E} \Rightarrow (\Delta dz)_y = \frac{\sigma_т}{E} dz$$

Тогда для угла $d\theta$ получаем:

$$d\theta = \frac{2\sigma_т dz}{Eh_y}$$

Выразим из формулы (5) высоту упругого ядра:

$$h_y = \sqrt{3H^2 - \frac{12F(l-z)}{B\sigma_т}}$$

и получим величину бесконечно малого искомого угла для произвольного сечения с координатой z, около которого и выделяется бесконечно малый элемент балки:

$$d\theta = \frac{2\sigma_т dz}{E\sqrt{3H^2 - \frac{12F(l-z)}{B\sigma_т}}}$$

Чтобы определить угол поворота сечения, разграничивающего два участка, необходимо просуммировать все элементарные повороты на участке $l_Т$, то есть вычислить интеграл:

$$\theta_{OT} = \int_0^{l_т} d\theta = \frac{\sigma_т{}^2 B}{3EF}\left(\sqrt{3H^2 - \frac{12F(l-l_т)}{\sigma_т B}} - \sqrt{3H^2 - \frac{12Fl}{\sigma_т B}}\right) \qquad (7)$$

6. Искривление участка с упругим деформированием.

При упругих деформациях угол dθ можно посчитать, воспользовавшись формулой:

$$d\theta = \frac{M_{изг} dz}{EJ_x},$$

где момент инерции прямоугольно сечения балки равен:

$$J_x = \frac{BH^3}{12}$$

В свою очередь изгибающий момент $M_{изг}$ можно найти, воспользовавшись формулой (1). Тогда получим выражение для dθ:

$$d\theta = \frac{12F(l-z)dz}{EBH^3}$$

Производя интегрирование по упругому участку (l-$l_т$), можно определить взаимный поворот концевого сечения балки по отношению к сечению, разграничивающему два участка:

$$\theta_{TK} = \int_{l_т}^{l} d\theta = \frac{6F(l-l_т)^2}{EBH^3} \tag{8}$$

7. Угол поворота концевого сечения балки.

Поворот концевого сечения по отношению к заделке можно вычислить посредством сложения ранее найденных углов θ_{OT} и θ_{TK}, по формулам (7) и (8). В результате этого получаем:

$$\theta_{OK} = \frac{\sigma_т^{\,2} B}{3EF}\left(\sqrt{3H^2 - \frac{12F(l-l_т)}{\sigma_т B}} - \sqrt{3H^2 - \frac{12Fl}{\sigma_т B}}\right) + \frac{6F(l-l_т)^2}{EBH^3}$$

Принимая во внимание выражение (6) для длины упругопластического участка:

$$\theta_{OK} = \frac{\sigma_т^{\,2} B}{3EF}\left(H - \sqrt{3H^2 - \frac{12Fl}{\sigma_т B}}\right) + \frac{\sigma_т^{\,2} HB}{6FE} \tag{9}$$

На рис. 8 представлен график зависимости угла поворота концевого сечения, рассчитываемого по формуле (9), от приложенной внешней силы F для определённых значений параметров задачи. На нём виден прямолинейный участок, соответствующий упругому деформированию по всей длине балки,

и не линейный, свидетельствующий о том, что в балке развиваются пластические деформации. И чем больше F по сравнению с F_T, тем круче график, то есть сопротивление балки (за счёт упругого ядра на участке l_T) уменьшается. Наконец, достигнув величины $F_{пр}$, в сечении у заделки упругого ядра вовсе не остаётся и здесь образуется так называемый «пластический шарнир», относительно которого балка начинает беспрепятственно поворачиваться, превращаясь в механизм. В данный момент можно сказать, что система исчерпала несущую способность.

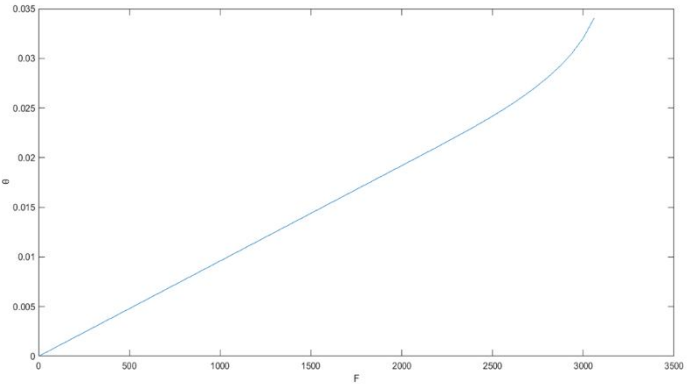


Рис. 8. График зависимости угла поворота консольной балки от силы.

Численный алгоритм решения задачи.

Разобьем консольную балку на небольшие прямоугольные области, размерами dz и dy (соответственно, длина и ширина прямоугольников). Введем прямоугольную систему координат

отсчёта узлов (i, j) вдоль оси y и z – с центром в левом верхнем углу балки (рис. 9). По сути, j – номер сечения балки, а i – номер слоя. Пусть M и N – количество узлов по горизонтали и вертикали, соответственно. Не представляет затруднений установить следующие соотношения для dz, dy, а также для координат z и y произвольного (i, j)-го узла:

$$dz = \frac{l}{M-1}$$
$$dy = \frac{H}{N-1}$$
$$z = dz(j-1)$$
$$y = \frac{H}{2} - (i-1)dy$$

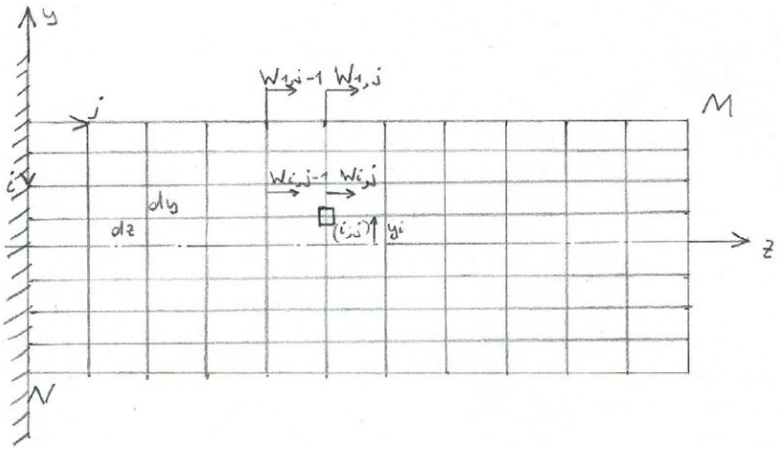


Рис. 9. Консольная балка и сетка узлов.

Получим $M_{изг}$ в произвольном сечении балки. Так как, $dF = \sigma_i dA$; $dM = dFy_i$, то

$dM = \sigma_i dAy_i$, но $dA = Bdy$ (B – ширина бруса), тогда:

$$M_{изг} = \sum_{i=1}^{N} \sigma_i B dy \cdot y_i \qquad (10)$$

Исходя из закона Гука и определения относительной (линейной) деформации, выразим напряжение в i-ом слое через перемещения узлов w вдоль оси z:

$$\sigma_i = E\varepsilon_i = E\frac{w_{i,j} - w_{i,j-1}}{dz} \qquad (11)$$

В виду принятой гипотезы о плоских сечениях, при изгибе балки узлы, имеющие одинаковый номер j будут оставаться на одной линии (рис. 10). Из пропорциональности сторон подобных треугольников выразим перемещение узла (i, j):

$$w_{i,j} = w_{1,j}\frac{y_i}{(H/2)}.$$

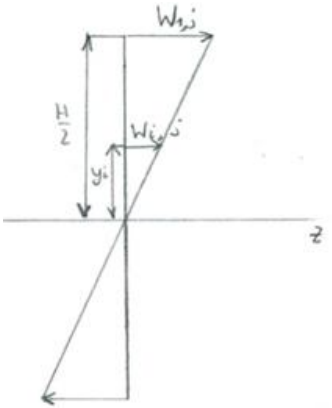


Рис. 10. Перемещения узлов сечения.

Подставим в формулу (11) полученное выражение для перемещения:

$$\sigma_i = \frac{2E}{Hdz}\left(w_{1,j} - w_{1,j-1}\right)y_i \qquad (12),$$

Далее сделаем подстановку в формулу (10) и учтём формулу (1), в результате получаем следующее соотношение:

$$\frac{2BEdy}{Hdz}\left(w_{1,j} - w_{1,j-1}\right)\sum_{i=1}^{N} y_i^{\,2} = F\left(l - z\right) \qquad (13)$$

Введем для произвольного j-го сечения одномерный массив A длиной N, элементы которого равны 1, если напряжение в i-м

узле не равно $\sigma_т$ (то есть узел располагается в границах упругого ядра) и равны 0 - в противном случае (рис. 14).

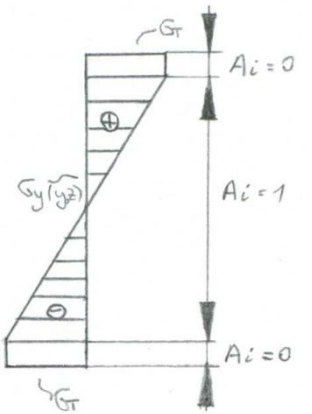


Рис. 11. Эпюра напряжений в балке при упругопластическом деформировании и значения элементов вектора А.

Перепишем формулу (13) с учетом А и включим ещё одно слагаемое, которое позволяет учесть вклад в изгибающий момент напряжений, равных пределу текучести в пластической зоне. Тогда:

$$\frac{2BEdy}{Hdz}\left(w_{1,j}-w_{1,j-1}\right)\sum_{i=1}^{N}A_i(j)y_i^2+Bdy\sigma_T\sum_{i=1}^{N}\left(1-A_i(j)\right)y_i=F\left(l-z\right)$$

$$s_1=\sum_{i=1}^{N}A_i(j)y_i^2 \qquad (14)$$

$$s_2=\sum_{i=1}^{N}\left(1-A_i(j)\right)y_i$$

где s1 отвечает за упругие деформации, а s2 - за пластические. Слагаемое с s2 достаточно просто сформировать, по аналогии с первым слагаемым, за тем лишь отличием, что напряжение

постоянно и не зависит от деформации. Нетрудно удостовериться, что рассматриваемое соотношение корректно, поскольку в частных случаях позволяет получить такие же формулы, сделав предельный переход для F_T и $F_{пр}$, которые были определены в предыдущем параграфе.

Итак, соотношение (14) позволяет определить перемещение узла (1,j), располагающегося на поверхности балки в j-м сечении, через перемещение соседнего по слою узла (1,j-1):

$$w_{1,j} = w_{1,j-1} + \frac{HdzF(l-z)}{2BEdys_1} - \frac{\sigma_т Hdzs_2}{2Es_1} \qquad (15)$$

Таким образом, можно предложить алгоритм поэтапного определения перемещений на поверхности балки: начиная от заделки, где $w_{1,1}=0$, и заканчивая концевым сечением, определяя $w_{1,M}$. При этом на каждом шаге (для каждого текущего сечения) необходимо вычислять напряжения во всех точках сечения по формуле (12) и формировать на основе этого вектор A.

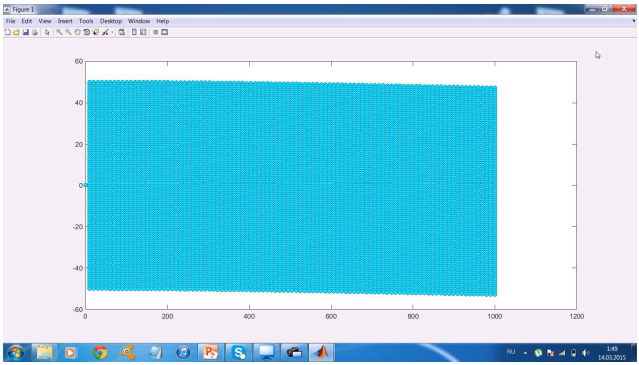
Отметим, что поворот концевого сечения балки, в итоге, можно найти как:

$$\theta_{KO} = \frac{w_{1,M}}{H/2}.$$

Программа визуализации процесса образования пластических зон и проверка результатов

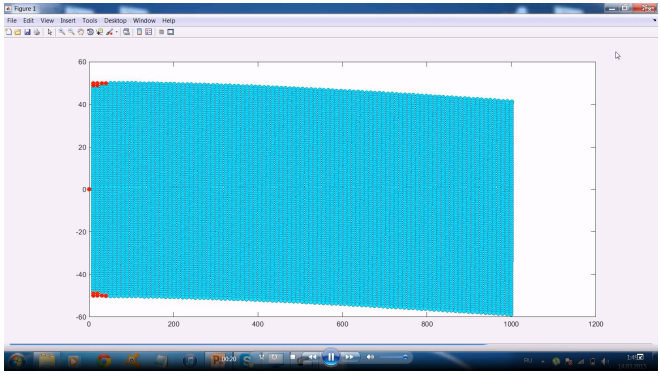
В среде Matlab была разработана программа, реализующая описанный в предыдущем параграфе алгоритм последовательного

вычисления продольных перемещений точек (узлов) балки. Она позволяет вычислять данные перемещения для всей совокупности узлов балки, а также визуализировать процесс образования пластической зоны при упругопластическом изгибе балки. На рис. 12 представлены различные этапы нагружения балки и состояние материала в её точках. В результате действия силы F на балку возникли зоны с пластическими деформациями, окрашенные в красный цвет. Так же данные рисунки наглядно показывают деформированное состояние рассмотренной балки.



а)

б)



в)

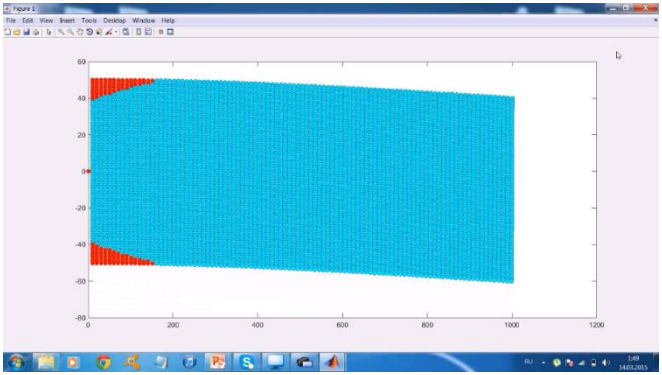
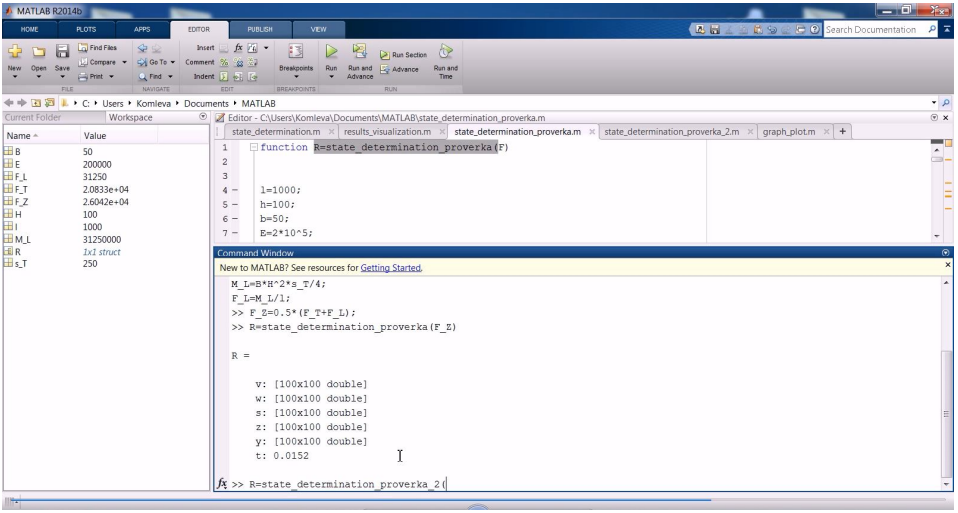


Рис. 12. Визуализация процесса деформирования балки и образования пластических зон при различных величинах нагрузки: а) $F<F_T$, б) $F\approx F_T$, в) $F>F_T$.

Для проверки корректности разработанного алгоритма было проведено сравнение величин угла поворота θ_{KO}, рассчитанные аналитически (рис. 13а) и с помощью программы (рис. 13б). Различия в величинах составляют 4,4%, что позволяет говорить о корректности предложенного алгоритма и разработанной программы.

а)



б)

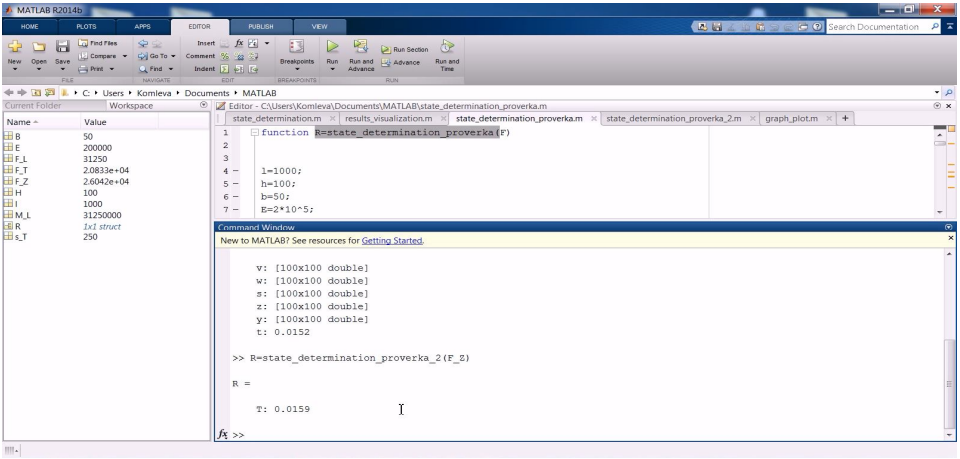


Рис. 13. Скриншоты среды Matlab при аналитическом вычислении угла поворота сечения (а) и с помощью разработанной программы (б).

Заключение

В работе рассмотрено аналитическое и численное решение задачи об упругопластическом изгибе консольной балки, в частности был определен угол поворота концевого сечения, при этом величина угла, найденная аналитически, практически совпала с величиной, найденной с помощью численного метода. Для численного решения была разработана процедура и соответствующая программа, позволяющая поэтапно рассчитывать сложное упругопластическое деформирование тела и визуализировать процесс образования напряжённо-деформированного состояния в балке.

Разработанная программа может быть использована для обучения студентов по курсу «Сопротивление материалов» или «Теория пластичности», предоставляя возможность наглядного поэтапного решения отнюдь нетривиальной задачи. Разработанный численный алгоритм может быть положен в основу более универсальной программы, для расчёта балок сложной конфигурации и множеством граничных кинематических и силовых условий.

Литература

1. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. Учеб. для вузов. – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 592 с.

2. Горшков А.Г., Трошин В.Н., Шалашилин В.И. Сопротивление материалов. Учеб. пособие. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2005. – 544 с.
3. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. Учебник для студентов вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: машиностроение, 1975. – 400 с.
4. Дьяконов В.П. MATLAB. Полный самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.
5. Кудрявцев В.А., Демидович Б.П. Краткий курс высшей математики. Учеб. для вузов. – 4-ое изд., перераб. и доп.. – М.: Изд-во Наука, 1975. – 624 с.

Интеграция контроллера Leap Motion в системы моделирования

ТУРОВЕЦКИЙ Марк Владимирович
г. Москва, ЧОУ СОШ «Филипповская школа», 11 класс

Научный руководитель:
Федорук Владимир Геннадьевич,
к.т.н., доцент кафедры «Системы автоматизированного проектирования»
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Введение.

Некоторое время назад компания «Leap Motion, Inc.» выпустило устройство «Leap Motion», предназначенное для позиционирования в трёхмерном пространстве. Была поставлена задача исследования возможности использования этого контроллера в системах автоматизированного проектирования (САПР).

Цель работы.

Главная проблема, которая стоит сейчас перед людьми, работающими в САПР, заключается в том, что инструмент, которым большинство из них пользуется (мышь), является двухмерным контроллером, когда в большинстве используемых программ строятся все же трехмерные модели. Целью данной работы является исследование возможностей применения устройства Leap Motion в САПР машиностроения. На данный

момент эта задача является актуальной как для преподавателей и учащихся, так и для специалистов, которые непосредственно занимаются проектированием. Данная разработка позволит ускорить процесс моделирования, и, в частности, поможет повысить скорость перемещения и изменение размеров объектов.

Содержание работы.

Для достижения этой цели было использован контроллер Leap Motion, который представляет небольшое USB-устройство размером 1.3x3x7.6см (рис. 1). Устройство оснащено двумя камерами высокого разрешения с CCD матрицей. Основное отличие CCD матрицы от CMOS матрицы заключается в том, что CCD матрица преобразует изображение в аналоговый сигнал, а не в цифровой. Существенным преимуществом CCD матрицы является ее намного большая чувствительность по сравнению с другими матрицами и почти полное отсутствие помех. Устройство создает 3D-область взаимодействия объёмом около 227 дециметров кубических (то есть куб со стороной 61см). В этом участвуют 3 ИК диода, которые с помощью камер измеряют высоту и объём объектов. Внутри этой области Leap Motion отслеживает движение предметов с большой точностью. В самом быстром режиме частота кадров, передаваемая на компьютер, может доходить до 290кадров/сек. Leap Motion можно использовать в различных целях: игры, рисование, веб-серфинг, управление ОС и т.д. Разработчики контроллера создали также и кроссплатформенный SDK, который

поддерживает такие языки программирования как C++, C#, Objective-C, Java, JavaScript и Python.

Рис. 1. Контроллер Leap Motion.

На рис. 2 изображена зона покрытия сенсоров Leap Motion. Данный метод преобразования предполагает, что объект переднего плана (пальцы в данном случае) может быть отделен от фона (рис. 3):

1. Сервис устройства получает информацию от контроллера Leap Motion через USB порт. Он обрабатывает ее и с учетом настроек отправляет работающим приложениям, использующим контроллер. По умолчанию, сервис отсылает данные только приложениям переднего плана.

2. Благодаря раздельной работе приложения настроек и сервиса устройства, настройки контроллера можно менять без перезапуска сервиса, а также отдельно для каждого приложения.

3. Приложения переднего плана получают информацию об объектах от сервиса. Приложения, которые используют контроллер, могут подключаться к сервису с помощью библиотеки Leap Motion.

4. Когда приложение, использующее Leap Motion, теряет важность, например, при сворачивании в трей, сервис перестает отсылать данные приложению. Однако, если приложению требуется работа в фоновом режиме, то получение информации от сервиса можно запросить отдельной командой. Такая структура работы с контроллером, позволяет держать открытыми сразу несколько приложений, использующих Leap Motion, без возникновения конфликтов.

Для определения возможностей устройства был проведен тест:

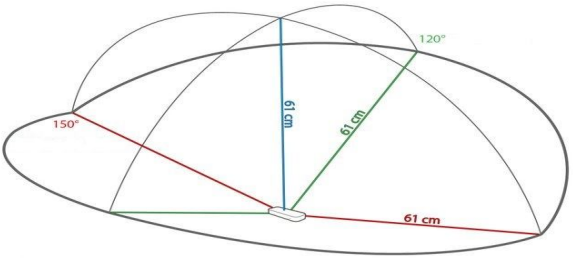


Рис. 2. Зона покрытия сенсоров Leap Motion.

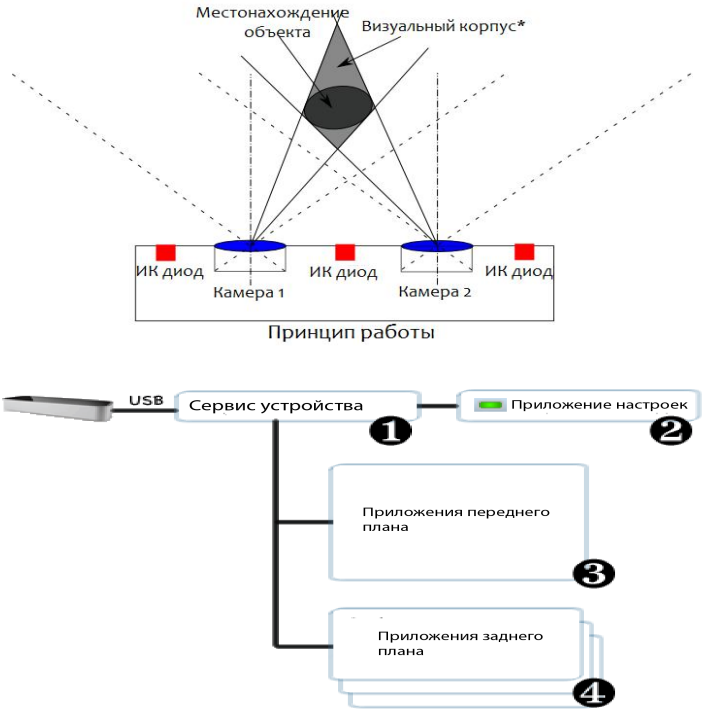


Рис. 3. Принцип работы: *Визуальный корпус - геометрическая структура, созданная техникой преобразования нескольких силуэтов в форму или 3D объект.

Предстояло выяснить, насколько точно устройство позиционирует объекты, находящиеся в зоне его действия. Для данного теста использовалась программа VisualizerApp.exe, которая тоже шла при установке базового пакета. Во время проведения данного теста выяснилось, что сенсоры в Leap Motion настолько точны, что во время теста мы смогли изобразить группу мелких объектов размером менее 10 миллиметров. Вдобавок к этому, система зафиксировала незначительное дрожание рук (рис. 4).

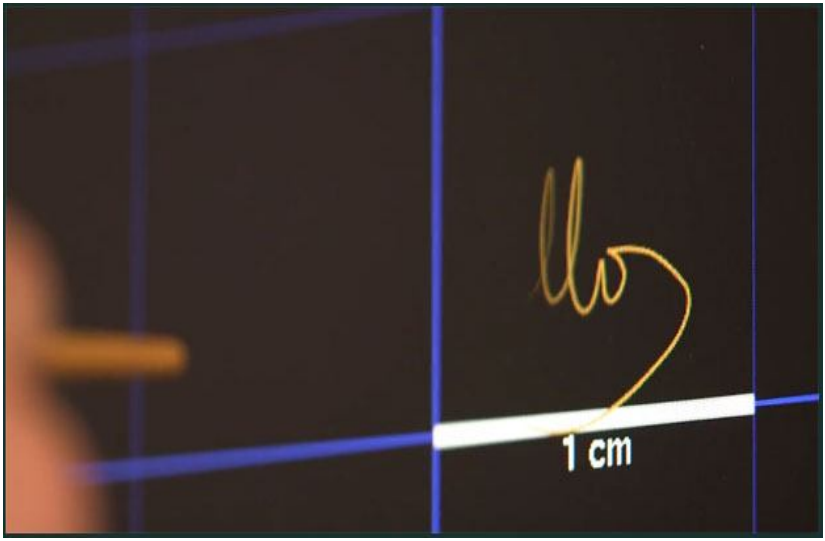


Рис. 4. Проведение эксперимента.

Краткое описание основных классов API, использованных в дальнейшей разработке:

- **Controller** — интерфейс между контроллером и приложением;
- **Listener** — обрабатывает события, отправленные контроллером;
- **OnConnect** — вызывается, когда **Controller** подключается к Leap Motion;
- **OnDisconnect** — вызывается, когда **Controller** отключается от Leap Motion;
- **OnExit** — вызывается, когда **Listener** был убран из **Controller**;
- **OnFrame** — вызывается, когда новый кадр с информацией о местоположении объектов становится доступным;
- **OnInit** — вызывается однажды, когда **Listener** только-что был добавлен в **Controller**;
- **Frame** — содержит информацию о положении объектов;
- **Equals** — позволяет сравнивать 2 кадра;
- **Finger/Hand/Gesture** — создание или определение уникального идентификатора Пальца/Руки/Жеста в данном кадре;
- **ID** — присвоение/чтение уникального идентификатора кадра, например для сравнения;
- **Hand** — содержит информацию об опознанной руке*;
- **Pointable** — объект, привязанный к **Hand;**
- **Finger** — содержит информацию об опознанном пальце*;

- **Pointable** — объект, привязанный к **Finger;**
- **Vector** — представляет из себя вектор и указывает направление или расположение в трехмерном пространстве;
- **AngleTo** — угол между данным и указанным вектором в радианах;
- **Gesture** — представляет из себя распознанный жест;
- **Duration** — время, отведенное на выполнение жеста;
- **HandList** — руки, предназначенные для выполнения жеста;
- **ID** — идентификатор жеста.

*Если в объекте контроллер распознает руку с пальцами, то появляется намного больше функций и жестов, доступных для использования в программе, хотя это необязательное условие для работы ПО.

Решение поставленной проблемы:

После определения возможностей Leap Motion была проведена разработка проекта в Unity. Unity это кроссплатформенный движок для разработки двух- и трехмерных приложений и игр. Созданные с помощью Unity, приложения работают под операционными системами Windows, Mac OS X, Windows Phone, Android, iOS, Linux, а также на игровых приставках Wii, PS3, и Xbox360. Также движок Unity позволяет выполнять C# и JS сценарии. Для разработчиков

создатели Leap Motion предоставили удобный SDK, который и был использован при разработке проекта.

Были выбраны C# и Unity в качестве среды разработки, так как условия работы в этом ПО, были максимально приближенными к условиям разработки для САПР, поскольку в обоих случаях задачей являлось написание кода, который представлял бы из себя не целую программу, а встраиваемое расширение, взаимодействующее с уже существующими компонентами программы.

Думаю, тут возникает логичный вопрос: «Почему я сразу не начал интеграцию контроллера в САПР?». Ответ на этот вопрос очень прост: Во-первых, как мне сказали эксперты в данной области, получение навыков для работы в подобных системах требует очень много времени, а мне тем более было необходимо знать все мельчайшие детали работы подобного продукта, и свободно владеть их SDK, на что, как меня заверили, уйдет не один год. Во-вторых, цена легальных копий таких систем просто неподъёмная для обычного школьника, коим я и являюсь.

Было решено написать небольшую игру-симулятор так, чтобы объектом можно было управлять только с помощью Leap Motion. Сначала я взял готовый скрипт симулятора вождения Unity Car Pro 2.2 и интегрировал туда контроллер (рис. 5). Получилось так, что можно было управлять поворотами и скоростью машины с помощью жестов.

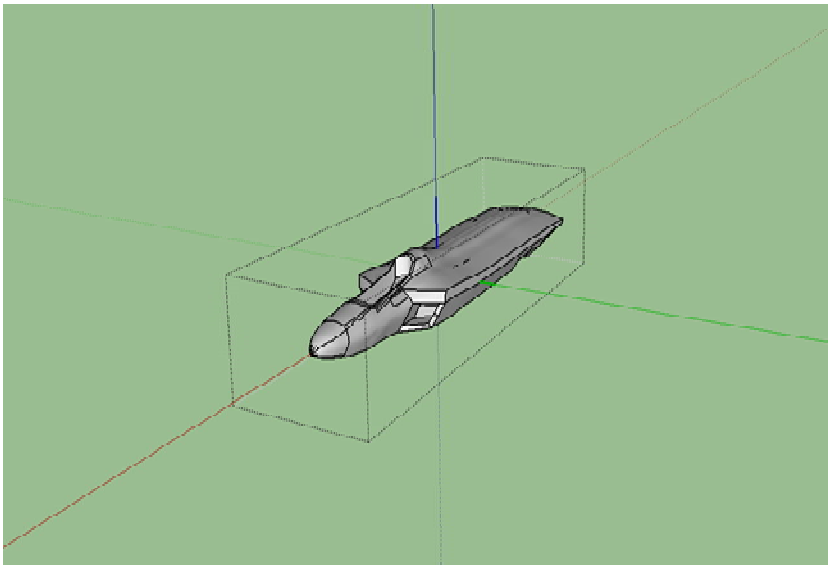
Рис. 5. Пример.

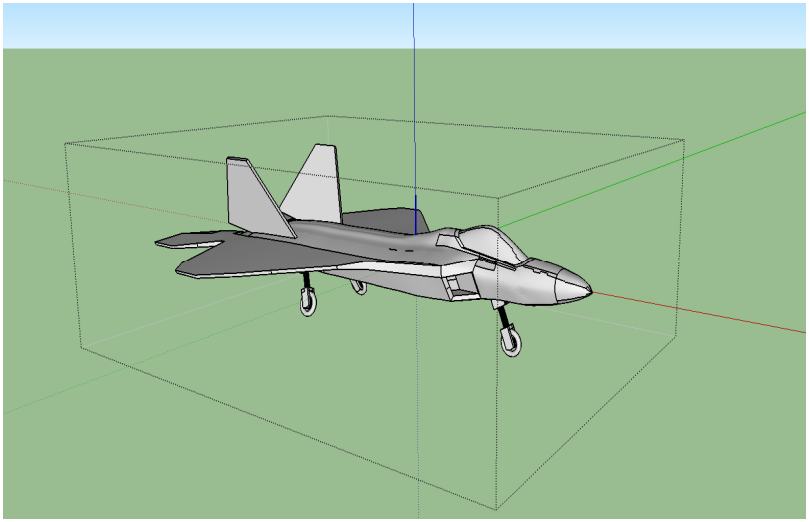
Однако, во многих САПР пространство для моделирования – трехмерное. А на данном этапе у меня получилось, что управлять мы можем двухмерным объектом. Дабы максимально приблизить мой проект к реальным разработкам, я решил сделать нечто большее - написать с нуля симулятор полетов, где с помощью контроллера можно было бы управлять всеми параметрами самолета, в том числе скоростью, креном и тангажом.

Сначала с помощью базовых инструментов редактора был создан ландшафт. Его можно было бы сделать бесконечным, но решено было ограничиться в размерах, так как постоянная его генерация могла бы привести к «тормозам».

Далее была спроектирована и создана модель самолета в CAD SketchUp, добавлены текстуры и проведена прочая подготовительная работа.

На рис. 6 приведено несколько иллюстраций, демонстрирующих процесс работы над моделью самолета. Хотелось бы заметить, что перед нами не стояло цели сделать абсолютно точную модель самолета, так как в Unity. Аэродинамические характеристики модели никак не влияют на ее поведение. Все характеристики задаются цифрами в скриптах. Несмотря на это, я пытался сделать ее как можно более реалистичной. Пришло время приступить к самому главному. В первую очередь необходимо было выбрать правильную физику для данной сцены (так называется рабочая часть проекта в Unity). Я провел немало времени, разбираясь с этим вопросом и понял, что, если применить величину гравитационной постоянной Земли к данному проекту, получился бы очень тяжело управляемый самолет. Существовало 2 способа решения этой проблемы: изменение G или оттачивание управления.





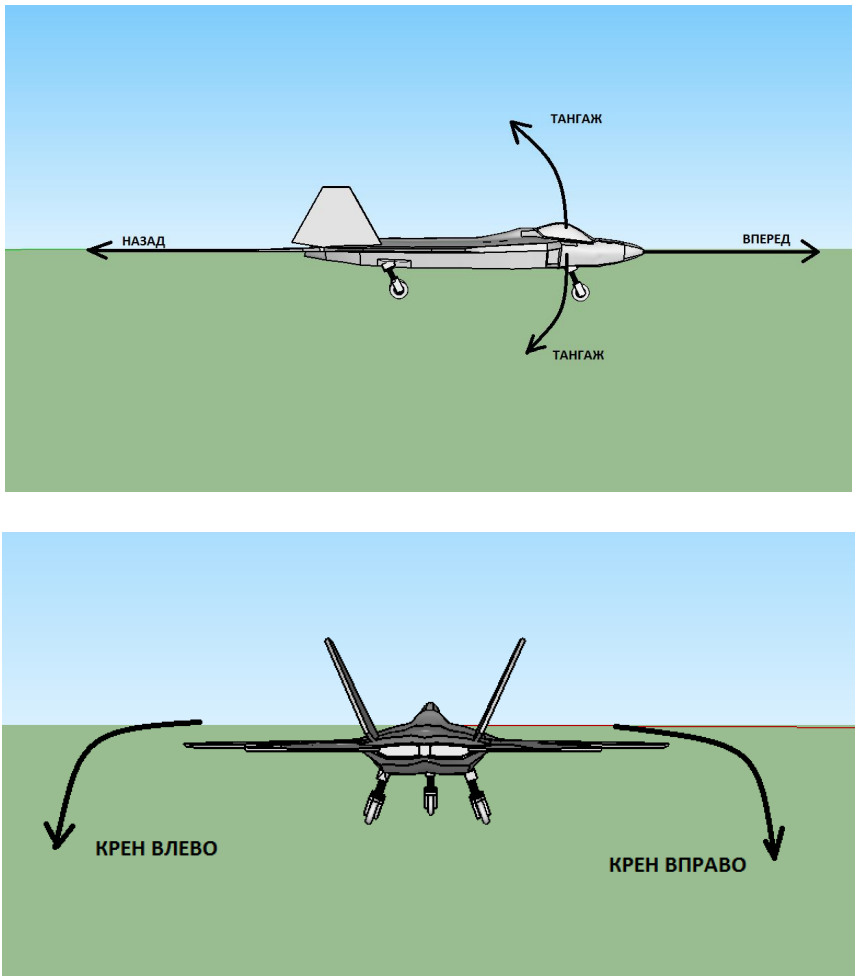


Рис. 6. Процесс работы над моделью самолета.

Дабы сцена выглядела реалистичной, я решил остановиться на втором способе, хоть он и был сильно сложнее первого. В итоге получилось, что управление самолетом не составляет труда даже с

помощью контроллера. При этом в полете самолет ведет себя очень естественно. После этого для тестирования работоспособности, рычаги управления самолетом были привязаны к клавишам на клавиатуре. Исправив небольшие, оставшиеся на тот момент, ошибки и поняв, что все работает как надо, я приступил к финальному этапу: необходимо было привязать контроллер к самолету. Тут и начинается самое сложное.

Вначале я написал скрипт, с помощью которого контроллер передает свои значения в Unity, и который преобразует систему координат контроллера в систему координат от -1 до 1 по всем осям. Далее, необходимо было сделать так, чтобы управление (величины скорости, крена и тангажа) самолетом напрямую зависело от положения руки. На изображениях (рис. 6) стрелочками указаны направления движения руки и относящиеся к ним значения. Ниже приведу краткий разбор основных функций написанного мною скрипта:

Разрешаем использование этих типов в дальнейшем коде.

```
using UnityEngine;
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using Leap;
```

Берем у контроллера Leap Motion последний захваченный кадр

```
public static Leap.Frame Frame
{
      get { return m_Frame; }
}
```

Вызываем постоянное обновление всех параметров

```
public static void Update()
```

```
public static float GetHandAxis(string axisName)
{
        float ret = GetHandAxisPrivate(axisName, true);
        return ret;
}
```

Присваиваем движениям руки определенную ось и считываем ее

Переводим некоторые величины из системы измерения контроллера в систему измерения Unity.

```
PalmPosition = m_Hand.PalmPosition.ToUnityTranslated();
PalmNormal = m_Hand.PalmNormal.ToUnity();
PalmDirection = m_Hand.Direction.ToUnity();
```

Это был код, объединяющий Leap Motion и Unity, сейчас рассмотрим основные части скрипта управления самолетом

```
var spd = Obj.velocity.magnitude;
      Obj.rigidbody.AddRelativeForce(0,0,-speed);
    H=(pxsLeapInput.GetHandAxis("Rotation")/2)*zrotForce;
    if (H){
    Obj.rigidbody.AddRelativeTorque(0, 0, H*(spd/100));
    }
    V=(pxsLeapInput.GetHandAxis("Tilt")/2)*rotupForce;
    if (V){
    Obj.rigidbody.AddRelativeTorque(V*(spd/100), 0, 0);
    }
```

Смотрим, по какой оси и насколько сильно сейчас отклоняется рука, и в зависимости от этого изменяем параметры движения самолета.

Проверяем, находится ли скорость в пределах допустимого максимального значения. Если нет, то присваиваем его ей. Это оказалось действительно важной частью программы, так как если скорость самолета достигала очень высоких значений, он очень быстро разгонялся и становился совершенно неуправляемым. Даже его торможение представляло очень сложную задачу.

```
if(Maxspeed<=speed){
speed=Maxspeed;
}else{
speed=speed;
}
```

На изображении (рис. 7) представлен скриншот из работающей программы. Цифрами подписаны элементы интерфейса:

1. Значения отклонения руки по разным осям, поступающие в системе координат Unity. Эти величины выведены на экран

чисто для отладки и демонстрации работы программы. Могут быть убраны для дальнейшего использования.

2. Информационное окно, показывающее скорость и высоту самолета. В результате тестирования данная функция оказалось удобной, в результате чего была добавлена в финальную сборку.

3. Модель самолета, которой пользователь может управлять с помощью контроллера. После тестов, было решено добавить к самолету след из дыма, чтобы можно было легче и удобнее отслеживать его перемещение, и в любой момент можно было посмотреть пройденный самолетом маршрут. Через некоторое время дым исчезает, чтобы не загрязнять пространство.

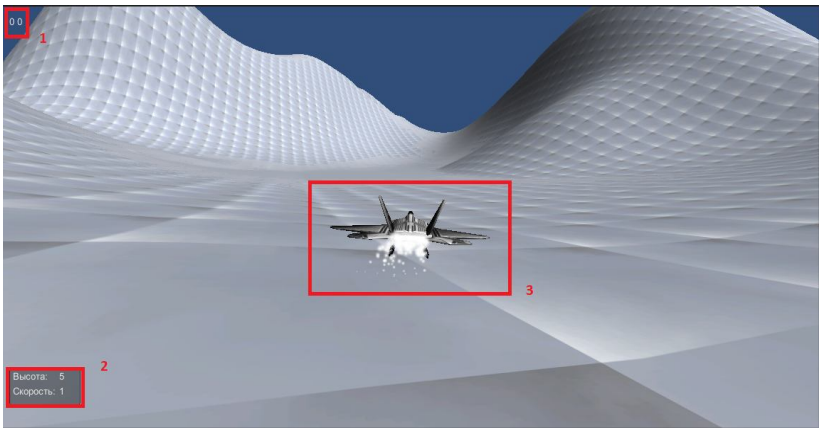


Рис. 7. Скрин-шот работающей программы.

Выводы.

В результате работы был написан полнофункциональный симулятор полетов, который объединяет в себе контроллер жестов

Leap Motion и мощный движок для разработки игр Unity. Нельзя не заметить, что получилась именно готовая программа, компилирующаяся в один exe файл, без лишних сообщений подключающаяся к сервису контроллера и оптимизированная даже под маломощные компьютеры, полностью сделанная под конечного пользователя. Так же были получены базовые навыки работы в программе SketchUp, являющейся не самой сложной и не самой профессиональной, но все же САПР со всем вытекающим из этого функционалом. Навыки, полученные мною во время реализации данного проекта, пригодятся мне в дальнейшей жизни.

Как уже было замечено ранее, контроллер обладает очень большой точностью, однако после беседы с экспертами выяснилось, что он не подойдет как основной инструмент, однако может пригодиться как вспомогательный. Вот почему, несмотря на свою большую точность, нельзя исключать такую вещь как человеческий фактор: например, дрожание руки. При работе с мышкой такого эффекта нет, так как руку что-то поддерживает. А Leap Motion может пригодиться как вспомогательный инструмент, которым можно выполнять действия, не требующие большой точности, например, выделение группы объектов или создание эскизов и набросков. В данном случае скорость выполнения этих задач будет выше, чем, если использовать другой контроллер.

В итоге было выяснено, что Leap Motion может быть успешно использован в проектировании в САПР для машиностроения как

вспомогательный инструмент, и при его использовании можно ускорить выполнение некоторых задач.

Робот-инспектор по поиску дефектов в магистральных трубопроводах

ПОДЛЕСНЫЙ Данил Александрович
г. Пенза, МБОУ Гимназия №44, 11 класс

Научный руководитель:
Гаврюшин Сергей Сергеевич,
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой
«Компьютерные системы
автоматизации производства»
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Введение.

Хорошо известен тот факт, что магистральные трубопроводы играют важную роль в жилищно-коммунальном хозяйстве и в теплоэнергетическом комплексе нашей страны. Каждый трубопровод имеет заданные показатели надежности, определяющие срок его эксплуатации. Во время эксплуатации возможны возникновения дефектов, которые могут привести к выходу из строя трубопровода и повлечь за собой тяжелые последствия. Исходя из этого, крайне важно проводить ревизию магистральных трубопроводов с целью раннего диагностирования возникновения дефектов и определения их места в трубопроводе.

В связи с рядом причин присутствие человека в трубопроводе нежелательно, а чаще невозможно, поэтому задача по нахождению дефекта должна возлагаться на роботизированные системы и комплексы. При этом большое значение имеет точность определения места дефекта. Таким образом, разработка робота-инспектора, позволяющего определить и передать оператору изображение и координаты дефекта, является актуальной.

Цель работы.

Цель проекта заключается в разработке робота-инспектора, предназначенного для определения места дефекта во внутренних поверхностях магистральных трубопроводов.

Задачи.

Для достижения поставленной цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Сформулировать техническое задание на проектирование робота-инспектора;
2. Разработать структурную схему робота-инспектора;
3. Выбрать платформу робота-инспектора и создать ее трехмерную модель;
4. Разработать систему управления двигателями;
5. Разработать программно-аппаратные средства управления движением и полезной нагрузкой робота;
6. Разработать и изготовить конструкцию крепления и поворота видеокамеры с использованием опорных подшипников;

7. Сконструировать и изготовить на 3D принтере корпус робота-инспектора с нанесением лазерной гравировки логотипа кафедры РК-9;

8. Провести натурные испытания разработанной конструкции робота-инспектора на макете трубопровода с известным дефектом, что позволит оценить адекватность работы робота.

Начнем решение поставленных задач с разработки требований технического задания.

1. Техническое задание.

Робот-инспектор предназначен для ревизии внутренней поверхности трубопровода. Устройство может использоваться как для инспекции уже функционирующих трубопроводов, так и для труб, вновь устанавливаемых в трубопроводы (входной контроль). Необходимо обеспечить выявление основных, часто встречающихся дефектов труб и трубопроводов. Такие дефекты распределяются по различным категориям:

- дефекты металла;
- поверхностные дефекты труб по сварным швам;
- внутренние повреждения основного металла;
- эксплуатационные дефекты.

Разрабатываемое устройство можно отнести к роботизированным системам с беспроводным управлением. Вследствие этого необходимо обеспечить канал радиосвязи с пультом управления для обеспечения передачи управляющих команд и телеметрической информации, а также канал радиосвязи,

по которому передается визуальная информация с видеокамеры. Два радиоканала должны быть раздельными. Особые требования к пульту управления отсутствуют.

На подвижной платформе помимо видеокамеры должны быть установлены:

1. Чувствительные сенсоры, определяющие дефект инспектируемого трубопровода;
2. Раздельные источники питания для ходовой части и бортовой электроники;
3. Фара подсветки для видеокамеры;
4. Навигационная фара для подсветки пути робота с автоматическим и ручным режимом включения;
5. Модуль обеспечения радиосвязи видеокамеры с пультом управления;
6. Модуль приема и передачи команд управления и телеметрии.

1.1 Техническое предложение.

На основе требований технического задания (ТЗ) сформулируем основные технические предложения, определяющие функциональные характеристики разрабатываемого робота:

1. В качестве метода определения дефектов внутренней поверхности трубопроводов использовать ультразвуковой метод.
2. С целью увеличения проходимости и маневренности робота обеспечить полноприводный режим работы колес с использованием четырех ведущих двигателей. Для обеспечения маневренности и

возможности поворота предусмотреть раздельное управление двигателями.

3. Для обеспечения работы видеокамеры в трубопроводе использовать светодиодную подсветку, которая закреплена на одной плоскости с видеокамерой и обеспечивает направление излучения аналогичное направлению съемки видеокамеры.

4. Для подсветки пути робота в трубопроводе предусмотреть светодиодную фару, направление света которой должно совпадать с направлением движения робота по трубопроводу.

5. Предусмотреть два режима управления светодиодной фарой: в автоматическом режиме с помощью резистивного датчика освещенности и в ручном режиме. Для этого необходимо предусмотреть в конструкции фары цепь управления: включение\выключение. Электропитание фары будем осуществлять от самостоятельного источника (постоянный ток 5 В).

6. В качестве пульта контроля применить ноутбук с модулями беспроводной связи WiFi для связи с видеокамерой и Bluetooth для передачи роботу-инспектору команд управления и приема от него данных телеметрии.

2. Проектирование аппаратной части.

Основываясь на требованиях ТЗ и необходимых функциональных возможностях, определим состав робота-инспектора и, пользуясь рекомендациями из [1], составим структурную схему устройства (рис. 1).

2.1. Структурная схема устройства.

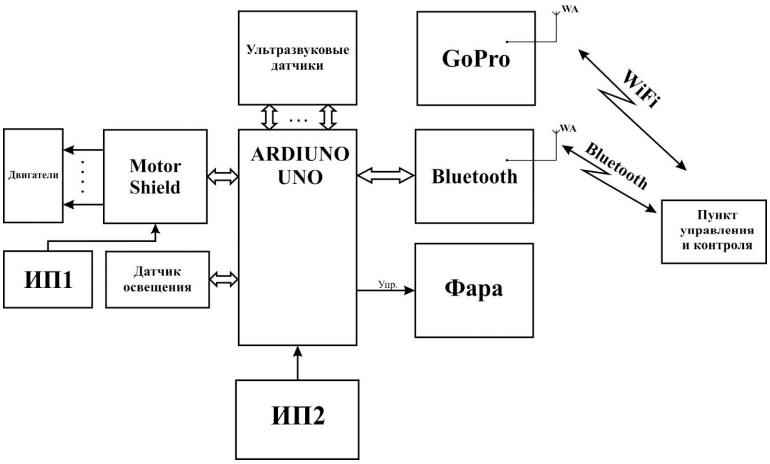


Рис. 1. Структурная схема робота-инспектора.

В качестве вычислительного ядра робота-инспектора применен унифицированный модуль Arduino Uno [2]. В качестве видеокамеры применим широко распространённую широкоугольную камеру GoPro со встроенным аккумулятором и модулем радиосвязи WiFi. Для приема команд управления и передачи данных телеметрии установим модуль BlueTooth типа HC06 со встроенной антенной. В качестве ультразвуковых датчиков выберем унифицированные устройства типа HC-SR04, которые обладают разрешением 0,3см, эффективным рабочим углом 15°.

В качестве устройства управления двигателями применим унифицированный модуль Motor Shield, основой которого является Н-мост в интегральном исполнении, т.е. микросхема L298.

В качестве датчика освещения используем фоторезистор, сопротивление которого зависит от уровня освещённости на его рабочей поверхности. Фара является не промышленным устройством, а разработанным нами электронным устройством, созданным на основе светодиодов белого свечения. Более подробно ее описание приводится в пункте 2.4.

2.2. Выбор и создание 3D модели роботизированной платформы.

В качестве роботизированной четырехколесной платформы выберем унифицированную платформу Pirate, общий вид которой приведен на рис. 2.

Рис. 2. Общий вид роботизированной платформы.

Каждое колесо посажено на ротор отдельного двигателя постоянного тока с напряжением питания от 3В до 12В. Потребляемый двигателями ток напрямую зависит от веса нагрузки

платформы и может лежать в диапазоне от 70мА до 470мА. Максимальная скорость платформы составляет 70см/с. Платформа имеет два несущих этажа для полезной нагрузки, а также отсек в нижней части корпуса, который будем использовать для размещения элементов питания.

Пользуясь возможностями автоматизированной системы твердотельного проектирования Компас-3D, разработаем трехмерную модель платформы (рис. 3).

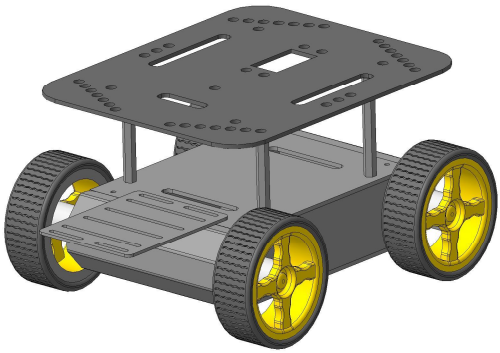


Рис. 3. Трехмерная модель роботизированной платформы.

Трехмерная модель необходима для определения установочных размеров отдельных деталей робота-инспектора.

Для реализации функции поворота видеокамеры в вертикальной плоскости в среде твердотельного проектирования

разработана конструкция узла поворота видеокамеры, состоящая из основания и несущей стойки (рис. 4).

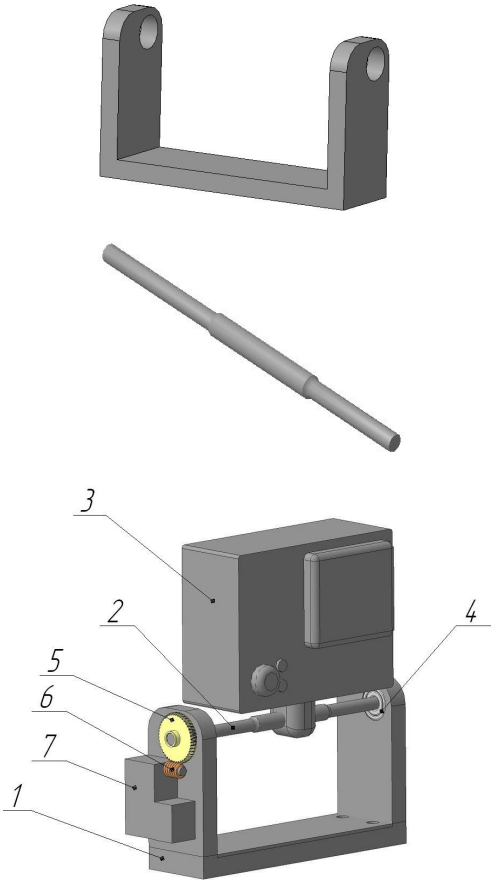


Рис. 4. Конструкция узла поворота камеры:
а) основание; б) несущая ось; в) общий вид узла в сборе.

Опираясь на рисунок 4.в, разберем подробнее конструкцию узла поворота видеокамеры. Несущая ось (поз. 2) на краях имеет диаметр 4мм, что необходимо для установки подшипников 4х13х5

(поз. 4), которые располагаются в отверстиях по краям основания (поз. 1). В средней части ось имеет утолщение до 5,2мм. Это утолщение позволяет закрепить тугой посадкой по центру несущей оси видеокамеру (поз.3). На выступающий край оси крепится шестеренка (поз. 5), при этом сбоку на основание узла поворота закрепляется сервопривод (поз. 7) с ротором, обращённым к выступающей части несущей оси. Посредством червячной передачи (поз. 6) крутящий момент передается на несущую ось узла поворота видеокамеры. Тем самым осуществляется ее вращение в вертикальной плоскости, что позволяет визуально обследовать найденный дефект. Узел поворота видеокамеры в вертикальной плоскости установлен на выносной платформе, которая крепится к основанию корпуса робота-инспектора. Общий вид робота показан на рисунке 5.

Электронные модули и элементы, обеспечивающие функционирование робота-инспектора, закрыты крышкой, которая имеет форму перевернутой устойчивой трапеции и также разработана в среде Компас-3D.

В верхней части крышки предусмотрено 6 отверстий, в которые с внутренней поверхности устанавливаются активные элементы ультразвуковых датчиков. Крышка крепится к подвижной платформе четырьмя винтами.

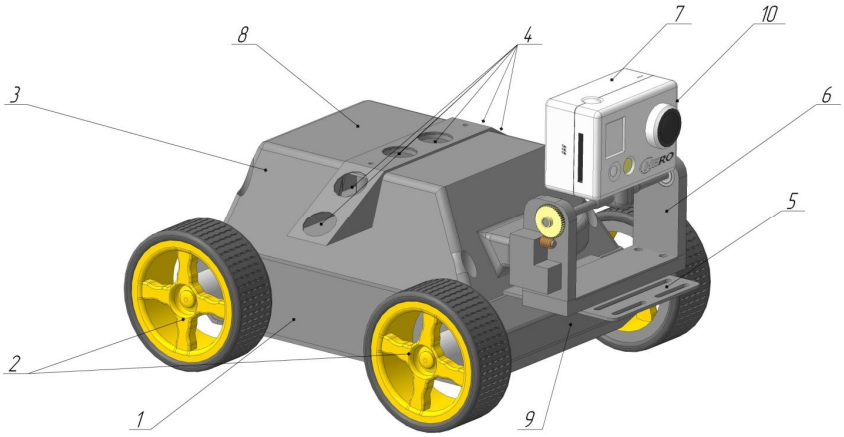


Рис. 5. Общий вид робота:

1- основание роботизированной платформы; 2- колеса роботизированной платформы, 3- верхняя крышка; 4- отверстия ультразвуковых датчиков;5- выносная платформа; 6- узел поворота камеры в вертикальной плоскости; 7- видеокамера; 8- место нанесения маркировочной надписи на корпусе робота;9- область размещения навигационной фары, 10- место установки светодиодной подсветки для видеокамеры.

С целью идентификации робота в верхней части крышки нанесена специальная маркировка, приведенная на рис. 6.

Маркировка разработана в векторном редакторе CorelDraw и нанесена на пластиковую поверхность с применением технологии лазерной гравировки. В ходе реализации технологии путем сублимации происходит удаление лишнего материала с обрабатываемой поверхности, что и приводит к формированию требуемой маркировки. Лазерная гравировка относится к бесконтактному методу, благодаря чему существенно уменьшаются повреждения и деформации обрабатываемой детали.

Рис. 6. Маркировка в верхней части корпуса.

Приведенные выше детали узла поворота видеокамеры и верхняя крышка были изготовлены на 3D принтере с использованием технологии термопластической экструзии. Для этого модели деталей, разработанные в среде Компас-3D в формате m3d, были экспортированы в формат, использующийся в технологии быстрого прототипирования 3-D печати для хранения трехмерных моделей объектов. stl. Полученный файл обрабатывается программой PICASO POLYGON FOR BUILDER, которая и управляет режимом печати модели на принтере PICASO 3D Builder.

Как видно, примененная платформа не позволяет осуществлять поворот колес, однако по условиям ТЗ необходимо предусмотреть возможность разворота платформы. Осуществить

это возможно, управляя двигателями платформы с помощью так называемого Н-моста.

2.3. Обоснование выбора элементов Н-моста для управления двигателями.

Для того чтобы осуществить поворот платформы, необходимо приложить напряжение к двигателям с разной полярностью. Такую возможность дает электронная схема получившая название Н-мост.

Рисунок 7, созданный в системе сквозного проектирования электроники Altium Designer, иллюстрирует работу такой схемы.

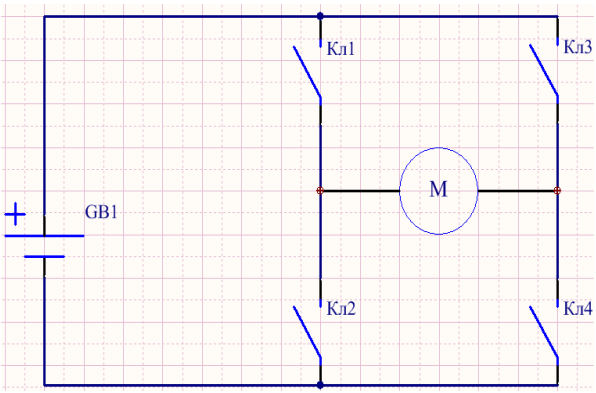


Рис. 7. Схема Н-моста.

Н-мост включает в себя 4 электронных переключателя Кл1-Кл4. Когда ключи Кл1 и Кл4 замкнуты, а Кл2 и Кл3 разомкнуты, двигатель вращается в одну сторону, когда же Кл2 и Кл3 замкнуты, а Кл1 и Кл4 разомкнуты, двигатель вращается в другую сторону. Также Н-мост предоставляет возможность электрически тормозить

вращение двигателя, коротко замыкая его выводы, например, замкнуты Кл1 и Кл3 или Кл2 и Кл4.

Таблица истинности Н-моста для разного состояния ключей Кл1 и Кл4 приведена ниже (табл. 1).

Таблица 1. Таблица истинности Н-моста.

Режим работы	***Кл1***	***Кл2***	***Кл3***	***Кл4***
Двигатель вращается вправо	1	0	0	1
Двигатель вращается влево	0	1	1	0
Холостой ход двигателя	0	0	0	0
Двигатель тормозит	0	1	0	1
Двигатель тормозит	1	0	1	0
Аварийный режим (короткое замыкание источника питания)	1	1	0	0
Аварийный режим (короткое замыкание источника питания)	0	0	1	1

Н-мост может быть собран на дискретных компонентах, транзисторах, однако при современном развитии микроэлектроники целесообразно применить эту схему в интегральном исполнении. Промышленность выпускает специализированную схему L298, реализующую функции Н-моста. На основе этой микросхемы выпускается специально предназначенный для работы в связке с Arduino унифицированный модуль Motor Shield, который используем для управления двигателями в конструкции робота-инспектора.

2.4. Разработка электрической принципиальной схемы фары.

Для реализации требований ТЗ в отношении режимов работы фары разработаем ее электрическую принципиальную схему (рис. 8). Резисторы R1-R5 ограничивают прямой ток через светодиоды. Положительный логический сигнал на затворе полевого n-канального транзистора VT1 включает фару. Резистор R6 служит для надежного запирания транзистора при отсутствии сигнала включения фары.

Проведем расчет ограничительных резисторов. При расчете примем, что резистор R1 включен последовательно с каждым из резисторов R2-R5. Такое соединение образует резистор $R_{огр}$, тогда:

$$R_{огр} = \frac{E_п - U_{пр}^{HL}}{I_{пр.ном}^{HL}} = \frac{5В - 1{,}6В}{5мА} = 680\ Ом.$$

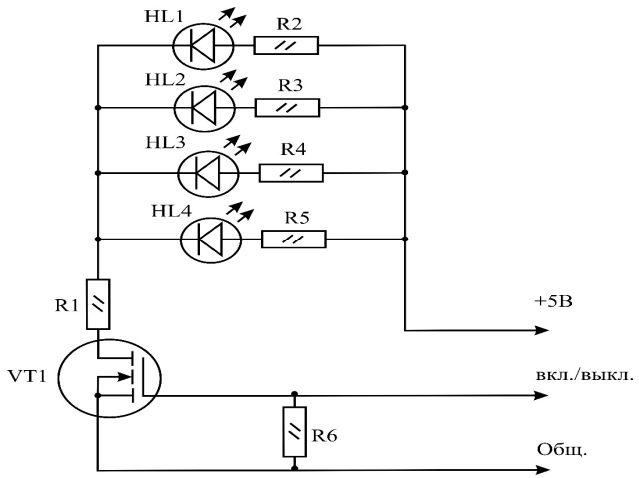


Рис. 8. Фара. Схема электрическая принципиальная.

Далее рассчитаем сопротивление каждого из резисторов R1-R5, т.к. $R_{огр}$ состоит из двух резисторов искомое значение равно

$$680\ Ом/_2 = 340\ Ом.$$

Теперь выберем наиболее близкое значение сопротивление из наиболее распространённого стандартного ряда номиналов E24 [3] с точностью 5% – 330Ом.

Таким образом, общее сопротивление $R_{огр}$ составит 660Ом, что меньше рассчитанного выше значения. Исходя из этого, необходимо проверить значение тока, протекающего через светодиод:

$$I_{пр} = \frac{E_п - U_{пр}^{HL}}{R_{огр}} = \frac{5В - 1.6В}{660\ Ом} = 5{,}16\ мА.$$

Из проверочного расчета следует, что при выбранных сопротивлениях ток, протекающий через светодиод, не превышает максимально возможный ток выбранного светодиода, который равен 15мА. Общий ток, потребляемый фарой из 4-х светодиодов, составляет не более 21мА.

На этом расчет электрической принципиальной схемы фары следует считать законченным.

3. Способ определения места дефекта.

Важной задачей является не столько определение факта присутствия дефекта, сколько определение его места в трубопроводе. Реализовать это достаточно просто, используя

модули глобальных навигационных систем, которые позволяют получать реальные координаты объекта. Однако, использование навигационных модулей в трубопроводе, где отсутствует прямая видимость на спутники, серьезно затруднено и неэффективно. Поэтому нами предложен простой способ определения места дефекта по реперной точке, который позволяет определить координату дефекта относительно реперной точки (рис. 9).

Поиск дефекта осуществляется следующим образом. Точка начала движения робота по трубопроводу отмечается как реперная, одновременно запускается внутренний таймер движения, отсчитывающий время нахождения робота в трубопроводе. Также отметим, что нами эмпирически определена скорость движения робота, которая составляет ~56 см/с. Для упрощения расчета далее считаем, что эта скорость равномерна. В ходе движения по трубопроводу ультразвуковые сенсоры робота сканируют поверхность трубопровода. Как только сенсоры определяют дефект, робот-инспектор передает на пункт контроля и управления условный сигнал о нахождении дефекта. После этого программное обеспечение пункта контроля, используя известное время движения робота от реперной точки до дефекта, а также равномерную скорость робота, по хорошо известной формуле вычисляет расстояние от реперной точки до дефекта:

$$S_{деф} = v \cdot t,$$

где S - расстояние от реперной точки до дефекта,

V- скорость движения робота (56 см/с),

t- время в пути до места обнаружения дефекта.

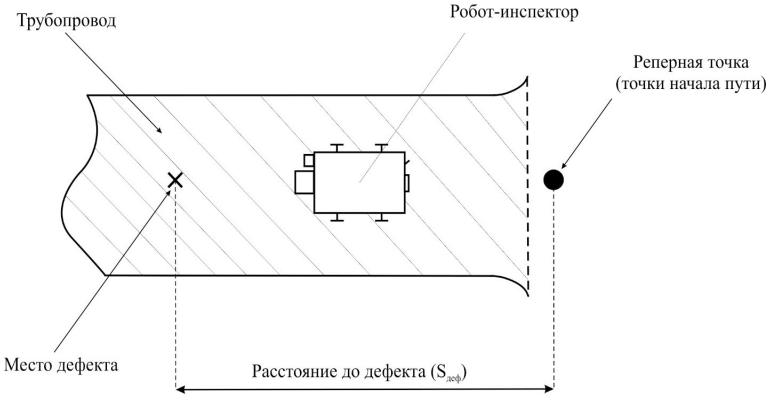


Рис. 9. Способ определения координаты дефекта в трубопроводе.

Таким образом, оператор видит на экране пульта контроля координату дефекта внутри трубопровода. Не вызывает сомнения, что предложенный нами способ не является самым точным, однако позволяет получить с большой достоверностью приемлемый результат.

В конструкции робота предложен и реализован альтернативный оригинальный способ определения расстояния, который работает следующим образом. К корпусу робота с помощью тягового устройства фаркопа крепится лента, на поверхность которой нанесены через известное расстояние измерительные насечки (рис. 10). В ходе движения робот-инспектор

тянет за собой эту ленту. После нахождения дефекта с помощью насечек определяется расстояние до дефекта.

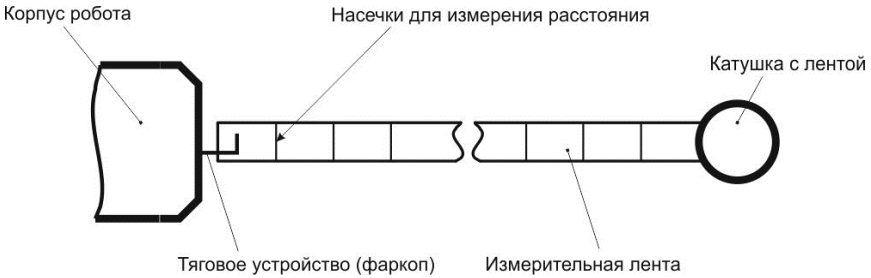


Рис. 10. Альтернативный способ измерения расстояния до дефекта.

Дополнительно тяговое устройство позволяет реализовать еще одну функцию - это принудительный возврат робота-инспектора в начальную точку в случае потери связи с ним по радиоканалу.

3.1. Ранжирование и визуализация обнаруженных дефектов.

Как отмечено в пункте 1, не все дефекты трубопроводов носят явный характер. Часто об относительно скором возникновении дефекта может говорить наличие коррозии, трещины, раковины и т.п. Несмотря на то, что применённые нами ультразвуковые датчики относятся к начальному уровню и не обладают высокой чувствительностью, а, главное, - высокой разрешающей способностью, на основе таких элементов можно реализовать на начальном уровне возможность идентификации или ранжирования

дефектов. Для такого ранжирования условно примем три уровня, определяющих:

- полное отсутствие дефекта,
- слабо проявленный дефект или неявный (не фатальный дефект),
- явное проявление дефекта, требующего немедленного устранения.

Вывод на экран числовых значений состояния датчиков нельзя считать удачным, т.к. человек-оператор, обслуживающий робота, может не заметить изменения численного значения. Между тем, человек быстро реагирует на визуальное изменение цвета. Хорошим примером тому служат светофоры, устанавливаемые на дорогах.

Применённая нами трёхуровневая схема ранжирования позволяет осуществить достаточно простую визуализацию на основе трех градаций цвета. Учитывая физиологическое [1, стр. 497, рис. 7 на вкладке] и, в некотором смысле, подсознательное воздействие, которое оказывает тот или иной цвет на человека, осуществлен выбор цветовой гаммы для указания ранга дефекта. Полная расшифровка трехуровневого ранжирования с привязкой к цветовой градации приведена в таблице 2.

Таблица 2. Трехуровневое ранжирование с привязкой к цветовой градации.

Условный безразмерный уровень сигнала, получаемого от ультразвукового сенсора	Цветовая градация	Описание

3	(Красный)	Аварийное состояние трубопровода – явный дефект, необходимо принятие срочных мер для ремонта трубопровода
2,5	(Желтый)	Предаварийное состояние – имеются предпосылки для возникновения явного дефекта
2	(Зеленый)	Нормальное состояние – дефект на обследуемом участке отсутствует

Цветовая схема визуализации выводится на экран монитора. Также при обнаружении дефекта, имеющего красный ранг, подается звуковой сигнал, дополнительно привлекающий внимание оператора.

Заключение.

При реализации проекта по созданию робота-инспектора получены следующие результаты:

1. Изучена работа системы твердотельного моделирования КОМПАС-3D, что позволило разработать модель роботизированной платформы и создать отдельные модели деталей платформы, которые впоследствии были изготовлены на 3-D принтере Picasso.

2. Изучена работа системы сквозного проектирования электроники Altium Designer, что позволило разработать электрические схемы отдельных функциональных узлов устройства.

3. Освоены основные операции электромонтажа печатных узлов, что позволило спаять плату соединений и осуществить жгутовой монтаж различных функциональных узлов робота.

4. Освоено программирование на языке C++, что позволило создать программное обеспечение для пункта контроля и управления, разработать систему управления роботом, функционирующую на ОС Windows и использующую беспроводной канал связи, реализованный по технологии BlueTooth. Этот канал связи используется для передачи команд управления и телеметрических данных, а также обрабатывает видеоданные, поступающие от установленной на роботе камеры по протоколу WiFi.

5. Освоено программирование платформы Ардуино, что позволило разработать программное обеспечение для вычислительного и датчикового оборудования, установленного на роботизированной платформе.

6. При разработке маркировки, расположенной на верхней крышке робота, практически освоены приемы работы в векторном графическом редакторе CorelDraw, а при изготовлении маркировки детально изучен технологический процесс лазерной гравировки на пластиковых материалах.

7. Создан робот-инспектор, позволяющий с достаточной степенью достоверности определять повреждения внутренней поверхности трубы и передавать их координаты оператору.
8. Разработан алгоритм функционирования робота-инспектора.
9. Рассмотрены вопросы управления колесной базой робота на основе применения Н-моста, что позволило осуществить обоснованный выбор элементов управления роботом и организовать возможность полноприводного движения робота.
10. Реализована система из трех ультразвуковых датчиков, позволяющая определять повреждения внутренней поверхности магистрального трубопровода.
11. Предложен оригинальный способ определения положения робота и, соответственно, места дефекта без установки модуля навигации.
12. Предложен резервный способ определения расстояния до дефекта с помощью измерительной ленты, которая крепится к корпусу робота-инспектора и имеет измерительные насечки. Дополнительно лента используется как эвакуационное устройство в случае потери радиоуправления роботом-инспектором.

Таким образом, разработан робот-инспектор, предназначенный для определения дефектов во внутренней поверхности трубопровода. Робот полностью соответствует требованиям технического задания. Дальнейшее развитие проекта видится в совершенствовании полезной нагрузки с целью наделения

робота новыми функциональными возможностями. В первую очередь развитие может пойти по следующему пути:

1. Перекомпоновка узлов робота-инспектора с целью обеспечения защиты от внешних воздействий по классу IPX67. Это позволит использовать робота-инспектора в особо влажной среде.

2.Установка более мощных двигателей, что потребует переработку системы питания и позволит качественно улучшить ходовые параметры робота.

3. Модернизация системы питания на основе применения Li-ion аккумулятора, что позволит увеличить срок автономной работы робота.

4. Установить лазерный дальномер и модуль навигации ГЛОНАСС\GPS.

5. Разработать и установить систему автоматического возвращения робота-инспектора в начальную точку в случае блокировки канала управления роботом.

6. Разработать на базе ПЭВМ единую систему управления, контроля и визуализации состояния робота.

7. Модернизировать датчиковую аппаратуру модуля с целью обеспечения контроля всей площади инспектируемого участка трубопровода.

8. Разработать и установить дополнительный модуль поиска дефектов, основанный на радиоволновом методе.

Реализация указанных выше положений позволит качественно модифицировать модель разработанного робота-инспектора и увеличить его функциональные возможности.

Литература:

1. Билибин К.И., Власов А.И., Журавлева Л.В. и др. Конструкторско-технологическое проектирование электронных средств/под общ. редакцией В.А. Шахнова. -М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2002. 500 с. (серия: Информатика в техническом университете).

2. Фокеев И.А. Создание программируемого робота на основе платы Arduino / И.А. Фокеев, Н.В. Биенко // Молодежный научно-технический вестник. 2013. № 5. С. 29.

3. Бодиловский В.Г., Смирнов М.А. Справочник молодого радиста. — 3-е. перераб. и доп.. — М.: Высш. школа, 1976.

4. Березин О.К., Костиков В.Г., Шахнов В.А. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры. – М.: «Три Л», 2000. – 400 с.

5. Клюев В. В. Технические средства диагностирования: Справочник/В. В. Клюев, П. П. Пархоменко, В. Е. Абрамчук и др.; под общ. Ред. В. В. Клюева. — М.: Машиностроение, 1989. — 672 с.

СЕКЦИЯ X. Инженерный бизнес и менеджмент

Оценка экономической эффективности различных вариантов тары для упаковки соков

ЛЁВИНА Ирина Владимировна
г. Москва, ГБОУ СОШ №1747, 11 класс

Научный руководитель:
Клементьева Светлана Вячеславовна,
к.т.н., доцент кафедры
«Экономика и организация производства»
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Введение.

В настоящее время люди, покупая продукты, в том числе сок, задаются вопросом: «В какой упаковке сок лучше, полезнее? В какой он дольше хранится?». В то же время покупатель часто делает свой выбор, обращая внимание на цену продукта. Сегодня вопрос качества упаковки товара не менее важен качества самого продукта и может рассматриваться с разных точек зрения: экологичность, качество хранения и употребления, возможность транспортировки и экономичность. Поэтому работа, связанная с выбором тары для продукта питания, имеющего высокий спрос, весьма актуальна.

Цель работы: провести сравнительный анализ пластиковой, стеклянной и картонной тары и выбрать наиболее подходящую тару для розлива сока.

Задачи:

1. Изучить потребительские свойства стеклянной, картонной и пластиковой посуды;
2. Изучить способы правильного хранения и транспортировки сока;
3. Выявить положительные и отрицательные аспекты производства выбранной тары;
4. Выбрать наиболее правильный вариант тары.

Работа состоит из трех частей. В первой части описываются свойства каждого вида тары для выявления наиболее полезной и выгодной упаковки, а также проведен анализ рынка. Во второй части работы представлен опрос населения и выбрана наиболее популярная среди потребителей упаковка сока. В третьей - проведен анализ цены и расчет выручки.

Сок – жидкий пищевой продукт, который несброжен, способен к брожению, получен из съедобных, спелых, свежих или сохраненных свежими, либо высушенных фруктов или овощей путем физического воздействия на эти съедобные части и в котором сохранены характерные для сока свойства.

В наше время существует три вида материала для изготовления упаковок для сока: пластик, картон и стеклянная тара. В какой лучше сохранится сок? Споры ведутся уже долгое время. У каждой тары есть свои плюсы и минусы.

Упаковка.

Упаковка для сока является гарантией качества, защищает от внешних неблагоприятных воздействий. Она несет рекламный текст, привлекает внимание и делает сок более доступным и удобным для потребителей за счет продления срока годности, возможности перезакрывания и других особенностей современных упаковок.

Две важнейшие задачи упаковки для сока — это сохранить полезные свойства продукта и продлить срок его годности. Натуральные соки — очень нежный продукт, излишнее термическое воздействие кардинально меняет органолептический профиль сока, делая его несвежим и вареным на вкус, уничтожает «фруктовость» аромата и, во многих случаях, ведет к ухудшению внешнего вида, делая продукт менее ярким, бурым. В то же время, если сок подвергается недостаточной тепловой обработке, возникает риск микробиологической порчи продукта при хранении. Поэтому режим тепловой обработки сока всегда выбирают таким образом, чтобы обеспечить, во-первых, безопасность продукта и, во-вторых, свести к минимуму ухудшение органолептических характеристик.

Рынок соков в России достаточно обширный, чтобы конкуренция между производителями была острой. Зайдя в любой супермаркет, потребитель видит десятки брендов, каждый из которых представлен минимум несколькими вкусами. Соки, нектары и сокосодержащие напитки, с добавлением сахара и воды, восстановленные из концентрата и полученные методом прямого отжима – разнообразие соковых продуктов велико, и чтобы выделиться на фоне остальных, производитель должен задуматься не

только о качестве своей продукции, но и об ее оформлении. Вместе с ростом популярности здорового образа жизни, повышается интерес к качественным сокам, в которых максимально сохраняются полезные вещества. Несмотря на то, что многие потребители уверены, что стеклянная тара лучше сохраняет свойства сока, большинство все же покупает сок в картонной упаковке Тетра-Пак. Картонная упаковка меньше стоит, ее легче утилизировать, она меньше весит, а ее форма позволяет удобно складировать сок. На сегодня стеклянная тара используется в основном для детских соков и фруктовых пюре, а «взрослые» соки за редким исключением продаются в картоне.

Критерии выбора упаковки соков:

- ценовой сегмент и бренд;
- стоимость упаковки и оборудования или рентабельность;
- качество упаковки: печати, крышки и т. д.;
- производственные возможности;
- оценка упаковки потребителями: легко держать, легко наливать, удобно ставить в холодильник, легко закрывать и открывать, а также упаковка должна нравиться и вызывать намерение покупки;
- тайминг или актуальность;
- и другое.

К основным факторам, влияющим на выбор сока покупателем, помимо цены можно отнести эргономичность упаковки и ее оформление. Согласно опросам, потребители желают видеть на пачках изображения фруктов, из которых сделан сок. В качестве фона потребители указывают естественные цвета – белый и зеленый.

Примеры оптимальной картинки – упаковки соков Rich и «Я». Визуальное состояние фруктов на картинке тоже имеет большое значение: чем более свежими, сочными и натуральными они выглядят, тем более привлекательным и качественным в глазах потребителя будет сок.

Дизайн упаковки соков в данный момент ориентирован по двум основным направлениям: польза для здоровья и премиальность. Чем более дорогой бренд, тем удобнее у него открытие пачки: если в дешевой коробке необходимо отрезать уголок, то в пакетах солидных марок достаточно открутить крышку, которая сама вскроет внутреннюю защитную мембрану. Первоначально большинство соков упаковывались в Tetra Brik – пакеты в форме параллелепипеда. Сегодня существуют такие оригинальные пачки, как Tetra Prisma, Tetra Combifit, Tetra Gemina, Tetra Wedge и др. Упаковки для премиум-соков становятся выше и уже, для них дизайнеры выбирают необычные формы, в то время как недорогие соки остаются верны упаковке Tetra Brick.

Как показывают исследования, ни активная реклама, ни уникальные технологии производства, ни качество продукта не имеют столь важного значения, как вид упаковки. Покупка сока – чаще всего спонтанная, и решение принимается на эмоциональном уровне, влияние на который оказывает то, как человек воспринимает продукт непосредственно на прилавке в магазине. Чем более заметно и привлекательно выглядит пакет сока, тем больше шансов, что потребитель выберет именно его.

Пластиковая упаковка.

Пластиковые бутылочки, наверное, самый плохой вариант. Все соки, даже самые сладкие, обладают высокой кислотностью. Как известно кислота сразу же вступает в реакцию с пластиком. В результате, покупая сок в пластиковой таре, вы употребляете вместе с соком, продукты распада после химической реакции. Кроме того, пластик прозрачный, а от воздействия света сок теряет все полезные вещества. Однако в ней сок сохраняет больше витаминов, потому что при розливе его, как правило, не стерилизуют, а пастеризуют – а этот процесс проводится при более низкой температуре. Кроме того, процесс розлива осуществляется в стерильных условиях, что позволяет сократить время тепловой обработки и сохранить больше полезных веществ. К тому же сейчас многие производители покрывают ПЭТ-бутылки специальной пленкой, которая защищает содержимое от воздействия света.

Картонные упаковки.

Соки в картонных упаковках хранятся лучше только в том случае, если коробка изготовлена специально для хранения сока. Картонные тары удобно перевозить и продавать. Они не разобьются, но при нарушении перевозки на картоне могут появиться микротрещины. Через них в считанные минуты воздух попадает внутрь упаковки, что приводит к порче сока. При этом упаковка может выглядеть совершенно нормально, хотя сок в ней будет уже испорчен. Однако именно в пакетированном соке сохраняется больше всего витаминов. Это зависит от состава упаковки. Асептическая упаковка - это шестислойный комбинированный материал, который на 75% состоит из картона, на 20% - из слоев полиэтилена и на 5% - из

алюминиевой фольги. Каждый слой упаковки выполняет свою функцию. Картон-основа обеспечивает упаковке жесткость и удобную для хранения и транспортировки форму, слои полиэтилена предохраняют от влаги и обеспечивают герметичность, слой алюминиевой фольги защищает от света и кислорода. Таким образом, многослойный асептический пакет обеспечивает длительное безопасное хранение продукта, создавая эффективный барьер против бактерий и других внешних нежелательных воздействий. Такая многослойность не просто обеспечивает жесткость упаковки, придавая ей красивую форму и устойчивость на полке. Главная ее функция состоит в том, чтобы не только предотвратить протекание жидкости, но и надежно защитить содержимое пакета от попадания в него влаги и грязи извне, а также исключить проникновение в сок солнечных лучей и кислорода, под действием которых разрушаются витамины и страдает цвет продукта.

Таким образом, асептическая картонная упаковка является наиболее надежной в части сохранности полезных и вкусовых свойств сока. Также картонная упаковка наиболее предпочтительна с точки зрения защиты окружающей среды. На 75% она состоят из целлюлозы, получаемой из возобновляемого сырья – древесины. Упаковка гарантирует эффективное использование ресурсов в течение всего жизненного цикла. Она легкая, не занимает много места, ее просто транспортировать и хранить, а также вторично перерабатывать. Картонная упаковка выделяет лишь незначительное количество CO2, что является весомым преимуществом с точки зрения защиты климата.

Такая оценка – это не в последнюю очередь результат и явных преимуществ при транспортировке, благодаря которым экономится топливо и сокращается количество вредных выбросов. Картонная упаковка легкая, за счет своей формы удобно штабелируется, что делает всю цепочку поставок эффективной. Так как на предприятия картонная упаковка попадает в виде плоских заготовок – рукавов, это позволяет оптимально использовать объем грузового пространства. При транспортировке готовых продуктов в картонной упаковке сама упаковка занимает всего 5 процентов объема грузовика, остальные 95 процентов – это продукт.

Таким образом, при транспортировке картонной упаковки окружающая среда меньше страдает от выбросов вредных веществ, чем при транспортировке более тяжелых и занимающих больше места упаковок других типов.

В ходе экологической экспертизы, результаты которой были опубликованы в 2006 году, было впервые проведено сравнение влияния на климат картонной упаковки и одноразовых бутылок из полиэтилена. Данное исследование показало, что с точки зрения защиты климата картон обладает значительными преимуществами. Для производства одноразовых бутылок необходимо почти в два раза больше ископаемых ресурсов, кроме того, они являются источником в два–три раза большего количества вредных для климата газов. Для того чтобы выделиться на полках в магазине была придумана упаковка Pure-Pak Curve с изогнутой пятой гранью. Дополнительная грань является отличным инструментом для передачи рекламных сообщений потребителю и для привлечения внимания покупателей.

Стеклянные бутылки.

У стеклянных бутылок также есть свои минусы. Соки в стеклянной таре нужно хранить в безопасном от солнечного света месте, чтобы не произошел распад всех полезных веществ и витаминов. Также при перевозке они легко могут разбиться. При розливе в стеклянную тару сок подвергается довольно длительной стерилизации. В результате разрушается большая часть витаминов. Среди неоспоримых плюсов стеклянной упаковки - экологичность и возможность использовать такую тару повторно. В то же время упакованный в стекло сок весит намного больше, а разбить бутылку проще.

Качественная оценка эффективности.

На основании данных, приведённых в таблицах 1 и 2, можно сделать вывод о том, что картонная упаковка наиболее выгодна как для транспортировки, так и для хранения.

Таблица 1. Достоинства и недостатки различной тары.

 В ПЛАСТИКОВЫХ БУТЫЛКАХ: удобно и практично **Достоинства**: 1. Жесткая форма. 2. Наличие удобной пробки. 3. Небольшой вес. 4. Увеличенный срок хранения. **Недостатки**: 1. Длительный контакт с пластиком для сока не желателен. 2. Упаковка пропускает некоторое количество света, и это портит вкус и состав сока. Впрочем, есть более плотные и непрозрачные полимерные бутылки, именно такие и нужно покупать.	 **В ТЕТРАПАКАХ:** компактно и экологично **Достоинства**: 1. Легкий вес, компактность, прочность. 2. Экологичность. Подходит для вторичной переработки, так что у этой упаковки большое будущее. Кстати, смекалистые бабушки также умудряются «вторично использовать» тетрапаки, высаживая в них рассаду. 3. Невысокая стоимость – всего лишь на 2-3 рубля дороже, чем продукт в пленке. 4. Защита от света и других нежелательных воздействий - упаковка состоит из 6 слоев: картон, фольга, полиэтилен. 5. Пакет герметичен, сок может дольше храниться и без холодильника, если пакет не вскрывали. **Недостатки**: Недостатков нет. Это на данный момент самая современная, удобная и недорогая упаковка.	 **В СТЕКЛЯННЫХ БУТЫЛКАХ:** Экологично **Достоинства:** 1.Экологичность. 2.Возможность использовать упаковку повторно. 3.Длительное хранение. **Недостатки:** 1.Довольно длительная стерилизация. 2.Достаточно большой вес 3.Возможность разбить упаковку при транспортировке. 4.Возможность проникновения солнечного света, что ведет к распаду всех полезных веществ и витаминов.

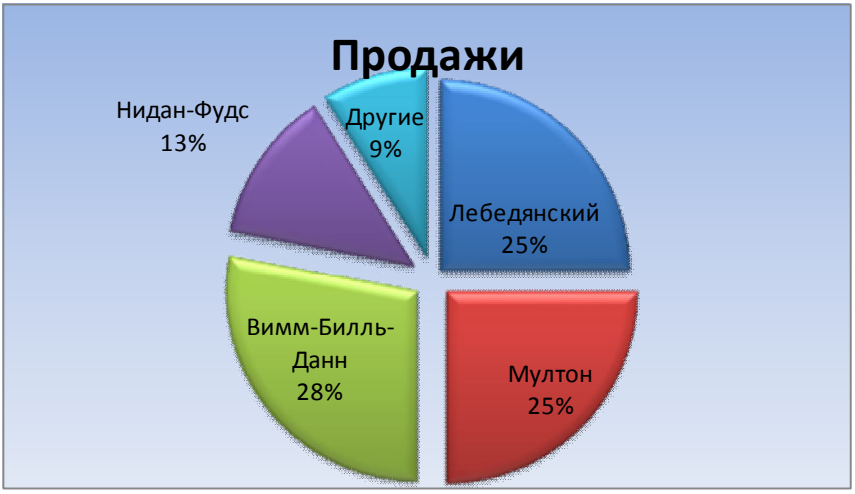
Таблица 2. Эффективность различной тары.

Эффективность	**Картонная**	**Пластиковая**	**Стеклянная**
Транспортировка	При транспортировке готовых продуктов в картонной упаковке	Пластиковая упаковка во время транспортировки не	При перевозке продукта в стеклянной таре

	сама упаковка занимает всего 5 процентов объема грузовика, остальные 95 процентов – это продукт.	бьется, как стеклянная. Однако занимает гораздо больше места в отличие от картонной.	легко может разбиться. Также упаковка имеет большой вес.
Хранение	Длительное хранение обеспечивает асептическая упаковка, которая на долгое время защищает продукт от внешних воздействий, а также сохраняет в нем все полезные вещества и витамины.	Все соки обладают высокой кислотностью. Кислота сразу же вступает в реакцию с пластиком. В результате, покупая сок в пластиковой таре, вы употребляете вместе с соком, продукты распада после химической реакции.	Соки в стеклянной упаковке нужно хранить в безопасном от солнечного света месте, чтобы не произошел распад всех полезных веществ и витаминов.
Экологичность	Асептическая упаковка на 75% состоит из целлюлозы, получаемой из возобновляемого сырья – древесины. Упаковка гарантирует эффективное использование ресурсов в течение всего жизненного цикла.	Вторичная переработка	Стеклянную тару возможно использовать повторно.

Анализ рынка соков и нектаров в России в 2000-2013 гг, прогноз на 2014-2016 гг.

Одной из отличительных особенностей современного рынка является **отсутствие абсолютного лидера**. Прочные позиции занимают соки «Добрый» (Мултон), «Фруктовый сад» (ЭКЗ «Лебедянский»), «Моя Семья» (Нидан), «Любимый» (Вимм-Билль-Данн) и другие (рис. 1). Рынок начал переживать бурный подъем: 40% в 2000 году (объем производства: 0,75 млрд. литров), 60% в 2001 (объем производства: 1,20 млрд. литров), 23% в 2002 году (объем производства: 1,48 млрд. литров) и 19% в 2003 году. В 2004 году ожидается только 15% увеличения. С 2005 по 2010 год рынок увеличится всего лишь на 5% и достигнет 2,9 млрд. л.



Р

ис. 1. Диаграмма продаж.

Таким образом, хотя рынок соков и продолжает расти, но темпы этого роста стали замедляться, и по прогнозам экспертов в ближайшие

годы эта тенденция сохранится, так как рост объемов производства значительно обгоняет темпы увеличения потребления.

Потребление соков также увеличивалось в последние годы. В 2002 году потребление сока составило 10 л в год на человека. Но большая часть соковой продукции потребляется в крупных городах — Москве и Санкт-Петербурге. Например, в Москве среднее потребление соков за 2003 год составляет почти 20 литров, в Санкт-Петербурге — 15 литров. Но уже сегодня в Москве предел роста уже практически исчерпан: потребление соков и нектаров на душу населения в столице составляет 24л (в целом по России — примерно 11л). Это объясняется тем, что в крупных городах заработки у людей намного выше, чем на периферии.

На протяжении 2000-2011 гг. самыми популярными соками в стране по объёму натуральных продаж являлись яблочный сок, апельсиновый сок и соки тропических и субтропических плодов. Доля яблочного сока за пятилетний период составила в среднем 33,2% от общего объёма продаж соков в России, доля апельсинового сока – 10,7%, доля соков тропических и субтропических плодов – 10,7%.

Суммарная доля натуральных продаж данных соков за 2007-2011 гг. составила в среднем 54,5%.

Следует отметить, что в России большой популярностью пользуются смеси соков из разных фруктов и овощей, например, яблоко-виноград, яблоко-вишня и пр. Данная тенденция объясняет высокую долю прочих соков в объёме натуральных продаж. Так, в 2011 г доля прочих соков составила 26,5% от общего объёма продаж (рис. 2).

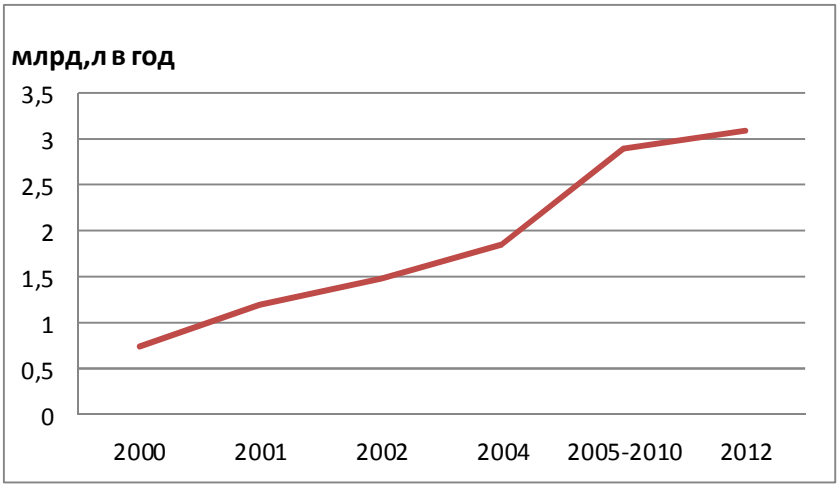


Рис. 2. Упаковка соков на рынке.

Упаковка соков на мировом рынке.

Как сообщил РБК эксперт Tetra Pak Андрей Разумов, рынки упаковки США и России категорически отличаются, так как в США преобладает принципиально иной вид соковой индустрии. Американские компании предпочитают вырабатывать соки холодного хранения, которые представляют собой свежеотжатые напитки, поэтому срок хранения их не превышает 3-х дней. Пакетируются такие соки в большие пластиковые канистры емкостью от 2-х литров. Со сроком хранения около месяца в США распространены соки пастеризованные.

Доля такой продукции достигает на американском рынке 50% и пакетируется в картонные коробки емкостью 1 литр и более с винтовой крышкой Tetra Top. Как заметил А. Разумов, "в США соки разливают в тару, которую европейцы используют для кисломолочных продуктов".

В Европе используется для пакетирования сока картонная асептическая упаковка. Продукция предполагает длительный срок хранения. Российская соковая индустрия пошла по европейскому варианту развития упаковки. По данным Tetra Pak, на этот вид тары в России приходится 85% розлива соков. А. Разумов отметил, что попытки пакетирования соков в PET по американскому образцу присутствуют в России, вложения в PET-оборудование невелики, однако и больших доходов, упакованная таким образом, продукция на местном рынке не приносит. К тому же стоимость перевозки соков в такой таре становится более накладной, так как PET-бутылки

невозможно плотно складировать, в результате остается много незадействованного пространства между тарой, аключил А. Разумов.

По словам Бриджиты Отто, менеджера-технолога компании Zimmer AG из Франкфурта, в последующие 10 лет следует ожидать рост потребления PET в отрасли розлива соковых напитков на 140%. Она отмечает, что данной прогноз строится прежде всего на той предпосылке, что тара из PET станет удовлетворять требованиям производителей сока. Холодная пастеризация во время заливки позволяет избежать использования консервантов при упаковке соков в PET бутылки. Однако Wesergold Getrankeindustrie считает, что применение холодной пастеризации становится выгодным только при производственных мощностях более чем в 5000 часов в год. Таким образом, мировая практика сейчас широко не применяет алюминиевые банки и PET для розлива соков.

Наибольший объем поставок на мировой рынок по производству упаковки для сока обеспечивается компанией "Tetra Pak" - промышленной группой концерна "Tetra Laval", Швеция, в России зарегистрирована как "Тетра Пак А\О". Наряду с этим видом упаковки на рынке предлагается картонная тара для розлива PKL - Combiblock, Variopack, Elopack. В последнее десятилетие поставщики упаковки предлагают свои услуги в пакете с оборудованием для розлива в тару. Однако, например, "Tetra Pak" вышла на рынок оборудования для упаковки молока, фруктовых соков, напитков и других продуктов только 10 лет назад. В 1991 году Тетра Пак расширила спектр поставляемого оборудования за счет машин по переработке жидких продуктов питания, оборудования по

производству сыра, а также начала предоставлять услуги по проектированию производственных линий.

На рынок оборудования для производства напитков и соков начинают выходить и отечественные производители, такие как "Ленпродмаш", "Эльф4М" и т.д. Однако основной проблемой российских производителей является то, что они не всегда могут предоставить решение "под ключ", включая все необходимые элементы оборудования, соответствующие устройства, помогающие точно следить за всеми параметрами технологического процесса. Использование ее на российском оборудовании ведет к его значительному удорожанию, а выбор отечественного поставщика оборудования до настоящего момента все еще происходит благодаря его меньшей стоимости по сравнению с иностранным.

Согласно результатам нового исследования агентства РБК.research, посвященного анализу потребительского поведения на российском рынке соков, упаковка сока является важной характеристикой при его выборе. Абсолютное большинство покупателей соков (77%) отдает предпочтение сокам в картонной упаковке, 31% россиян иногда покупают соки в стеклянной таре, а пластиковая тара пользуется популярностью лишь у 10% опрошенных. [www.upakovano.ru]

Опрос. Индивидуальные оценки экспертов основаны на использовании мнений специалистов независимо друг от друга. Опрос группы или даже нескольких групп экспертов позволяет расширить возможности получения оценок; однако в этом случае необходим статистический анализ, в результате которого определяют

качественные характеристики группы экспертов, средние статистические значения оценок и степень их надежности.

Основные этапы проведения экспертизы включают: формулирование цели экспертизы, разработку анкеты и процедуры опроса; отбор экспертов и формирование группы; проведение опроса; анализ и обработку информации, полученной от экспертов; синтез объективной информации и информации, полученной от экспертов, с целью приведения ее в форму, удобную для принятия решения.

Выбор цели и характер процедуры экспертизы определяются сутью проблемы, предполагаемыми конечными результатами, возможными способами представления результатов, надежностью и полнотой имеющихся данных.

Анкета – набор вопросов, имеющий определенную структуру; каждый из вопросов логически связан с центральной задачей экспертизы. Помимо основных вопросов по существу проблемы, анкета может содержать и такие, которые формируют объективные данные о самом эксперте, а также позволяют выявить мотивы, которыми руководствовался эксперт при оценке.

[Савченко Н.Н. «Технико-экономический анализ проектных решений»]

Выборочное среднее.

Выборочное среднее (среднее арифметическое) значение как статистический показатель представляет собой среднюю оценку изучаемого в эксперименте психологического качества. Эта оценка характеризует степень его развития в целом у той группы

испытуемых, которая была подвергнута психодиагностическому обследованию. Сравнивая непосредственно средние значения двух или нескольких выборок, мы можем судить об относительной степени развития у людей, составляющих эти выборки, оцениваемого качества.

Выборочное среднее определяется при помощи следующей формулы:

$$\overline{X} = \frac{(X_1 + X_2 + \ldots + X_n)}{n} = \frac{1}{n} \cdot \left(\sum_{i=1}^{n} X_i \right), \quad (1)$$

где x - выборочная средняя величина или среднее арифметическое значение по выборке;

n - количество испытуемых в выборке или частных психодиагностических показателей, на основе которых вычисляется средняя величина;

x_k - частные значения показателей у отдельных испытуемых. Всего таких показателей n, поэтому индекс k данной переменной принимает значения от 1 до n;

$\sum$ - принятый в математике знак суммирования величин тех переменных, которые находятся справа от этого знака. Выражение соответственно означает сумму всех x с индексом k, от 1до n.

В данной работе предлагается рассмотреть анкету, характеризующую особенности видов упаковки сока.

Анкета:

I. Как часто вы приобретаете сок?

1. Несколько раз в неделю

2. Несколько раз в месяц
3. Один раз в месяц и реже
4. Крайне редко или не приобретаю

II. На что в первую очередь обращаете внимание, покупая данный продукт?

1. На стоимость товара
2. На упаковку товара
3. На марку и производителя
4. На оформление упаковки

III. В какой упаковке вы предпочитаете приобретать сок?

1. Картонная
2. Пластиковая
3. Стеклянная
4. Не имеет значения

Обработка результатов опроса.

Анкета состоит из трех вопросов. Данным вопросам соответствует четыре варианта ответа, каждому из которых присвоен свой номер от 1 до 4. В опросе принимали участие 10 независимых экспертов, которые выбирали номер ответа из приведенных по каждому вопросу в анкете. Составим таблицу полученных результатов (табл. 3).

Таблица 3. Результаты опроса.

ЭКСПЕРТ / № ВОПРОСА	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I вопрос	3	1	2	1	1	1	2	4	1	3
II вопрос	2	4	2	1	1	2	4	3	1	2
III вопрос	1	1	3	2	1	3	1	4	1	1

По формуле (1) посчитаем для каждого вопроса выборочную среднюю величину или среднее арифметическое значение по выборке.

Для I вопроса: $\bar{x}=\frac{1+1+1+1+1+2+2+3+3+4}{10}$

$\bar{x}=1,9$

Для II вопроса: $\bar{x}=\frac{1+1+1+2+2+2+2+3+4+4}{10}$

$\bar{x}=2,2$

Для III вопроса: $\bar{x}=\frac{1+1+1+1+1+1+2+3+3+4}{10}$

$\bar{x}=1,8$

По данным, полученным в расчете, следует, что по каждому из трёх вопросов эксперты выбирали ответ под номером «2». Таким образом, данные опроса показали, что эксперты приобретают сок несколько раз в месяц; покупая данный продукт, обращают внимание на упаковку товара и предпочитают его в пластиковой упаковке. При этом при использовании метода по средним значениям получаем, несмотря на то, что большинство экспертов выбрали вариант ответа

под номером «1», из расчета следует вариант «2». Это свидетельствует о неточности данного метода.

Анализ цены.

Проведем сравнительный анализ зависимости упаковки сока от его цены. Для этого возьмем 0,5 литра апельсинового сокаи укажем его стоимость:

- в пластиковой упаковке 40руб.,
- в картонной упаковке 28руб.,
- в стеклянной упаковке 95 руб.

Анализ показал, что наиболее высокая цена сока в стеклянной упаковке, наиболее низкая - в картонной.

Оценка экономической эффективности реализации соков в различных видах упаковки.

Экономическая эффективность реализации продукции оценивается показателем рентабельности как отношение прибыли к затратам. При этом существует особый вид рентабельности – рентабельность продаж (отношение прибыли к выручке).

Выручка от продаж - выручка от совокупных продаж за данный учетный период, оцененная по полным ценам без учета предоставленных дисконтов, возвратов проданной продукции, снижений цен и прочих поправок.

Плановую выручку от реализации продукции определяют методом прямого счета умножения количества реализованной продукции на их реализационную цену.

Прибыль – разница между выручкой и затратами. Прибыль можно также рассчитать как процент от выручки. Такой расчет будет

применен в нашем случае, т.к. данных о затратах нет, а долю задать можно.

Рентабельность продаж характеризует конкурентоспособность продукции, а также дает возможность оценить эффективность реализации в условиях отсутствия информации о затратах, что характерно для нашего исследования. Для определения рентабельности продаж сока в каждом из видов упаковки, зададимся исходными данными и допущениями.

1. Определим объем продаж (шт.) на основе данных наблюдения о продажах сока в супермаркете за 30 минут, делая допущения, что объем продаж за месяц прямо пропорционален полученному при наблюдении количеству.
2. Определим доли объемов продаж каждого вида с учетом данных наблюдения (рис 3.).
3. Сделаем допущение, что суммарная прибыль от реализации соков составляет 40% от выручки, а доля величины прибыли для каждого вида упакованного сока равна доле объема продаж сока этого вида. Иными словами, если доля продаж сока в картонной упаковке равна 0,6, то и величина прибыли от реализации этой продукции составляет 0,6 от общей прибыли.

Определение объема продаж.

Зададимся объемом продаваемой продукции исходя из наблюдений. В качестве объекта наблюдения выберем 1 л. Сока в различных упаковках (картон, пластик, стекло).

Данные о наблюдениях представлены в таблице 3.

Таблица 3. Объемы продаж.

Вид упаковки	Объем продаж за 30 мин. (шт/час)	Объем продаж в день (при условии 14-ти часовой работы супермаркета в день) (шт/день)
Картон	18	500
Пластик	5	125
Стекло	7	210
Итого	30	835

Определим доли объемов продаж каждого вида (рис. 3).

Рис. 3. Доли реализации в зависимости от вида упаковки сока.

Расчет выручки.

Посчитаем выручку для каждой упаковки сока за 1 месяц (30 дней). Расчет производится по формуле:

$$W=C*N*30,$$

где W- выручка;

C - цена одного литра сока;

N - количество, продаваемое в день;

30 - количество дней в месяце.

Для картонной упаковки: $W_к=56*500*30=840000$ руб.

Для пластиковой: $W_{пл}=80*125*30=300000$ руб.

Для стеклянной: $W_{ст}=190*210*30=1197000$ руб.

Расчет прибыли.

Задаемся, что суммарная прибыль от реализации соков составляет 40 % от выручки, а доля величины прибыли для каждого вида упакованного сока равна доле объема продаж этого вида в месяц.

Тогда получим:

$П_{сум} = 0,4 * W_{сум} = 0,4 * (835 * 30) = 934800$ руб.

$П_к = 0,6 * П_{сум} = 0,6 * 934800 = 560880$ руб.

$П_{пл} = 0,15 * П_{сум} = 0,15 * 934800 = 140220$ руб.

$П_{ст} = 0,25 * П_{сум} = 0,25 * 934800 = 233700$ руб.

Расчет рентабельности продаж

Расчет производится по формуле $R_{пр} = П / W$.

Тогда

$R_{пр\ к} = (560880 / 840000) * 100\% = 70\%$

$R_{пр\ пл} = (140220 / 300000) * 100\% = 50\%$

$R_{пр\ ст} = (233700 / 1197000) * 100\% = 20\%$

В результате расчетов получили, что экономически эффективной является картонная упаковка сока.

Заключение.

В результате анализа потребительских свойств стеклянной, картонной и пластиковой тары выявлено, что наиболее полезной упаковкой является картонная, так она сохраняет все изначальные свойства продукта.

На основе проведенного в работе опроса выявлена самая популярная среди потребителей тара - картонная.

В результате оценки экономической эффективности выявлено, что наиболее эффективной является картонная упаковка.

Литература:

1. Савченко Н.Н. «Технико-экономический анализ проектных решений». 2003. Экзамен.

2. Экономика предприятия. Под ред. С.Г.Фалько, 2010. Кнорус

3. www.marketing.rbc.ru

4. http://www.pakkograff.ru/reader/articles/materials/general/1112.php

Оценка эффективности использования альтернативных источников энергии на территории Российской Федерации

ЗАДОРОЖНЫЙ Евгений Николаевич
г. Москва, ГОУ Лицей №1580, 11 класс

Научный руководитель:
Клементьева Светлана Вячеславовна,
к.т.н., доцент кафедры
«Экономика и организация производства»
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Введение.

В настоящее время в России используются такие альтернативные источники, как энергия Земли, Солнца, ветра, морских волн и биомассы, но количество энергии, вырабатываемой такими способами, невероятно мало и составляет 0,6%, а при использовании традиционных источников - 99,4% [1,2]. Для сравнения в Европе доля энергии, вырабатываемой нетрадиционными источниками – более 20-50%, а традиционными источниками -30-68% . Эффективность использования тех или иных альтернативных источников энергии напрямую зависит от региона, в котором они будут использоваться.

Несмотря на то, что ветряные генераторы и солнечные электрические батареи являются самыми дорогостоящими элементами индивидуального автономного энергоснабжения, и в то же время они обеспечивают практически полную независимость потребителей от

централизованного подключения к электрическим сетям. При использовании правильно спроектированных комбинированных систем «солнце-ветер», учитывающих климатические и географические факторы, себестоимость одного киловатта электрической энергии составляет сейчас 30…50 центов, однако с развитием технологий получения альтернативной энергии и неизбежного роста цен на природное топливо актуальность использования таких систем в микроэнергетике будет неуклонно возрастать.

Основные преимущества ветрогенераторных и солнечных станций:

1. Мобильность.
2. Независимость от дополнительного источника энергии.
3. Экологическая безопасность при эксплуатации.
4. Возможность получать доход при эксплуатации:
   - после окончания срока окупаемости;
   - при сбросе текущих избытков электрической энергии в сеть.

Целью работы является расчет эффективности капиталовложений для создания систем обеспечения электроэнергией, генерируемой альтернативными источниками энергии (солнечные станции, ветрогенераторы), небольших поселков с рационально-оптимальной инфраструктурой. Для решения поставленной цели были проведены два расчета по оценке количества ветроэнергоустановок и солнечных станций, необходимых для обеспечения поселка городского типа электроэнергией и индивидуальных потребителей. Проведен сравнительный анализ экономической эффективности

капиталовложений в проект с солнечной станцией и ветрогенераторами на примере поселка городского типа с заданным количеством потребителей. При сравнении альтернативных источников энергии были учтены условия эксплуатации, начальные капиталовложения, технические характеристики, удельная мощность, себестоимость выработанной энергии, сроки окупаемости, область применения с максимальной эффективностью.

Расчет количества ветроэнергоустановок, необходимого для обеспечения поселка городского типа электроэнергией.

Расчет проведен исходя из количества жителей (примерно 1300 чел.) и структуры поселка (1-школа, 1- больница, 1- административное здание, 1-производство, 1- порт).

Потребляемая электрическая мощность:

Школа	12 кВт
Больница	12 кВт
Административно-хозяйственные здания	8,5 кВт
Производство и порт	51 кВт
Жилой сектор (25 домов по 15 кв.)	562,5 кВт
Итого	646 кВт

В качестве генератора электрической мощности была выбрана ветроэнергоустановка –Condor Air 380.

Основные характеристики ветроэнергоустановки –Condor Air 380

Генерируемая мощность	60кВт
Стоимость	2,5 млн. руб.
Количество	11 шт.

Был проведен расчет капиталовложений для осуществления проекта:

Квл = 2,5млн. руб х 11 шт. = 27,5 млн. руб. (1)

Также был рассчитан срок окупаемости [3,4]:

$$\underline{\textit{Срок окупаемости}} = \frac{\text{Квл}}{\sum \frac{\text{доход}-\text{расход}}{(1+i)^t}} \quad (2),$$

где доход- доход в руб. от продажи потребителям генерированной электроэнергии :

646 кВт х 24 час х365 дн. х 4,05 руб. = 22918788 руб;

расход – зарплата обслуживающего персонала (5ставок х 20 тыс.руб./мес.); затраты на техническое обслуживание (50 тыс. руб./год), аренда помещения обслуживающей бригады (10 тыс. руб./год), итого: 1260000 руб/год.;

$i = i_{инфл.} + i_{риски} + i_{безриски} = 15\% + 5\% + 3\% = 23\%$ - ставка дисконтирования;

t – временной интервал (1 год).

В расчетах стоимость 1 кВт электроэнергии принята 4,05 руб.

Срок окупаемости составил 1,56 года.

Для расчета прибыли от проекта был проведен расчет чистого дисконтированного дохода (ЧДД):

$$\underline{ЧДД} = \sum \frac{\text{доход}-\text{расход}}{(1+i)^t} - \text{Квл} \quad (3),$$

где t = 5 лет

доход за 5 лет – 114593940 руб.

расход за 5 лет – 6300000 руб.

$(1+i)^t = 2.815$

ЧДД = 38538768 – 27500000 = 10966139 руб.

Таким образом, экономическая эффективность части проекта по использованию в качестве источников электрической мощности ветрогенераторов подтверждается расчетами *ЧДД* и *Срока окупаемости*. Из расчетов следует, что отношение *ЧДД* к *Квл* составляет 40%.

Расчет количества солнечных станций, необходимого для обеспечения поселка городского типа электроэнергией

Для проекта была выбрана солнечная станция «СОЛНЕЧНЫЙ ДОМ». Основные характеристики солнечной станции «СОЛНЕЧНЫЙ ДОМ»:

Генерируемая рабочая мощность	1600 Вт
Суточная выработка (в июне)	2400 Вт·ч
Стоимость	89 тыс. руб.

Из учета потребности городского поселка в электроэнергии рассчитаем количество установок:

$$N = \frac{646\ \text{кВт}}{1600\ \text{Вт}} = 403{,}7 \approx 410\ \text{шт}$$

Расчет капиталовложений: Квл = 89 тыс. руб х 410 шт. = 36490000 руб.

Расчет срока окупаемости: *Срок окупаемости* $= \frac{\text{Квл}}{\sum \frac{\text{доход-расход}}{(1+i)^t}}$,

где доход - доход в руб. от продажи потребителям генерированной электроэнергии:

646 кВт х 24 час х365 дн. х 4,05 руб. = 22918788 руб.

Здесь стоимость 1 кВт электроэнергии принята 4,05 руб.

Расход – зарплата обслуживающего персонала (7 ставок х 20тыс. руб/мес.); затраты на техническое обслуживание (50 тыс. руб./год); аренда помещения для обслуживающей бригады (10 тыс. руб./год) = 1740000 руб/год.

$i = i_{инфл.} + i_{риски} + i_{безриски} = 15\% + 5\% + 3\% = 23\%$ - ставка дисконтирования

t – временной интервал (1 год). Срок окупаемости - 2,11 года.

Расчет чистого дисконтированного дохода (ЧДД) [3.4]

$$\underline{ЧДД} = \sum \frac{доход - расход}{(1+i)^t} \quad \text{- Квл,}$$

где t = 5 лет,

доход за 5 лет 22918788 руб/год х 5 лет = 114593940 руб.

расход за 5 лет 1740000 руб./год х 5 лет = 8700000 руб.

$(1+i)^t = 2.815$

ЧДД = 1127740 руб.

Таким образом, экономическая эффективность части проекта по использованию в качестве источников электрической мощности солнечных станций подтверждается расчетами *ЧДД* и с*рока окупаемости*. Из расчетов следует, что отношение *ЧДД* к *Квл* составляет 3%. Следовательно, проект с солнечными станциями в сравнении с проектом, где в качестве источников электрической энергии предлагаются ветрогенераторные станции является более предпочтительным в экономическом плане.

Итоговый сравнительный анализ использования ветрогенераторных и солнечных станций.

В таблице 1 приведены основные экономические показатели по проектам, в которых в качестве источника генерации электроэнергии предлагается использовать ветрогенераторы и солнечные станции. Также в таблице 1 приведен разностный показатель, который определен как разница между основными экономическими показателями ветрогенераторных и солнечных станций. Результаты таблицы представлены на рис. 1. По всем экономическим показателям более предпочтительной является выработка электроэнергии ветрогенераторами, нежели солнечными станциями.

В таблицах 2 и 3 представлены доход и расход за пять лет эксплуатации ветрогенераторных и солнечных станций. На рис. 2 представлено распределение доходов и расходов для ветрогенераторных и солнечных станций за пять лет. Так как расход на эксплуатацию ветрогенераторной станции меньше, чем солнечной станции, то при одинаковой стоимости выработанной электроэнергии ветрогенератрная станция, при прочих равных условиях, выходит на первое место. Прочие равные условия включают, например, отсутствие калькуляции на стоимость комплектующих в случае возникновения внештатной, аварийной ситуации.

Таблица 1. Основные экономические показатели по проектам.

Источник энергии	Вертогенераторные станции	Солнечные станции	Разностный показатель, Δ

Показатель			
Квл, млн. руб.	27,5	36,49	-8,99
ЧДД, млн. руб.	10,96	1,12	9,84
Срок окупаемости, годы	1,56	2,11	-0,55
ЧДД/Квл 100%	40	3	37

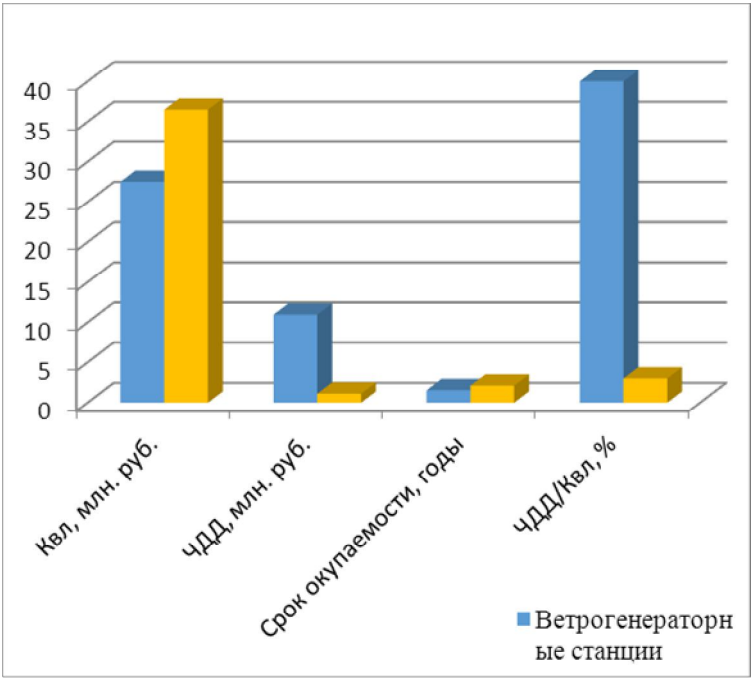


Рис. 1. Сравнение основных экономических показателей.

Таблица 2. Размеры доходов.

Доход, млн.руб./год	Ветрогенераторные	Солнечные

№ года эксплуатации	станции	станции
1	22,918	22,918
2	45,83	45,83
3	68,75	68,75
4	91,67	91,67
5	114,59	114,59

Таблица 3. Размеры расходов.

Расход, млн. руб./год / Годы	Ветрогенераторные станции	Солнечные Станции
1	1,26	1,74
2	2,52	3,48
3	3,78	5,22
4	5,04	6,96
5	6,3	8,7

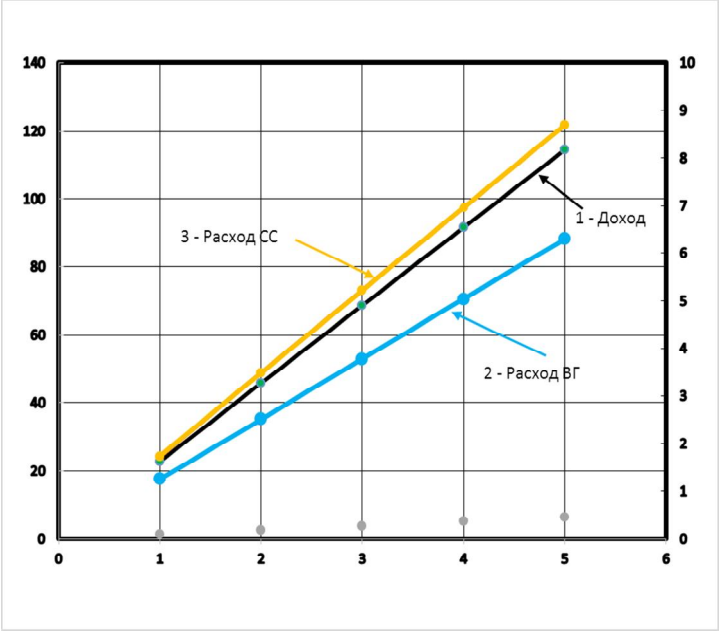


Рис. 2. Распределение доходов и расходов по двум проектам в течении 5 лет.

Расчет стоимости генерации электроэнергии при использовании в качестве альтернативного источника энергии солнечной батареи для индивидуальных потребителей.

1.1. Пример расчета потребления электрической мощности на семью из четырех человек.

Потребители электроэнергии – требуемые мощности:

- Холодильник – 400 Вт,
- TV – 150 Вт,
- Свет – 10х60 Вт = 600 Вт,
- Компьютер, телефон, модем – 150Вт,
- Стиральная машина – 1000Вт.

- Микроволновая печь – 500Вт

Итого – 2800Вт

При этом 2800 Вт – это пиковая мощность.

Все приборы работают одновременно редко, то есть в процессе работы не возникают большие пиковые мощности. Среднюю потребляемую мощность можно рассчитать по показаниям счетчика электрической энергии. Средняя стоимость счета в квартплате составляет примерно 1000руб/мес. Стоимость электроэнергии по тарифу – 4,05 руб/кВт.ч.

Получаем среднюю потребляемую энергию за месяц:

$$1000/4{,}05 = 247 \text{ кВт.ч.}$$

С учетом количества дней в месяце (30 дней) и активного времени суток (12 часов) получаем требуемую суточную мощность:

$$1000/4{,}05 \cdot 30 \cdot 12 = 686 \text{ Вт.}$$

1.2. Подбор мощности солнечной станции.

Станция включает следующие модули:

- солнечную батарею (панель из нескольких соединенных солнечных элементов);
- зарядное устройство;
- аккумуляторную батарею (АКБ);
- инвертор.

С учетом запаса по мощности выберем 2 станции по 500Вт каждая. Исходные затраты или первоначальные капитальные вложения в проект базируются на стоимости двух станций с учетом их монтажа и составляют 49600руб.

1.3. Расчет срока окупаемости.

Ресурс АКБ – 6 лет, других элементов – 25 лет.

Таким образом, примерный срок бесперебойной эксплуатации станций до капитального ремонта – 25 лет.

Учитывая динамику изменения стоимости комплектующих модулей станции, расчет окупаемости проекта проведем за первые 10 лет.

Годовая стоимость потребленной электроэнергии, покрывающей потребности семьи:

1000руб/мес. х 12 мес. = 12000 руб в год.

Срок окупаемости двух солнечных станций:

СО=Стоимость станции/годовая стоимость генерированной энергии:

СО = 49600 руб/12000руб/год = 4,1 года

Корректировку срока окупаемости проведем исходя из ресурса работы АКБ. Ресурсный период работы АКБ – 6 лет.

1.4. Расчет экономии денежных средств.

За период сверх срока окупаемости, рассчитанного как 6 – 4,1 = 1,9 года, прибыль за этот период составит:

12000х1,9 = 22800 руб.

Динамика роста прибыли показан на графике (рис. 4). Итоговая прибыль от использования солнечных станций за расчетный период равный 10 лет составит:

120000 – 49600 – 10000 = 60 тыс. руб.

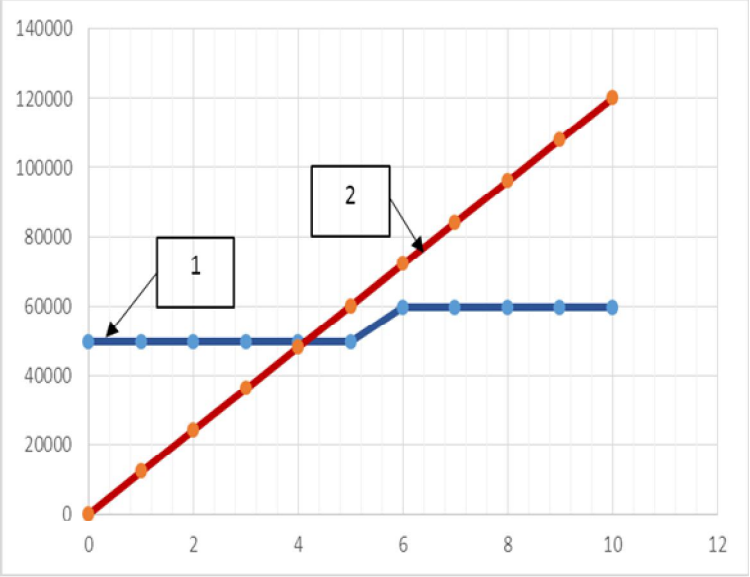


Рис. 4. Динамика соотношения затраты-прибыль: 1 – затраты; 2 – прибыль.

Закладывая общетехнические затраты на обслуживание за весь период эксплуатации в размере 30 % от стоимости станций – 0.3х49600 = 14880 руб., получаем чистую прибыль:

60000 – 14880 = 45120 руб.

Заключение.

Проведенный анализ экономической эффективности применения альтернативных источников энергии (ветровой и солнечной) показал, что ветряные станции по ряду экономических показателей (капиталовложения, срок окупаемости, чистый дисконтированный доход) превосходят солнечные станции в тех регионах, где достаточная ветровая нагрузка. Для освоения солнечной

энергетики требуются долгосрочные государственные программы, стимулирующие население на целевые капиталовложения.

Литература:

1. да Роза А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы: учебное пособие, пер. с англ. под редакцией Малышенко С.П., Попеля О.С., Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект»; М.: Издательский дом МЭИ; 2010, 704 с.
2. Экспертный портал по вопросам энергосбережения – Государственная информационная система в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности – URL: http://gisee.ru/news/
3. Виленский П. Л., Лившиц В. Н., Смоляк С. А. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика. — М.: Дело, 2008. — 1104 с. — ISBN 978-5-7749-0518-8.
4. Четыркин Е. М. Финансовая математика. — М.: Дело, 2008. — 400 с. — ISBN 978-5-7749-0504-1.

Система маркетинга и ориентация на потребителя

КУТИКИНА Александра Владимировна
г. Москва, ГБОУ Лицей №1581, 11 класс

Научный руководитель:
Омельченко Ирина Николаевна,
д.т.н., д.э.н., профессор,
заведующая кафедрой
«Промышленная логистика»
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Введение

Сфера розничной торговли интересна для изучения с точки зрения ориентации на потребителя поскольку, как говорят эксперты, «ритейл — это локальный бизнес». Розничные магазины находятся на периферии работы с потребителями и способны практически сразу заметить изменения их предпочтений. Именно поэтому большинство решений принимается на местах, что дает возможность быстрее принимать ответные меры на изменение поведения потребителя.

Данная работа посвящена изучению особенностей ориентации на потребителя для компаний розничной торговли.

Практическая актуальность работы заключается, во-первых, в описании применения целостного подхода к ориентации на потребителя, во-вторых, в предложении этапов работы в области ориентации на потребителя в сфере розничной торговли. В-третьих, в то время как розничные компании стремятся максимизировать результативность своего бизнеса через рост и увеличение прибыли, они сталкиваются с более требовательными потребителями, новыми правилами, глобализацией, дестабилизирующим воздействием

технического прогресса и государственным вмешательством. Поэтому в работе даны практические примеры применения элементов модели, которые будут полезны для любой розничной компании.

Новизна данной работы обосновывается тем, что многие розничные торговцы столкнулись с ситуацией, когда стандартные подходы в ориентации на потребителя очень трудно применить для данной отрасли. Если учесть, что она очень быстро меняется, то появляется необходимость искать пути ориентации на потребителя, при котором бизнес будет получать быструю отдачу.

Источники информации. В работе использовались первичные и вторичные источники информации. В качестве вторичных источников были использованы: англо- и русскоязычные статьи и научные публикации, базы данных и аналитика Росстата, анализы рынка ритейла, электронные источники, базы данных зарубежных журналов, а так же мнения экспертов в области ритейла.

Структура работы. Работа состоит из введения, трех глав, выводов, заключения, списка используемых источников.

Глава 1. Необходимость и сущность ориентации на потребителя в маркетинговой деятельности компании в сфере розничной торговли.

С развитием отрасли и возрастанием уровня конкуренции предприятиям розничной торговли приходится все чаще задумываться о предпочтениях своих потребителей. Они постепенно начинают осознавать важность применения подхода ориентации на потребителя. Предприятия розничной торговли, в основном это касается торговых сетей, только начинают изучать данное направление и сталкиваются с

тем, что подходы к ориентации на потребителя на рынке розничной торговли отличаются от стандартных подходов, которые уже несколько десятков лет обсуждаются в научной литературе.

Для того чтобы иметь представление о специфике ориентации на потребителя в сфере розничной торговли, следует вначале изучить общие подходы и модели ориентации на потребителя.

1.1. Сущность подхода ориентации на потребителя.

Ориентация на потребителя - это важное направление деятельности для любой успешной компании и необходимо рассмотреть его подробно. Для этого следует вначале изучить тему ориентации на рынок. Без ее изучения невозможно увидеть полную картину и правильно раскрыть тему ориентации на потребителя.

1.1.1.Ориентация на рынок.

В середине 1950-х годов, во время замещения послевоенного дефицита изобилием продуктов, развивалось понятие маркетинговой концепции, где краткосрочные продажи заменились на долгосрочную маркетинговую направленность. Рыночная ориентация имеет долгосрочную направленность, в которой компания конкурирует за счет постоянного поиска и реализации дополнительной ценности для своих потребителей [8]. Термин «рыночная ориентация» ссылается на введение в бизнес ориентации на рынок.

Одна из первых работ, где упоминается ориентация на рынок - это работа «Ценовая политика для новых продуктов». Распространение термина пришлось на 1970-е годы, где объяснялась важность ориентации на рынок и необходимость перефокусироваться с идеи краткосрочных продаж на потребителя. Также в работах того

времени говорилось о необходимости оценки предпринятых маркетинговых решений. В 1980-90-х годах с усилением конкуренции и турбулентности внешней среды классические инструменты маркетинга уже не справлялись со своей задачей. Как следствие, в 1990 г. американские исследователи Коли А. К. и Яворски Б. Д. [8], а также Нарвер Д. К. и Слейтер С. Ф. [7], опубликовали свои статьи, которые уже стали классическими для определения ориентации на рынок и методов ее измерения. Ими была установлена положительная взаимосвязь между ориентацией на рынок и результативностью бизнеса. Именно после этих работ началось глубокое и внимательное изучение концепции ориентации на рынок. На рисунке 1 представлена концепция авторов Нарвера Д. К. и Слейтера С. Ф. [7]. Это трехмерная модель, состоящая из ориентации на потребителя, конкурента и межфункциональной координации.

Рис. 1. Модель ориентации на рынок Нарвера Д. К. и Слейтера С. Ф.

Коли А. К. и Яворски Б. Д. [8] также определяют рыночную ориентацию как трехмерную конструкцию, но предлагают другие компоненты: создание широкой сети организационно-рыночной информации, распространение рыночной информации между подразделениями и общеорганизационное реагирование (рис. 2).

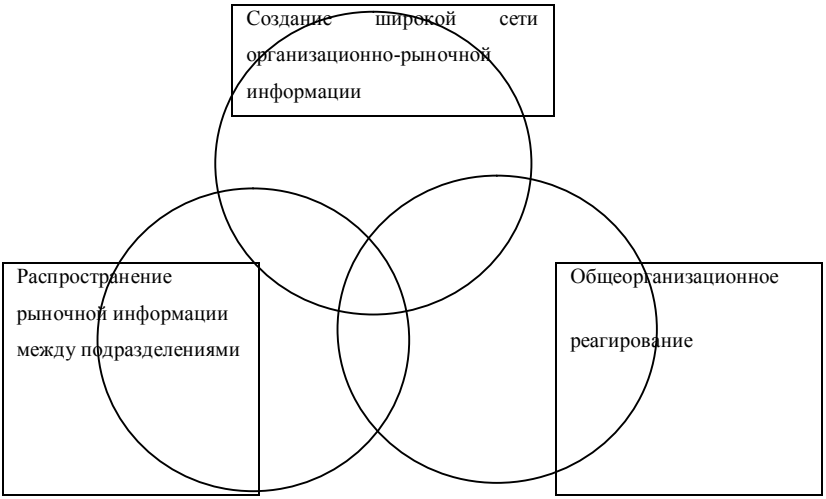


Рис. 2. Модель ориентации на рынок Коли А. К. и Яворски Б. Д.

Другие исследователи предполагают, что рыночная ориентация может быть более адекватно представлена как процесс, состоящий из четырех этапов: 1 - сбор информации о рынке, 2 - общеорганизационный обмен рыночной информацией, 3 - общая интерпретация рыночной информации и 4 - использование

информации о рынке в области стратегического планирования фирмы и принятия ответных мер.

Современный виток в изучении ориентации на потребителя приходится на 1990-е 2000-е годы, когда начался процесс объединения исследований в области ориентации на рынок, маркетинга и инноваций. Большое внимание стало уделяться связи рыночной ориентации с разработкой и реализацией инновационных продуктов. Каждый из исследователей делает уникальный и значительный вклад в изучение рыночной ориентации.

В то время как концепции отдельных исследователей все же отличаются, видно, что они согласуются по двум направлениям. Первое, информация о потребителях и конкурентах имеет важное значение для рыночной ориентации, и второе - предполагается, что информация используется фирмами в стратегическом планировании и реагировании.

Рыночная ориентация обеспечивает более прочное финансовое и дифференциационное преимущество, чем продуктовые или процессные инновации. Фирмы, которые первые начинают использовать рыночную ориентацию, будут более способными идентифицировать потребности потребителей, которые являются еще неудовлетворенными в отрасли и своевременно реагировать на них. Пока другие еще не успели понять, что произошло, рыночно ориентированные компании уже предоставляют потребителю то, что он хочет.

Конкурентные преимущества компаний, которые первыми в отрасли стали применять ориентацию на рынок, зависит и от других

их навыков и ресурсов, например, потенциал исследований и разработок, стратегий конкурентов и изменений в окружающей среде. Компании, которые позже стали применять рыночную ориентацию, могут также научиться на ошибках пионеров и, следовательно, быть более внимательными в развитии внутриорганизационных возможностей и реагировании на потребности потребителей.

Отсутствие же в фирме рыночной ориентации может серьезно и негативно отразиться на ее способности соответствовать требованиям новой макромаркегинговой среды [3]. А это в свою очередь ведет к отсутствию понимания своих потребителей и, следовательно, неадекватной реакции на их желания и предпочтения.

1.1.2. Ориентация на потребителя как часть рыночной ориентации.

Нарвер Д. К. и Слейтер С. Ф. [7] говорят, что ориентация на потребителя - это достаточное понимание целевых покупателей для получения возможности непрерывно создавать для них дополнительную ценность. Другими словами, культура компании, основанная на принципах ориентации на потребителя, предполагает, что фирма концентрируется на предоставлении продуктов и услуг, отвечающих потребностям своих потребителей. Ориентация на потребителя как составная часть рыночной ориентации имеет фундаментальную основу - помещение потребителя в центр стратегического фокуса. Нарвер Д. К. и Слейтер С. Ф. [7] описывают ориентацию на потребителей и ориентацию на конкурентов как части общей рыночной ориентации фирмы. Коли А. К. и Яворски Б. Д.[8], для сравнения, рассматривают только информацию о потребителях.

Эти две влиятельные исследовательских группы отражают общее несогласие многих исследователей о том, какие компоненты должна включать рыночная ориентация. Следует отметить, что в литературе часто упоминаются эти два понятия в одном контексте. Эти несоответствия создают проблемы в изучении темы ориентации на потребителя.

Как упоминалось ранее, существует много подходов к ориентации на рынок. Однако из этих подходов можно сделать вывод, что базовая и важнейшая часть ориентации на рынок лежит в фокусе ориентации на потребителя. И чем сильнее ориентация на потребителя, тем более фирма ориентирована на рынок.

Вопросы ориентации на потребителя исследуется уже не первое десятилетие. В этой научной полемике невозможно не отдать должное вкладу Коли А. К. и Яворски Б. Д., а также Нарверу Д. К. и Слейтеру С. Ф., которые сделали большой рывок в изучении этой темы. Многие ученые на платформе их работ до сих пор проводят исследования в различных областях бизнеса. Одно можно сказать наверняка - компании должны уделять пристальное внимание ориентации на потребителя как важнейшей составляющей ориентации на рынок.

1.2. Специфика ориентации на потребителя и применение гравитационных моделей в сфере розничной торговли.

1.2.1. Необходимость ориентации на потребителя в сфере розничной торговли

Сегодня потребители имеют возможность выбирать место совершения покупок, учитывая многие факторы, такие как цена, ассортимент, доступность и уровень обслуживания. Для того, чтобы

успешно конкурировать на рынке, розничные магазины должны давать потребителям то, что они хотят сегодня и будут хотеть завтра. Для того, что бы потребитель выбирал тот или иной магазин ,необходимо, как минимум, добиться его удовлетворенности. Ее неотъемлемыми составляющими являются: 1) поведенческая (совершение покупок в данном магазине с определенной периодичностью) и 2) рациональная (решение о совершении покупок в данном магазине принимается не только под влиянием эмоций, но и с учетом реальных характеристик торговой точки) [5]. Удовлетворенности потребителя можно добиться только предоставляя ему необходимые характеристики торговой точки, что невозможно без ориентации на самого потребителя. При совершении покупки потребитель сравнивает свои предварительные ожидания с приобретенным опытом.

Розничные организации с недавних пор слали предпринимать значительные действия в области рыночной ориентации и принятия ответной реакции на изменения поведения потребителя. В особенности это относится к глобальным торговым сетям, поскольку у них есть ресурсы для развития этого направления и возможность передавать опыт внутри сети. Становится ясно, что реагирование на потребности потребителей в большей степени, чем на конкурентов, является важным источником преимущества для организаций розничной торговли. В ответ на ужесточение конкуренции государственное регулирование и неопределенность внешней среды компании стараются сделать свои стратегии более гибкими, а это значит. сфокусироваться на понимании своего потребителя.

На сегодняшний день модель или концепция работы магазина - важный аспект в розничном управлении. Розничная модель фокусируется на нескольких аспектах, которые необходимо учитывать при создании розничных магазинов. Во-первых, розничная модель влечет за собой понимание того, какие инструменты работают в розничной среде. Это включает в себя понимание того, какие материальные и нематериальные (к примеру, атмосфера, доступность) факторы важны для потребителя в данном регионе. Во-вторых, розничная модель также включает в себя понимание того, как различные размеры магазина будут влиять на функционал и финансовые показатели. В-третьих, розничные торговцы должны задаваться вопросом о том, как не выйти из бюджета при построении бизнеса. И, наконец, модель должна удовлетворять правила, касающиеся использования общественного пространства. Когда потребитель приходит в магазин, он сразу делает выводы о ценах, уровне обслуживания, доступности, атмосфере и других факторах.

Следует отметить, что одно из направлений изучения ориентации на потребителя в сфере розничной торговли, которое широко обсуждается в литературе - это измерение эмоций в «опыте покупателя» (customer experience). Авторы, которые пытались измерить эмоциональное состояние, которое было у потребителей, не сошлись во мнении, каким должен быть этот измеритель. Вывод из исследований таков: чем более вовлечен магазин в получении информации о потребителе, тем более вероятно потребитель проявит вовлеченность и соответствующие эмоции.

Однако, реагирования на потребности потребителей недостаточно. Предпочтения потребителей также имеют решающее значение для конкурентного преимущества в розничной торговле. Необходимо предугадывать желания потребителей, то есть предвидеть и удовлетворить возникающие или скрытые потребности потребителей. А это возможно только при использовании ранее упомянутых направлений. Розничные торговцы должны быть как «движущими рынок» (market driving), так и сами «движимы рынком» (market driven) [8].

Сегодня компаниям требуются обе эти компоненты, и многие розничные компании уже преследуют обе эти цели. К примеру, Zara, которая торгует одеждой в розницу, постоянно превышает ожидания потребителей современным, модным дизайном, отправляя своих дизайнеров на выставки по всему миру (аргумент в пользу «движущихся с рынком»). Zara также изменила способ, при котором потребители покупают модную одежду. Не в отдельных бутиках, а в сетевом магазине или торговом центре (аргумент в пользу «движущих рынок»).

Если розничные сети, стремятся быть одновременно «движущими рынок» и сами «движимы рынком», они должны, как минимум, сочетать высокий уровень творчества с превосходной ориентацией на потребителя. Творческие идеи - это основа для всех инноваций, в то время как ориентация на потребителя помогает направлять инновационную деятельность на обеспечение дополнительной ценности для потребителей.

Говоря о розничной торговле, следует также сказать несколько слов о теории социального капитала, с ее акцентом на взаимоотношения, сети и информационные потоки. Теория полезна для понимания и анализа проблем, стоящих перед розничными магазинами, которые хотят быть одновременно «движущими рынок» и сами «движимы рынком».

Изучая тему глубже, можно сказать, что ориентация на потребителя в розничной торговле обсуждается в литературе уже не первое десятилетие. Выделяют три размерности в теории социального капитала: структурное, отношенческое и когнитивное. Некоторые исследователи рассматривают эти размерности в контексте розничной торговли. Они выделяют три измерения: открытая коммуникация; культура, основанная на доверии, и разделение видения. Результаты исследований показали, что развитие этих трех факторов положительно влияет на уровень ориентации на рынок компаний розничной торговли. Розничная торговля – это специфичная и динамичная область.

1.2.2. Специфика маркетинга розничной торговли.

Деятельность торговых предприятий достаточно специфична. И потому для них необходимо модифицировать традиционный подход к комплексу маркетинга и сформировать уникальный маркетинг-микс именно для розничной торговли. В связи с этим необходимо сформулировать понятие комплекса маркетинга предприятия розничной торговли, который можно сокращенно назвать правилом TLAMP. Данное правило включает в себя следующие 5 направлений деятельности предприятия в сфере розничной торговли::

1. T (targeting) - определение целевого рынка розничной торговой фирмы;
2. L (location) - определение местонахождения магазина или расположения торговых точек розничной фирмы;
3. A (assortment) - определение ассортимента, предлагаемого розничными торговыми предприятиями;
4. M (merchandising) - мерчандайзинг, или технология продвижения брендов, товаров и услуг как в магазинах и торговых точках, так и вне их;
5. P (pricing) - стратегия розничной фирмы в области ценообразования.

В таблице 1 приведено соответствие элементов и подэлементов общего комплекса маркетинга и комплекса маркетинга розничной торговли.

Таблица 1. Соответствие элементов и подэлементов общего комплекса маркетинга и комплекса маркетинга розничной торговли.

Общий комплекс маркетинга 4P		Комплекс маркетинга предприятия розничной торговли	
1. ПРОДУКТ		**1. АССОРТИМЕНТ**	
1.1.	Разнообразие товаров и услуг	1.1.	Категорийный менеджмент
1.2.	Дифференциация продуктов	1.2.	Позиционирование магазина
1.3.	Разработка новых продуктов	1.3.	CR - отклик на потребности
1.4.	Вывод продуктов с рынка	1.4.	Нет соответствия
2. ЦЕНООБРАЗОВАНИЕ		**2. ЦЕНОБРАЗОВАНИЕ**	
2.1.	Покрытие затрат за счет цены	2.1.	Покрытие затрат за счет цены

2.2.	Проникающее ценообразование	2.2.	Проникающее ценообразование
2.3.	Гибкое ценообразование	2.3.	Гибкое ценообразование
3. ДИСТРИБУЦИЯ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ		**3.НЕПОЛНОЕ СООТВЕТСТВИЕ**	
3.1.	Каналы распределения	3.1.	Нет соответствия
3.2.	Прямые продажи	3.2.	Прямые продажи
3.3.	Непрямые продажи	3.3.	Нет соответствия
3.4.	Электронная коммерция	3.4.	Частичное соответствие
4. ПРОДВИЖЕНИЕ		**4. МЕРЧАНДАЙЗИНГ**	
4.1.	Индивидуальная коммуникация	4.1.	Индивидуальная коммуникация
4.2.	Массовая коммуникация	4.2.	Массовая коммуникация
4.3.	Бренд-менеджмент	4.3.	Бренд-менеджмент
5. НЕТ СООТВЕТСТВИЯ		**5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕВОГО РЫНКА**	
5.1		Сегментация потенциальных покупателей	
5.2		Позиционирование концепции магазина как совокупности его атрибутов	

Источник: [1].

В розничной торговле не обойтись без ключевого элемента комплекса маркетинга - определение целевого рынка. В розничной торговле это означает нахождение и привлечение одного или нескольких покупательских сегментов, способных приносить

магазину необходимый для его функционирования и развития уровень выручки и прибыли. Выбор целевых сегментов обуславливает дальнейшие мероприятия, связанные с комплексом TLAMP - выбором места расположения торгового розничного предприятия, ассортиментом, ценообразованием, мерчандайзингом и другими маркетинговыми решениями.

1.2.3. Гравитационные модели как элемент ориентации на потребителя в сфере розничной торговли.

Как было показано выше, подходы к ориентации на потребителя как и подходы к маркетингу сфере розничной торговли отличаются от стандартных подходов. Поэтому логично рассмотреть и альтернативные теории, которые могут работать на рынке розничной торговли.

Изначально, при строительстве торгового объекта целесообразно учитывать следующие критерии: величина города/региона/района (население, плотность, территория, цена земли и т.д.), транспортные условия (виды транспорта, интенсивность движения, инфраструктура и т.д.), социальные условия (сколько покупатели тратят на дорогу, стоянки и т.д.), экономические критерии (окупаемость инвестиций, размещение конкурентов, специфика покупательского спроса и т.д.).

Для того, чтобы предприятие розничной торговли было экономически выгодно для его владельца. нужно, чтобы его посетило некоторое количество людей и купила товаров на определенную сумму. Для успешной деятельности розничного торговца первоочередная задача - это привлечение максимального числа

покупателей, а для большинства покупателей ключевым фактором является доступность торгового объекта. Следует напомнить, что на предпочтения покупателя также влияют и другие факторы, такие как ценообразование, ассортимент, мерчандайзинг, сервис (TLAPM).

Для правильного распределения бюджета предприятия по усовершенствованию концепции магазина, очень важно определять торговые зоны и проводить их регулярный мониторинг.

В литературе для анализа торговой зоны используются гравитационные модели, модели гравитации или географические модели. В них объясняется необходимость создания карт с очерченными торговыми зонами и расположением основных потребителей. Во время изучения этих зон ритейлеру предлагается изучить должным образом все базовые факторы:

- Потребительское предпочтение. Оно варьируется в зависимости от зоны охвата, следовательно, надо знать факторы, которые важны для потребителей именно в тех зонах, в которых работает розничный торговец.
- Территориальное расположение.
- Конкурентная среда.

Модели анализа географических зон или гравитационные модели, также показывают возможные пути передвижения покупателей от места их проживания до части города, в которой они совершают покупки. Эти зоны имеют больший экономический смысл, нежели простое изучение отдельных городов, провинций и регионов.

В то время как в 1930-х годах появилась первая модель гравитации, поведение покупателей считалось однородным вплоть до

1960-х годов. После различных исследований было сделано заключение, что не только такой типичный критерий, как отдаленность торгового объекта и его размер, влияет на выбор покупателя, но также и общетерриториальные и личностные критерии. После 1960-х годов теория пространственного поведения покупателя разделилась на две базовые модели: нормативная (normative model) и личностная модель (person- based model). Нормативные модели учитывают факторы внешней среды такие, как локация, размер, привлекательность и доступность объекта. Личностные модели учитывают характеристики населения - социальные, этнические и психологические. Хотя заметно отличие между моделями, они, все же, преследуют одну цель - как можно более точно объяснить пространственное поведение покупателей.

В 1931 году профессор Райли из Техасского университета был первым, кто начал работать над проблемой разграничения рынка. На основе гравитационного закона Ньютона, он первый предсказал пространственный тип модели выбора, которая широко используется до сих пор.

Модель проста в понимании: между магазинами А и В находится район С. Количество покупателей, пришедших из района С в магазин А или В за покупками, прямо пропорционально размеру торговой площади магазина и обратно пропорционально квадрату расстояния до магазина. Торговая площадь магазина А составляет P_A, торговая площадь магазина В равна P_B. Район С находится на расстоянии D_A от А и на D_B от В. Из района С в магазин А за покупками ездят R_A человек, а в магазин В ездят R_B чел.

Математически количество покупателей из района С, которые ездят за покупками в магазины А и В, можно изобразить так:

$$\frac{R_A}{P_B} = \left(\frac{P_A}{P_B}\right)^1 \left(\frac{D_B}{D_A}\right)^2$$

Позднее многие продолжили его работу, открыв важные аспекты этого направления. Объяснение территориального поведения покупателя, или почему и где потребители совершают покупки, основанное на географической локации, очень важно.

Однако, как мы знаем, сегодня покупатель обращает внимание не только на территориальный признак торгового объекта. Привлекательность магазина влияет на выбор покупателя. Для выявления предпочтений покупателей требуются серьезные маркетинговые исследования, которые смогут показать, что покупатели из рассматриваемых зон торговли думают о магазинах внутри этих зон [4]. В 1964 году исследователь Хафф развил модель Райли. Оценка привлекательности магазина А для покупателя из района В определяется как отношение размера торговой площади магазина А к оценке затрат времени на дорогу из района В до магазина А. Основные выводы его работы:

- Количество людей, покупающих на различных зонах торговли, зависит от широты и глубины товарного ассортимента каждой зоны торговли.
- Количество покупателей зависит от дистанции до торгового объекта.
- Расстояния, которые покупатель преодолевает до различных зон торговли, зависит от типа покупаемой продукции.

• «Пул» любой зоны торговли зависит от конкуренции на этой зоне.

• Чем лучше сервис и дополнительные блага, тем дальше покупатели готовы ехать.

Глава 2. Особенности рынка розничной торговли и основные элементы модели ориентации на потребителя.

2.1. Рынок розничной торговли в России.

Следует отметить, что существует много классификаций торговых форматов:

- по характеру торговых объектов (например, магазинные и внемагазинные формы торговли);

- по способу их территориального размещения (например, изолированное и групповое); по характеру горизонтальной интеграции (сетевые или независимые); по типу и широте торгового ассортимента (продовольственные, непродовольственные и др.); по форме торгового обслуживания (самообслуживание или торговля через прилавок); по характеру целевых потребительских групп (ценовая сегментация) [2].

Для того, чтобы точнее описать рынок розничной торговли в России и выделить его основные характеристики, следует дать определение этим торговым форматам, которые присутствуют на рынке сегодня. Единственное их отличие от так называемых традиционных магазинов состоит в принципе ведения торговли - самообслуживании. К новым магазинным форматам продуктового ритейла относятся супермаркеты, гипермаркеты, мелкооптовые магазины, дискаунтеры или универсамы эконом-класса, «магазины у дома», «Удобные магазины», бутики.

Супермаркеты - магазины с торговой площадью до 2000 кв. м. Они предлагают широкий ассортимент - от 4 до 20 тыс. наименований, среди которых обычно 80% - продовольственные.

Гипермаркеты намного крупнее, их торговая площадь, как правило, превышает 5 тыс. кв.м., но может достигать и 20 тыс. кв.м. Предлагаемый ими товарный ассортимент превосходит 30 тыс. позиций. Доля продовольственных товаров здесь меньше, чем в супермаркетах - 60 - 65%.

Мелкооптовые магазины или «кэш энд керри» очень похожи на гипермаркеты, поскольку также предлагают широкий ассортимент (20 - 40 тыс. позиций.), обладают схожими площадями (как правило, 8 - 10 тыс. кв.м.), и предлагают относительно низкие цены.

Дискаунтеры, или универсамы экономичного класса, внешне напоминают супермаркеты, но, как правило, меньше по масштабам (их стандартная торговая площадь - 400 -. 1000 кв.м). Ассортимент дискаунтеров значительно скромнее (от 1 до 3 тыс. наименований) с ориентацией на наиболее быстро реализуемые товары, цены заметно ниже, торговая наценка не превышает 10 - 15%.

«Магазины у дома» характеризует удобный (часто круглосуточный) режим работы и, главное, расположение «в пределах шаговой доступности». Он расположен так, чтобы 2-3 тыс. семей могли пользоваться им, дойдя до него не более чем за десять минут. В отличие от гипер- и супермаркетов, ориентирующих покупателей на совершения одноразово большого числа покупок, в «магазинах у дома» чаще совершаются отдельные целевые покупки (для восполнения пробелов в домашнем ассортименте).

Также, не выделяя эту категорию магазинов в отдельный формат, следует упомянуть о социальных магазинах.

Наконец, обратим внимание на бутики и гастрономы класса премиум и супер-премиум. По площади они напоминают небольшой супермаркет (500 - 1000 кв. м). Их отличительная черта - работа в высшем потребительском сегменте рынка и ориентация на обеспеченного покупателя.

Рынок розничной торговли быстро развивается, его оборот 2007-2012 гг. увеличился на 86% и превысил отметку в 15 миллиардов рублей в 2012 году [9].

Одна из основных особенностей рынка розничной торговли в России - рост конкуренции в отрасли, который связан с ее быстрым развитием.

Другой значимой характеристикой российского рынка ритейла является невысокий уровень консолидации и неравномерное географическое распределение. Как видно из рисунка 3, 18% товарооборота розничной торговли приходится на Москву и Московскую область. Что касается развития сетевой торговли, то российский рынок все еще можно охарактеризовать как рынок с низкой концентрацией сетевой торговли. На июнь 2012 года на сетевую торговлю приходилось лишь 19,3% . Для сравнения в европейских странах этот показатель находится на уровне 70-90% [10].

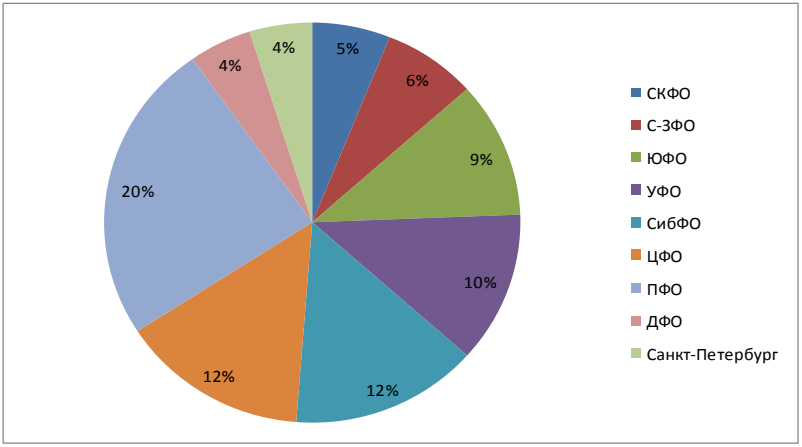


Рис. 3. Структура товарооборота по федеральным округам и отдельным регионам (ЦФО учитывается без Москвы и МО, С-ЗФО учитывается без Санкт-Петербурга).

Еще одной спецификой этого рынка является все более жесткое государственное влияние. Это влияние распространяется на различные области розничной торговли: от времени работы магазинов до запрета на продажу той или иной группы товаров. К примерам такого регулирования можно отнести предложение Федеральной антимонопольной службы о 30% пороге доминирования сети на рынке и требования о закупке до 40-50% продуктов у местных поставщиков.

Неоснащенность - другая специфика розничного рынка. Это связано с тем, что у многих ритейлеров нет финансовых средств для приобретения современного оборудования и нежелание многих компаний вкладывать средства в технологии. Примером может стать низкое качество логистических услуг, которыми пользуются

розничные торговцы. Именно поэтому многие из них развивают собственные автопарки («Магнит», «Real-Гипермаркет» и т.д.).

Основные черты российского рынка розничной торговли можно объединить в несколько факторов:

- Увеличение доли современных форматов торговли.
- Развитие ритейлерами собственных торговых марок (СТМ).
- Усиление роли государственного влияния.
- Освоение сетевыми компаниями региональных рынков.
- Рост популярности мультиформатной торговли (развитие одной сетью нескольких форматов одновременно).
- Влияние фактора цены и доступности торговых точек.

По мнению аналитика агентства «Euromonitor International» российский рынок розничной торговли продолжит свое динамичное развитие и модернизацию в ближайшее пятилетие. Оборот розничной торговли сохранит высокий темп роста, а доля современных каналов розничной торговли в продуктовой рознице (в основном дискаунтеры, супермаркеты и гипермаркеты) увеличится с 57% до 70% к 2017 году [9].

2.2. Элементы модели ориентации на потребителя в сфере розничной торговли.

Следует описать подробнее элементы, которые необходимо учитывать любому ритейлеру, который хочет преуспеть на своем рынке. Для начала следует отметить, что ритейлеру приходится сталкиваться с двумя вопросами - как воздействовать на существующих потребителей и как привлечь новых, на которых могут воздействовать разные инструменты. На рынке розничной торговли

эти вопросы также актуальны, но имеют немного иной смысл. Во-первых, предприятие розничной торговли, в основном, работает на потребителей, проживающих в определенных зонах охвата, а не на всех возможных потребителей, которые могут попасть в магазин. Во-вторых, у предприятия розничной торговли есть свои KPI, которые, по сути, включают в себя понятия новых и постоянных потребителей. Компания работает на постоянных или новых потребителей, улучшая эти KPI. К примеру, для увеличения уровня проникновения, компания привлекает новых потребителей из зон охвата магазина, а увеличение коэффициента частоты посещения может означать, что магазин фокусируется на постоянных потребителях, предлагая им новые товары, привлекательные цены и дополнительный сервис.

Сбор информации о потребителях позволит понимать и удовлетворять предпочтения потребителей, а также предсказывать, как и что люди станут покупать в будущем. В сфере розничной торговли для понимания потребителей строятся типовые профили людей, которые наиболее часто посещают магазины компании. Эти профили объединяют посредством факторного и кластерного анализа, приводя все к образу типового покупателя данного региона. Таким образом, определяется целевой сегмент.

Поскольку магазин продает большое количество товаров, в сфере розничной торговли активно применяют категорийный менеджмент. Он направлен на понимание выбора потребителя, причин приобретения того или иного товара и выстраивание ассортимента в соответствии с этими предпочтениями. В традиционном подходе поставщик выбирает товар, его вид, способ

размещения и ценовую политику, в соответствии с которыми будет реализовываться этот товар. Разумеется, поставщик играет свою роль в цепочке создания ценности, однако в этой работе этот аспект затрагиваться не будет. Подобный вид управления ассортиментом оказывает положительное влияние на удовлетворенность потребителей, что, в конечном счете, приводит к росту продаж.

Другим элементом, на котором следует остановиться, является сам ассортимент, представленный в магазинах розничного торговца. В компании разрабатываются решения о ширине и глубине товарного ассортимента. Развитие широты ассортимента используется тогда, когда стоит задача увеличить количество продаж в категории или создать специальные предложения для потребителей. Напротив, глубина ассортимента развивается в случае высокого интереса к определенной категории. К примеру, потребителю нравится FM-трансмиттер, но его не устраивает его стоимость, на полки выставляются аналогичные товары, но с различным качеством, комплектацией и ценой, чтобы покупатель мог выбрать самый удобный для себя вариант.

Другим важным элементом ориентации на потребителя, который рассматривается вкупе с определением широты и глубины ассортимента, является ценовая политика компании.

С точки зрения потребителя очень важным фактором является доступность сервиса, то есть точки продаж. Для потребителя очень важно, чтобы до магазина было удобно добираться. Для того, чтобы потребитель знал, где находится магазин компании, и что он может предложить, необходимо применять коммуникационное воздействия,

чтобы обеспечить видимость точки продаж и осведомленность о магазине. Это обеспечивается установкой билбордов, дорожных знаков, нанесением указателей на автобусные остановки и маршрутные автобусы, а также видимость магазина со стороны всех дорог. Следует рассылать каталоги промо-акций на определенные зоны охвата, на которые работает розничный торговец. Доступность и осведомленность о торговой точке являются важнейшими элементами для розничного торговца.

Итак, рассматривая каждый элемент, с помощью которого можно максимально удовлетворить своего потребителя, ритейлеры добиваются улучшения своих позиций на рынке. Существует необходимость учета всех этих аспектов деятельности ритейлера с определением важности и порядка их рассмотрения для того, чтобы оперативно реагировать на меняющиеся потребности потребителей.

Глава 3. Подход к маркетингу на примере сети магазинов «Новый Книжный».

3.1. Политика привлечения покупателей в компании.

В настоящее время в условиях нарастающей конкуренции российские книготорговцы столкнулись с особой необходимостью борьбы за покупателя. Для того чтобы привлечь и удержать клиента, им приходится постоянно изобретать новые виды и схемы продаж.

Сеть магазинов «Новый Книжный» ищет свои пути привлечения покупателей. Особое внимание директор компании М. Иванцов уделил позиционированию книжного магазина. По его словам, «Новый Книжный» постоянно экспериментирует, изучает европейские тренды в книготорговле, старается найти максимально

удобные формы взаимодействия с клиентом: «Люди приходят в магазин за книгой – купить что-то конкретное по интересующему вопросу или выбрать что-то для удовольствия. Для них важен, прежде всего, ассортимент, выбор, затем атмосфера магазина: они хотят походить, посмотреть, полистать, выбрать и унести с собой купленную книгу…. Читатель стал искушеннее, многое уже прочел и купил из того, что не мог прочесть и купить раньше, тем более что за последние годы число источников информации увеличилось колоссально. В этом смысле интерес к книгам как раз можно оценивать как существенный и очень устойчивый»

Товарный ассортимент - более 100 000 наименований. Книги составляют большую часть ассортимента, в процентном соотношении от общего количества (табл. 2).

Таблица 2. Ассортимент сети магазинов «Новый Книжный».

Книги	81,03 %
Канцелярские товары	6,39 %
Игры, игрушки и хобби	4,36 %
Видео	2,27 %
Сувениры	2,18 %

Источник:[13].

Директор компании придерживается мнения, что именно большой ассортимент является главным фактором привлекательности магазина: «На мой взгляд, именно выбор книг прежде всего привлекает читателей в магазин. Не акции, а именно книги и

возможность удовлетворить с помощью чтения определенный круг интересов. … Именно в этом смысле присутствие в городе, районе книжного магазина как такового имеет огромное значение» [12].

3.2. Актуальные направления маркетинга в книжной торговле.

Однако, в настоящее время сложились такие условия, что для привлечения клиентов и увеличения оборота продаж практически невозможно обойтись без введения новых подходов работы с покупателями.

Сегодня одна из основных тенденций книжной розничной торговли – это образование принципиально новых для России форматов книготорговых точек, представляющих собой книжный магазин с кофейней, а также дополнительными сервисами (игровой комнатой для детей, сценой, залом для выступлений, кинотеатром и др.). Подобные магазины активно открываются в Москве и Санкт-Петербурге. Интересно отметить, что некоторые владельцы книжных сетей заключают договоры с сетями кофеен и, таким образом, можно говорить о том, что концепция совместного развития сети кофеен и сети книжных магазинов, например, «Букбери»-«Шоколадница», «Буква»-«Кофе-Хауз», более успешна [6]. Также в книжной торговле используется организация различных клубов по интересам, объединяющих людей, заинтересованных в той или иной сфере общественной жизни. Так, в ТД «Библио-Глобус» работают шахматный, философский, спортивный, нумизматический клубы, а также молодежный клуб «Позиция» и детский - «Библиоша». Подобные грамотно организованные мероприятия привлекают внимание и способствуют формированию имиджа магазина как

культурного центра. Однако, наиболее активными покупателями сегодня являются представители молодого поколения в возрасте 18–35 лет. Специалисты считают, что именно на эту аудиторию необходимо ориентировать развлечения, делая мероприятия динамичными и заметными на общем фоне городских развлекательных услуг. И все же в России подобные проекты – редкость. С одной стороны, это позволяет оригинальным магазинам выделиться, с другой – в масштабах страны их число настолько невелико, что они почти незаметны на фоне традиционных книжных. Поэтому существует большой потенциал для творческого развития магазина.

Одним из классических видов стимулирования продаж является предоставление скидок. За границей на стимулирование продаж работают целые схемы. Европейские покупатели давно приучены к таким акциям как, к примеру, «три книги по цене двух», «покупая одну, вторую получаешь со скидкой в 50%» и т.д. Эти приемы способны увеличить продажи в период проведения акции до 30%. 63% участников опроса, проведенного журналом "Sales business" ответили, что подобные акции заставили бы их покупать книги намного чаще. И лишь 25% были безразличны к экономии на литературе [11].

В целом, как отмечают маркетологи, отечественная розничная торговля применяет определенные механизмы стимулирования продаж. Но эти инструменты построены скорее на дешевизне предложения конкретной книги, как правило, неактуальной. Акции европейцев эффективнее и направлены именно на стимулирование: они заставляют покупать больше, предлагая солидную экономию.

Соединение в специальном предложении популярных книг и изданий со сравнительно низкими продажами позволяет избежать переполнения магазинов товарами. Однако в практике отечественной розничной книготорговли такие схемы пока не прижились. Эксперты связывают это с тем, что российская книжная розница еще только учится делиться с покупателем частью прибыли и делать действительно выгодные предложения, чтобы увеличить оборачиваемость продукции.

Одной из новых маркетинговых программ, основанных на спонсорстве и благотворительности организации, является social branding – особая стратегия коммуникации с целевыми аудиториями. Она базируется на том, что компания берет на себя социальную и культуртрегерскую миссию по отношению к целевым аудиториям. Обычно практика благотворительности и филантропии трансформируется в продуманную стратегию позиционирования компании в качестве активного участника социальной и культурной жизни общества. Social branding в книжном деле чаще всего выражается в информационной и материальной поддержке публичных библиотек, школ, различных культурных программ и мероприятий. Такие формы благотворительности обеспечивают не только уважение к дарителю, но и могут способствовать продвижению издательской продукции к читателю [6].

В условиях достаточно серьезной конкурентной борьбы на рынке книжного бизнеса перед отечественными книготорговцами встает острая необходимость поиска и применения все более новых и эффективных средств, обеспечивающих высокую производительность

деятельности книжных магазинов. Прежние схемы и методы, рассчитанные на привлечение покупателей, начинают терять свою актуальность и уже не могут гарантировать стопроцентного успеха для книготорговой организации.

3.3. Направление развития компании «Новый Книжный».

В последнее время в сети магазинов «Новый Книжный» был заметен стабильный рост. Компания постоянно модернизировалась и подстраивалась под сложившуюся на рынке ситуацию. Однако для дальнейшего успеха нельзя останавливаться на достигнутом. Чтобы и дальше получать стабильную прибыль и увеличивать ее, нужно перенимать положительный опыт других предприятий и адаптировать его к своему производству.

Как уже говорилось выше, директор компании М. Иванцов большое внимание уделяет ассортименту товара и считает, что именно выбор книг является важным фактором привлекательности магазина. Это мнение вполне обосновано, так как покупатели в этот магазин приходят прежде всего за книгами. В связи с этим дальнейшее развитие компании должно быть связано с расширением и специализацией книжного ассортимента.

Сеть магазинов «Новый Книжный» имеет множество торговых точек в разных районах Москвы. Поэтому существует возможность проводить индивидуальное развитие конкретного магазина, учитывая его местоположение. Многие торговые точки находятся в непосредственной близости от метро, и ежедневно мимо них проходит большое количество людей, являющихся потенциальными покупателями. Для их привлечения ассортимент книг должен быть

ориентирован на широкий круг читателей. Некоторые магазины сети расположены вблизи достаточно большого количества учебных заведений. Потенциальными посетителями магазинов являются сотрудники и учащиеся. Поэтому в таких магазинах должен быть представлен большой выбор учебной и методической литературы, и при этом должен учитываться возраст учащихся и, возможно, специализация учебного заведения. Также в торговых точках, расположенных в промышленных зонах города, должен присутствовать значительный ассортимент профессиональной литературы, соответствующий специфике окружающих предприятий.

Правильно ориентированный ассортимент в большей степени удовлетворяет покупателей, а значит и увеличивает привлекательность магазина. Увеличивая количество своих клиентов, компания сможет в дальнейшем успешно развиваться.

Выводы: Из всего вышеперечисленного можно сделать несколько важных выводов. Во-первых, то, что понятия ориентации на рынок и ориентации на потребителя часто используют в одном контексте. Во-вторых, вопросы ориентации на потребителя изучаются уже не первый год, и все же, не все аспекты темы изучены полностью. Например, хотя большинство работ указывают на положительное влияние ориентации на потребителя на результативность бизнеса, некоторые работы этой связи не выявили. В-третьих, следует помнить, что в случае отсутствия ориентации на потребителя, компания не сможет обеспечить себе долгосрочное конкурентное преимущество и столкнется с множеством проблем. И, в-четвертых, принципы

ориентации на потребителя должны модифицироваться в зависимости от отрасли.

Розничная торговля - это специфическая отрасль, в которой лишь недавно стали применяться элементы ориентации на потребителя, в особенности это касается зарубежных торговых сетей. Другим важным вопросом, который необходимо изучить ритейлеру. это применение как реактивного, так и проактивного подхода, поскольку необходимо всесторонне подходить к вопросу удовлетворения потребностей потребителей. Также к специфике данной сферы можно отнести необходимость определения наиболее действенных методов удовлетворения потребностей, так как для каждого региона они могут отличаться. Именно поэтому в сфере розничной торговли стандартные правила маркетинга были трансформированы конкретно под нужды данной области (TLAMP).

Для лучшего понимания и прогнозирования потока потребителей уже около восьмидесяти лет используют так называемые гравитационные модели, которые могут облегчить работу магазину. Следует отметить, что использование любой из великого множества моделей не гарантирует розничному торговцу успех на рынке. При постоянно меняющейся внешней среде, государственном регулировании, территориальной экспансии международных сетей и быстро меняющихся требований покупателей невозможно быть уверенным, что бизнес будет развиваться. Однако, если

модернизировать и некоторые элементы вышеупомянутых гравитационных моделей под специфику конкретного региона в купе с комплексными маркетинговыми исследованиями действиями, это может дать ритейлеру возможность максимально удовлетворять потребности современного покупателя.

Рынок розничной торговли в России можно охарактеризовать как развивающийся. Появление современных торговых форматов привело к образованию торговых сетей, которые сначала развивали один формат торговли, однако сегодня многие торговые сети перешли на развитие мультиформатной торговли. К основным характеристикам отрасли можно отнести: не насыщенность, не оснащенность, быстро меняющиеся предпочтения потребителей и государственное вмешательство. Перспективы отрасли очень оптимистичны и по оценкам аналитиков еще несколько лет в отрасли будет заметен высокий рост. Поэтому у компаний еще есть возможности для становления и развития своей бизнес модели. Однако если они не будут должным образом анализировать ситуацию на рынке, через несколько лет у них уже не будет возможности исправить свои ошибки.

Были подробно описаны элементы, которые ритейлерам необходимо учитывать при построении своих моделей ориентации на потребителя. Такие элементы как категорийный менеджмент, ценовая и ассортиментная политика, доступность сервиса и дополнительные услуги - основные факторы, которые влияют на решение потребителя о месте совершения покупок. Однако для того, чтобы принять правильные решения о каждом из этих элементов необходимо заранее

продумать, кому и каким образом компания будет коммуницировагь эти составляющие.

Также в работе были предложены дальнейшие направления развития ориентации на потребителя для сети магазинов «Новый книжный», при которых учитывается местоположение торговой точки и социальные особенности покупателей в данной местности.

Заключение.

В этой работе были раскрыты особенности использования ориентации на потребителя в сфере розничной торговли. Все поставленные задачи были достигнуты.

В первой главе были рассмотрены классические подходы к ориентации на потребителя и рынок зарубежных и русскоязычных авторов, а также их связь с результативностью бизнеса. Классиками ориентации на рынок и потребителя принято считать Коли А. К. и Яворски Б. Д. [8], а также Нарвер Д. К. и Слейтер С. Ф. [7]. Именно они выявили положительную взаимосвязь между ориентацией на рынок и результативностью бизнеса. После их работ началось глубокое и внимательное изучение концепции ориентации на рынок. Были рассмотрены и более поздние работы в теории ориентации на потребителя. В них говорилось о важности проактивной позиции в области ориентации на потребителя и были сделаны выводы относительно того, что удовлетворять текущие потребности потребителя уже недостаточно, необходимо предугадывать, что потребитель захочет завтра.

Выявлено, что ритейл - это специфическая область, в которой сложно применить классические подходы ориентации на потребителя.

Изучены классические и современные гравитационные модели, которые ранее применялись, в основном, при поиске мест для строительства новых объектов.

Выявлены основные факторы, которые влияют на предпочтение потребителей о выборе магазина и их удовлетворенность. Такие элементы как категорийный менеджмент, ценовая и ассортиментная политика, доступность сервиса и дополнительные услуги - это главные факторы, которые влияют на решение потребителя о месте совершения покупок. Однако для того, чтобы принять правильные решения о каждом из этих элементов необходимо заранее знать, кому и каким образом компания будет коммуницировать эти составляющие.

Дальнейшее изучение темы могло бы выявить факторы, которые помогут еще больше адаптировать подходы к ориентации на потребителя к реалиям растущего рынка розничной торговли в России.

Требуются дополнительные исследования для выявления возможностей и особенностей прямого взаимодействия с потребителями компании и развития с ними долгосрочных отношений, ориентации на потребителя на рынке ритейла, ориентации на потребителя компаний отличного масштаба деятельности, а также других форматов торговли.

Новые исследования рассмотренной темы ориентации на потребителя на рынке розничной торговли могут стать толчком для

более внимательного отношения компаний к данному вопросу, поскольку оно может приносить дополнительную прибыль.

Литература:

1. Галицкий Е. Б. [и др.]. Науч. ред.: Липсиц И.В. Маркетинг: Учебник для студентов бакалавриата, - М: Геотар-Медиа -2011- 540 с.

2. Котельникова З. В. [и др.] (2011). Экономическая социология. Т. 12. № 3.

3. Ламбен Жан-Жак. Менеджмент, ориентированный на рынок, - СПб.: Питер, Серия "Классика MBA" -2007- 800 с.

4. Писарева Е. В. Модели потребительского предпочтения розничных торговых предприятий в формировании системы маркетинга торговой компании в современной экономике. Экономические науки -2011- №12, с. 255-261.

5. Шальнова О. А. Аспекты потребительской лояльности к магазину. Маркетинговые коммуникации. -2009- №3. –с.166-174 : ил.: 2 табл., 1 рис. – Библиогр.: с. 174 (10 назв.)

6. Дианов В. Особенности PR-технологий книжных магазинов России. -2007- 37с.

7. Narver, J.C. & Slater, S.F. The effect of a market orientation on business profitability. Journal of Marketing, 54(4) -1990- 20-34.

8. Kohli, A.K. & Jaworski, B.J. Market Orientation: The Construct, Research Propositions, and Managerial Implications. The Journal of Marketing, 54(2) -1990- 1-18.

9. Кадочкина Е. , интервью с Владыкиным В.// Режим доступа: http://www.retail.ru/article/all retail/71203/ . Дата обращения: 17.01.15.

10. Режим доступа: http://www.ra-national.ru/uploads/rus/files/analytic/file_review/016c75762e935cefB818615cc53256a5.pdf . Дата обращения: 21.12.14.

11. Режим доступа: http://www.salespro.ru/2347 . Дата обращения: 17.01.15.

12. Журнал «Книжная индустрия» 2013№2, интервью с Иванцовым М. //Режим доступа: http://www.bookind.ru/categories/workshop/999/. Дата обращения: 09.01.2015.

13. Режим доступа: http://ru.m.wikipedia.org/wiki/. Дата обращения: 06.12.14.

Логистическо-ориентированный анализ ООО «Военно-промышленная компания»

СЕРЕДИНА Дарья Олеговна,
г. Москва, ГБОУ «Московская международная гимназия», 11 класс

Научный руководитель:
Омельченко Ирина Николаевна,
д.т.н., д.э.н., профессор,
заведующая кафедрой
«Промышленная логистика»
МГТУ им. Н. Э. Баумана

В работе рассматривается структура компаний и организаций, входящих в ООО «Военно-промышленная компания», которая состоит из Управляющей компании, военно-инженерного центра (ВИЦ), завода корпусов (г. Выкса), Арзамасского машиностроительного завода (АМЗ). В своем проекте я рассматривала внешнюю и внутреннюю среду для исследования инфраструктуры компании (рис. 1).

Рис. 1. Структура.

Мощный оборонный комплекс, созданный в СССР, был способен с успехом решать не только любые внутригосударственные задачи, но и задачи геополитического характера. Однако курс на беспрецедентные по своим масштабам разоружение и конверсию, принятый руководством СССР в конце 80-х годов, привел к негативным последствиям для оборонно-промышленного комплекса страны. Двукратное сокращение государственного оборонного заказа вооружений в период с 1989 по 1991 год не было компенсировано адекватным увеличением объемов производства гражданской продукции. Последовавший в 1991 году распад Советского Союза еще больше усугубил и без того тяжелое положение оборонной промышленности, повергнув ее в глубокий кризис.

Цель моей работы – осуществление анализа эффективности работы оборонно-промышленного комплекса на примере ООО «Военно-промышленная компания» (далее Компания)- крупного оборонного холдинга по разработке, производству и модернизации колесной бронированной техники для федеральных нужд и иностранных заказчиков.

В ходе работы был проведен анализ внутренней среды (оценка эффективности управления персоналом, эффективность управления, финансовый анализ, а также анализ маркетинговой ситуации, производства и основных фондов), анализ внешней среды (исследование мирового рынка колесных бронированных машин, определение тенденции спроса на внешнем рынке сегмента бронеавтомобилей и боевых бронированных машин за период с 2012

по 2013 год, выявление конкурентов в области производства и поставки бронированных машин легкого и тяжелого классов).

Анализ маркетинговой ситуации показал, что 2013 год был достаточно успешным для предприятий Компании, по большинству основных показателей наблюдается существенный рост. Это относится и к общему объему выработки, и к производительности труда, и к заработной плате. Исходя из расценки официальных заявок инозаказчиков на продукцию Компании, его «портфель заказов» на ближайшие пять лет оценивается на уровне 113 - 120 млн.долл. Таким образом, Компания на ближайшие 3 года обеспечена заказами специального назначения в количестве достаточном для сохранения текущей ситуации, но недостаточном для нормального развития. Поэтому одной из главных задач является загрузка свободных производственных мощностей рентабельной продукцией.

Анализ эффективности управления показал, что после выделения предприятий в отдельную компанию удалось остановить тенденцию падения качества, повысилась степень использования ресурсов, возросла производительность труда.

Однако всё ещё остаются нерешённые проблемы, связанные со слишком большими накладными расходами, а также не удаётся модернизировать основные производственные фонды**.** При проведении анализа производства и основных фондов мы можем констатировать положительное изменение величины объема выпуска продукции на 1 рубль за рассматриваемые года. Одним из показателей при анализе основных фондов является возрастная структура оборудования предприятий и оснащенность производства

современным оборудованием. Средний фактический уровень износа оборудования - 65-70% Критический уровень износа - 75%. Таким образом, существующая на данный момент загрузка производственных мощностей предприятий Компании не обеспечивает оптимального функционирования большинства предприятия за счёт основной деятельности (рис. 2). Кроме этого, около 75% промышленного оборудования имеют критический уровень износа, и, если не принять срочных мер, Компания вскоре не сможет выпускать продукцию, соответствующую современным нормам качества.

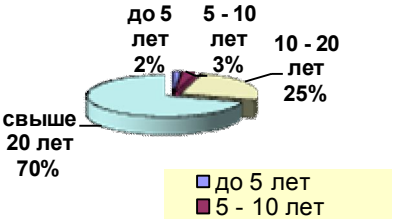


Рис. 2. Загрузка производственных мощностей предприятий Компании.

Анализ финансовой деятельности выявил положительные тенденции повышения эффективности использования предприятием средств производства, материальных, трудовых и финансовых ресурсов. Эффективность управления персоналом подразумевает 2 фактора: экономическая эффективность, основанная на принципе экономичного расходования имеющихся ресурсов, и социальная эффективность, характеризующая степень удовлетворения потребностей и интересов наемных работников. В целом показатели

эффективности управления персоналом удовлетворительны и имеют положительные тенденции.

Анализ внешней среды показывает, что наибольшим спросом пользуются многоцелевые легкобронированные автомобили (МЛБА). Безусловные лидеры-экспортеры в данном сегменте рынка США, ЮАР, Италия и Иордания. Россия в этот список не входит. Группа МЛБА в России представлена семейством машин, ГАЗ-2320 «Тигр». Оригинальность технических решений, высокие тактико-технические характеристики и низкая стоимость вызывают интерес у инозаказчиков. Однако низкий уровень защищенности днища машины и стойкости бортовых и лобовых конструкций, а также отсутствие вариантов комплектации с дистанционно-управляемым вооружением становятся причинами низкого продвижения российских бронеавтомобилей на внешний рынок.

Общая характеристика рынка колесных боевых бронированных машин (ББМ) показывает, что наиболее востребованными на рынке являются бронетранспортеры (БТР). Анализ позволяет предположить, что спрос на мировом рынке на боевые бронированные машины в период до 2018 года не уменьшится. Изучение поставок ББМ по колесной формуле показывает, что заказчики в большей степени нуждались в боевых бронированных машинах с колесной формулой 8х8. Российская колесная бронетехника представлена семейством машин на шасси БТР-80 производства ОАО «Арзамасский машиностроительный завод». Экспортный облик семейства машин БТР-80/80А в течение 15 лет практически не обновлялся и в современной комплектации уступает основным конкурентам:

итальянским, китайским, украинским. До середины 90-х годов производственные возможности ОАО «Арзамасский машиностроительный завод» по изготовлению БТР-80 составляли до 800 машин в год. В настоящее время они ограничены производством 300 машин в год. Большая зависимость от комплектаторов, участвующих в производстве БТР-80, говорит о том, что производственные мощности ОАО «АМЗ» недостаточно развиты. А это в итоге сказывается на качестве и цене производимой продукции (рис. 3).

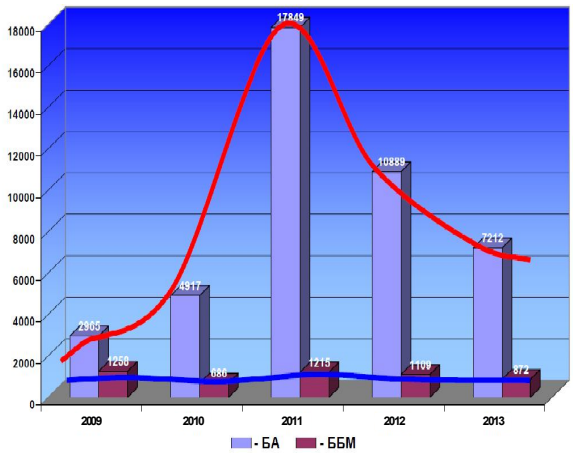


Рис. 3. График выпуска БА и ББМ.

Решением проблемы продвижения российских ББМ на мировой рынок может стать решение следующих проблем:

• непроработанность возможности установки дистанционно управляемого вооружения и дополнительной бронезащиты;

• отсутствие разработок новых современных отечественных дизельных двигателей и трансмиссий;

• недостаточная проработка вопросов сервисного обслуживания на территории заказчика.

Увеличить продажи компании можно за счет улучшения характеристик выпускаемой продукции:

- повышение защищенности, что подразумевает применение керамической защиты, а также специальных сидений для повышения миноустойчивости;
- улучшение подвижности, т.е. применение более мощного двигателя;
-увеличение огневой мощи, что означает применение перспективного вооружения.

В заключение мы можем сказать, что исследование состояние рынка, а также производственных возможностей колесных боевых бронированных машин (БТР) и бронированных автомобилей показывает, что низкий технический уровень и качество изготовления могут снизить и так невысокий экспортный потенциал, что в условиях жесткой конкуренции на мировом рынке грозит вытеснением России с рынка колесных бронированных машин.

Литература:

1. Орлов А.И. Менеджмент.
2. Ансофф И. Стратегическое управление.
3. Самочкин В.Н. Гибкое развитие предприятия. Анализ и планирование.

Совершенствование маркетинговой модели наукоемкого предприятия с целью обеспечения импортозамещения на российском рынке (на примере ОАО «ВНИИКП», Кабельная промышленность).

СОСЕНКО Наталья Сергеевна
г. Москва, ГБОУ лицей №1502, 11 класс

Научный руководитель:
Ляхович Дмитрий Геннадьевич,
старший преподаватель кафедры
«Промышленная логистика»
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Введение.

Работа направлена на практическую реализацию Антикризисного плана Правительства на 2015 год в области импортозамещения кабельной продукции на российском рынке с использованием базы наукоемкого предприятия ВНИИКП.

Российская кабельная промышленность зависит от импортных поступлений не производимых в стране оборудования и материалов для производства кабельных изделий. В связи с введением экономических санкций со стороны Европейского Союза и США создаются угрозы кабельному производству в России.

Ограничение и прекращение поставок отечественной кабельной продукции на внутренний рынок приведет к снижению энергетической безопасности государства, серьезным социально-экономическим проблемам, трудностям при реализации инвестиционных проектов, в т.ч. для государственных нужд, преобладанию на внутреннем рынке импортной продукции.

Руководством ОАО «ВНИИКП» и ведущих кабельных предприятий, в связи с решениями Правительства Российской Федерации по вопросу импортозамещения, предложено на базе головного научно-технического центра кабельной промышленности ОАО «ВНИИКП» разработать комплекс мероприятий по обеспечению импортозамещения в области кабельной промышленности, чтобы предотвратить сокращение, а по ряду видов прекращения производства кабельных изделий.

1. Анализ организационно-экономических методов и моделей управления инновационной деятельностью предприятия. Исследование рынка кабельной продукции (исследовательская часть).

1.1. Обзор организационно-экономических методов и моделей управления инновационной деятельностью предприятия.

Традиционная деятельность предприятий в области нововведений сводится к организации системы подготовки производства и освоении выпуска новой продукции. Здесь выделяются следующие взаимосвязанные этапы:

- проведение теоретических исследований фундаментального и поискового характера;
- проведение прикладных научно-исследовательских работ, в процессе которых проверяются полученные на первом этапе результаты с точки зрения их практического применения;
- осуществление конструкторской подготовки, в ходе которой проводится конструирование изделий, создание чертежей и образцов новой продукции;

- технологическое проектирование и проектно-организационные работы, в процессе выполнения которых разрабатываются технологические методы и формы организации производства новой продукции;

- освоение серийного производства новой продукции; здесь проверяются созданные на предыдущих стадиях конструкции и технологии изготовления, отрабатываются и внедряются в производство;

- серийное промышленное производство новой продукции [6].

Следует обратить внимание на отсутствие в существующих моделях управления инновационными процессами системного подхода и анализа. Системный подход в современных условиях заключается в диверсификации понятия «инновация», т.е. необходимо рассматривать инновации в полном комплексе систем маркетинга, логистики и контроллинга.

Существующие в отечественной и зарубежной практике на сегодняшний день модели построения и управления инновационными процессами можно разделить по двум основополагающим признакам: по организационной структуре построения модели и по методу реализации модели. Модели управления инновационными процессами приведены в табл. 1.1 [6].

Современные теоретические принципы структурной адаптации организационно-экономической системы к воздействиям внешней среды заключаются в следующем. Предприятие должно постоянно реагировать на изменение внешней среды (изменение потребительского спроса, экономической ситуации, появление новых

конкурентов и поставщиков и т.д.). Это возможно, если структуры предприятия способны в любой момент времени с минимальными потерями для эффективности предприятия в текущий момент начать процесс реструктуризации (локальной или глобальной) по критерию получения максимального эффекта от производственно-хозяйственной и финансовой деятельности в долгосрочной перспективе.

Под реструктуризацией предприятия понимается комплекс организационных, управленческих, технологических, инженерных и экономических мероприятий, обеспечивающих предприятию повышение конкурентоспособности и возможность ее сохранения в долгосрочной перспективе.

Одним из аспектов понятия конкурентоспособности предприятия является создание наилучших возможностей для привлечения и сохранения потребителей. Поэтому процесс реструктуризации любого предприятия должен быть направлен на решение этой проблемы (табл.1).

Таблица 1. Модели управления инновационными процессами.

Организационная структура построения модели	**Метод реализации модели**
Инновационная цепь	Малые и средние предприятия превращают научные идеи и разработки в готовый продукт (рисковое венчурное предпринимательство)
Кибернетическая модель	Тесная кооперация науки и практики на крупных предприятиях (научно-

	производственные объединения)
Модель параллельно-последовательного взаимодействия фаз инновационного процесса	Международная межфирменная кооперация
Социально-технологическая модель	Стратегические альянсы в области инноваций (консорциумы и совместные предприятия)

Рассмотрение процесса реструктуризации позволяет выделить различные ее направления, основными из которых являются: производственное, технологическое, организационное, финансово-экономическое.

Реструктуризация предприятия осуществляется для решения различных задач, целью которых может быть:

- повышение конкурентоспособности предприятия;
- снижение издержек;
- качественное улучшение бизнес-процессов предприятия;
- повышение эффективности функционирования всех производственно-хозяйственных подразделений предприятия на долгосрочную перспективу [6].

Процесс внедрения инновационных проектов следует осуществлять с использованием логистикоориентированного моделирования. Анализ инновационной практики позволяет выделить принципиальные отличия, характерные лишь для инновационных проектов:

- высокая степень неопределенности (технической, коммерческой) параметров проекта (сроки достижения намеченных целей, предстоящие затраты, будущие доходы);
- низкая достоверность предварительной финансово-экономической оценки, что предполагает использование дополнительных критериев оценки и выбора проектов;
- ориентация инновационных проектов на долгосрочные перспективы;
- длительность решения многих научно-технических проблем вследствие их сложности и недостаточной определенности;
- наличие надежной базы прогнозирования;
- возможность инвестирования значительных объемов финансовых ресурсов;
- необходимость вовлечения уникальных ресурсов;
- высокая вероятность получения в рамках проектов неожиданных, но представляющих самостоятельную коммерческую ценность, промежуточных или конечных результатов [6].

Инновационная деятельность наукоемкого предприятия включает в себя не только инновационный процесс по эволюционному преобразованию научного знания в новые виды продукции, технологий и услуг, но и маркетинговые исследования рынков сбыта, их потребительских свойств, конкурентной среды, а также комплекс технологических и организационно-экономических мероприятий, которые в совокупности приводят к инновациям,

формированию нового подхода к информационным, консалтинговым, социальным и другим видам услуг.

Известны следующие методы и модели управления инновационным развитием наукоемких предприятий (табл. 2).

Таблица 2. Методы управления инновационным развитием наукоемких предприятий.

Наименование метода	**Характеристика**
Метод формирования целей и стратегий инновационного развития наукоемкого предприятия	Этапы: - Оценка состояния ресурсов предприятия; - SWOT - анализ, или ситуационный анализ (формирование и анализ матрицы SWOT, матрицы возможностей и матрицы угроз); - Определение инновационных целей предприятия; - Формирование инновационных стратегий предприятия.
Метод формирования портфеля инновационных проектов наукоемкого предприятия	Факторы вероятности успеха: - факторы окружения, - стадия жизненного цикла изделия, - характеристика инновации по глубине вносимых изменений. Объективный и субъективный метод определения вероятности.
Метод формирования сбалансированного портфеля продуктов наукоемкого предприятия	Результаты выполнения идентификации стадий жизненного цикла позволяют провести анализ сбалансированности портфеля продуктов наукоемкого предприятия, необходимый для оценки согласованности планов инновационной и производственно-хозяйственной деятельности предприятия

Метод формирования целей и стратегий инновационного развития наукоемкого предприятия включает следующие этапы:

- Оценка состояния ресурсов предприятия.

- SWOT - анализ, или ситуационный анализ, который предполагает сначала выявление сильных и слабых сторон, а также угроз и возможностей, а затем – установление цепочек связей между ними, которые в дальнейшем могут быть использованы для формулирования инновационных целей и стратегий предприятия (формирование и анализ матрицы SWOT, матрицы возможностей и матрицы угроз).

- Определение инновационных целей предприятия.

- Формирование инновационных стратегий предприятия [7].

Метод формирования портфеля инновационных проектов наукоемкого предприятия заключается в следующем. На вероятность успеха инновационного проекта оказывает влияние множество факторов, которые разделим на следующие группы:

- факторы окружения;
- стадия жизненного цикла изделия;
- характеристика инновации по глубине вносимых изменений.

Вероятность успешной реализации инновационного проекта предлагается определять как произведение вероятностей успеха, определенных для каждой из выделенных групп.

Выделяют два метода определения вероятности:

- объективный метод — основан на вычислении частоты, с которой происходят некоторые события. Частота при этом рассчитывается на основе фактических данных. Применение объективного метода в условиях высокой неопределенности, как правило, не оправдано;

- субъективный метод — является предположением относительно определенного результата, основывающемся на суждении или личном опыте оценивающего, а не на частоте, с которой подобный результат был получен в аналогичных условиях [7].

Метод формирования сбалансированного портфеля продуктов наукоемкого предприятия заключается в следующем. Инновационная стратегия и, соответственно, состав портфеля инновационных проектов должны быть согласованы с планами производственно-хозяйственной деятельности наукоемкого предприятия как основного источника финансовых поступлений. Для этого необходимо прогнозирование поступления ресурсов (в первую очередь финансовых) в результате производственно-хозяйственной деятельности предприятия. Одной из важных характеристик продукта, которую необходимо учитывать при прогнозировании результатов производственно-хозяйственной деятельности наукоемкого предприятия, является его стадия жизненного цикла. Результаты выполнения идентификации стадий жизненного цикла позволяют провести анализ сбалансированности портфеля продуктов наукоемкого предприятия, необходимый для оценки согласованности планов инновационной и производственно-хозяйственной деятельности предприятия [7].

1.2. Маркетинговые исследования рынка кабельной продукции.

Емкость российского рынка кабельно-проводниковой продукции в настоящее время оценивается более, чем в 6 млрд. долл. США при импорте более 1,3 млрд. долл. США.

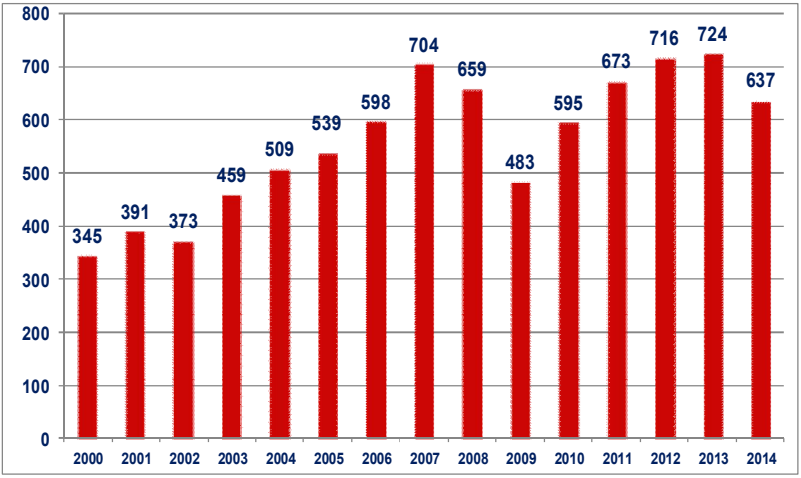
С 2010г. по 2012г. объемы российского производства уверенно росли. Ежегодный прирост в среднем составлял 8-15%. В 2013г. темпы роста снизились. В 2014г. произошло резкое падение объемов производства на 12 % по отношению к 2013г. (рис. 1.1), а по отдельной номенклатуре – на 25-30 %, особенно по неизолированным проводам [2].

На фоне падения российского производства общий объем импорта в Россию кабельных изделий по коду ТН ВЭД 85 44 (кабели и провода) в 2014г. возросли до 1,7 млрд. долл. США (на 29 % по сравнению с 2013г.), что подтверждает хороший потенциал для импортозамещения и необходимость государственного регулирования с целью обеспечения приоритета реализации на внутреннем рынке продукции отечественного производства. Динамика объемов внешнеторговых операций России по отдельным товарным группам кабельной продукции приведена на рис. 1.2.

В кабельной промышленности перерабатывается в качестве основного сырья для производства продукции 266 тыс. тонн меди и более 160 тыс. тонн алюминия в основном отечественного производства. Кабельные предприятия являются ведущими игроками на рынке меди (более 80 % произведенной в России и остающейся на рынке за вычетом экспорта рафинированной меди приходится на кабельную промышленность).

Более 75 % кабельно-проводниковой продукции потребляется в электроэнергетике (сетевые и генерирующие компании) и строительстве, а 18 % идет на комплектацию инвестиционного машиностроения, в т.ч. для нефтедобычи, и техники военного назначения [2].

В настоящее время в кабельной отрасли работает около 45 тыс. человек. Анализ показывает, что одно рабочее место в кабельной промышленности обеспечивает занятостью 7 работников в смежных отраслях (поставщики материалов и комплектующих для изготовления кабельных изделий, потребители кабельной продукции).



Изменение к предыдущему периоду, %

+13 -4,6 +23 +11 +6 +11 +17 -6 -27 +23 +13 +6 +1.3 -12

Рис. 1.1. Динамика производства кабельных изделий в России (в пересчете на вес меди, тыс. тонн).

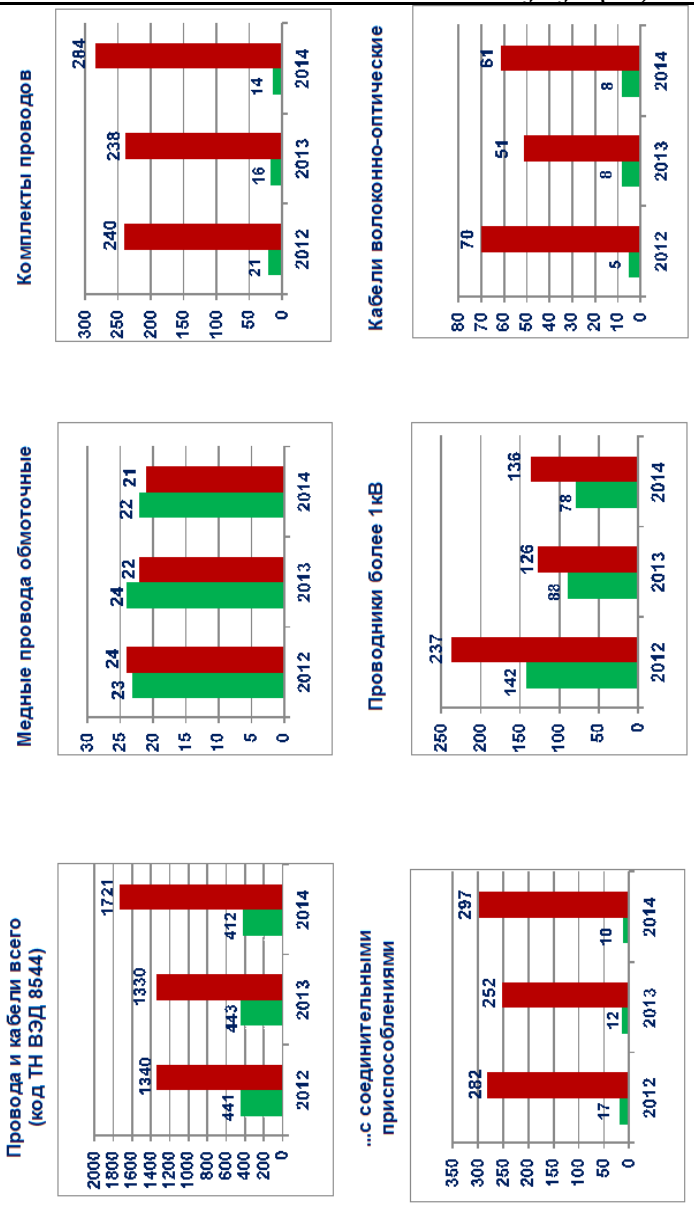


Рис. 1.2. Объем внешнеторговых операций России по кабельно-проводниковой продукции, млн.$

1.3. Анализ существующей модели наукоемкого предприятия.

ОАО «Всероссийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт кабельной промышленности» (ВНИИКП) – является головным научно-техническим центром отечественной кабельной промышленности [9]. Модель ВНИИКП представлена на рис. 1.3.

Отличительной особенностью ВНИИКП, как научно-технического центра, по сравнению с традиционной структурой предприятия, является наличие научно-исследовательских, проектно-конструкторских и технологических подразделений (отделений):

- отделение №1 «Кабели и провода энергетического назначения»;
- отделение №2 «Кабели и провода для систем телекоммуникаций и информатизации;
- отделение №3 «Кабели и провода для электрических машин, транспорта, установок и приборов»;
- отделение №4 «Сверхпроводящие кабели и провода»;
- отделение №5 «Менеджмент качества, нормативно-техническая документация и интеллектуальная собственность» [9].

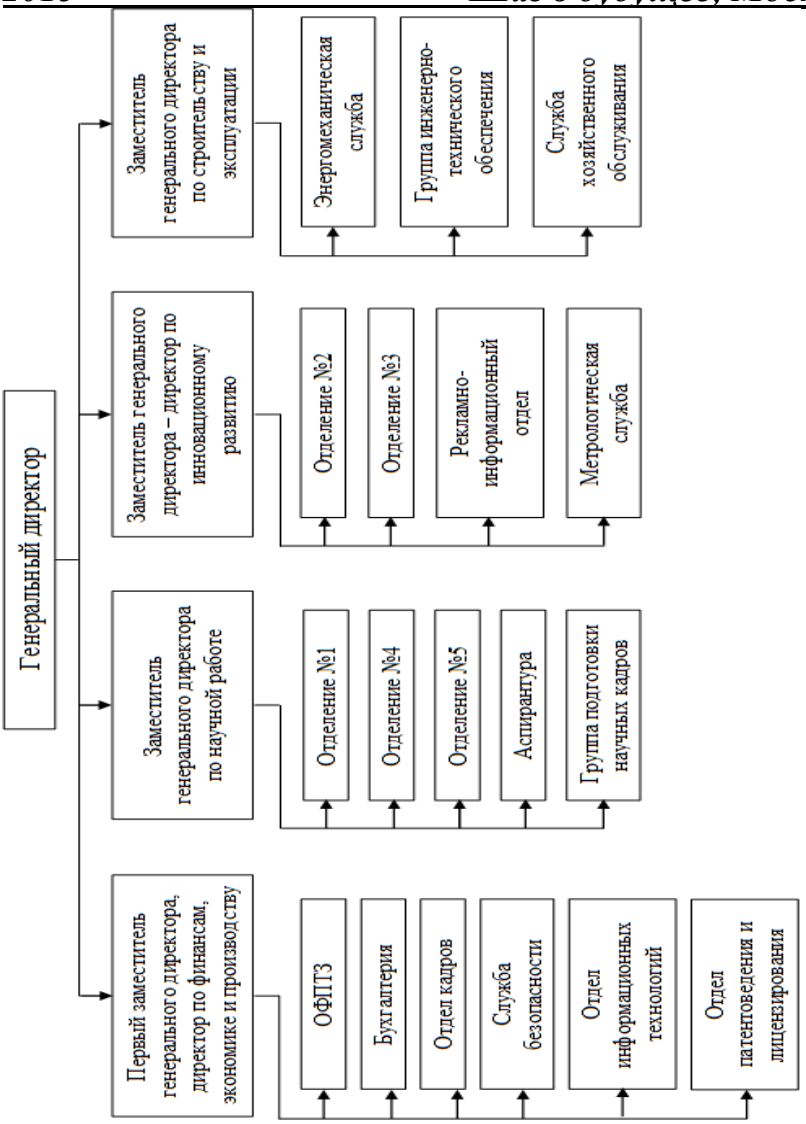


Рис. 1.3 Модель ВНИИКП.

Следует отметить, что во ВНИИКП отсутствуют отделы маркетинга, снабжения и сбыта. Вопросами анализа рынка при

необходимости занимаются в отделениях. В структуре некоторых отделений существуют исследовательские лаборатории, в которых испытывают отдельные элементы конструкции кабельных изделий и технологии их производства. Во ВНИИКП ранее функционировал испытательный центр, но затем оборудование было демонтировано, а помещение сдано в аренду.

1.1 Руководящие документы, основание для выполнения работы.

Вопрос импортозамещения на российском рынке рассмотрен в следующих документах, которые фактически являются основанием для выполнения данной работы.

План первоочередных мероприятий по обеспечению устойчивого развития экономики и социальной стабильности в 2015 году (Антикризисный план Правительства) утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 января 2015 г. № 98-р. Одним из основных положений Плана является поддержка российских предприятий, реализующих проекты в области импортозамещения, с помощью субсидирования части процентов по кредитам, взятым в российских банках. Другим инструментом поддержки российской промышленности является ФГАУ «Российский фонд технологического развития – Фонд развития промышленности», который должен выдавать предприятиям льготные кредиты.

Вопросы, рассматриваемые в настоящей работе, соответствуют пунктам 3 (информационно-телекоммуникационные системы), и 8 (энергоэффективность, энергосбережение и ядерная энергетика приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, а также пунктам 2 (базовые технологии

силовой электротехники), 25 (технологии создания электронной компонентной базы) и 26 (технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии) перечня критических технологий Российской Федерации, которые утверждены Указом Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 899.

Протокол заседания Комиссии при Президенте Российской Федерации по вопросам стратегии развития топливно-энергетического комплекса и экологической безопасности от 04.06.2014 № А4-26-368.

Решение Минпромторга России о создании межведомственной рабочей группы по импортозамещению в электротехнической и кабельной промышленности с привлечением представителей ВНИИКП и Ассоциации «Электрокабель» и разработке плана мероприятий по импортозамещению. Приказ генерального директора ВНИИКП (проект) о разработке и реализации мероприятий по импортозамещению в кабельной отрасли.

1.5 Постановка задачи исследования.

На основании вышеизложенного обзора и анализа организационно-экономических методов и моделей управления инновационной деятельностью предприятия, маркетингового исследования рынка кабельной продукции, анализа модели наукоемкого предприятия (ВНИИКП) и руководящих документов, которые фактически являются основанием для выполнения настоящей работы, сформулированы цели и задачи НИР.

Целью НИР является разработка и реализация мероприятий по совершенствованию маркетинговой модели наукоемкого предприятия

(ВНИИКП) для удовлетворения потребностей российского рынка путем обеспечения имопртозамещения кабельных изделий и материалов для их производства

Задачи НИР:

- маркетинговое исследование рынка и анализ зависимости российской промышленности (ТЭК, ОПК, транспортный комплекс и др.) от импортных поставок кабельных изделий;

- анализ зависимости российской кабельной промышленности от импортных поставок оборудования (запасных частей), материалов и комплектующих для производства кабельных изделий;

- использование инструментов развития для создания отечественного производства кабельных изделий и материалов для их изготовления;

- разработка рекомендаций по использованию методов и моделей совершенствования маркетинга для обеспечения импортозамещения кабельной продукции на российском рынке.

2. Разработка процесса создания инновационной продукции и совершенствование модели наукоемкого предприятия (конструкторско-технологическая часть).

При решении проблемы импортозамещения кабельных изделий и материалов для их изготовления применили комплексный системный подход с использованием существующих организационно-экономических методов и моделей управления инновационной деятельностью наукоемкого и промышленного предприятия. Разработали процесс создания инновационной импортозамещающей продукции, для реализации которого предложили усовершенствовать

модель наукоемкого предприятия ВНИИКП путем образования новых подразделений (блок импортозамещания).

2.1. Разработка процесса создания инновационной импортозамещающей продукции.

На основании анализа научно-исследовательской и проектно-конструкторской деятельности ВНИИКП [3;9] и производственного процесса ведущих кабельных предприятий с использованием системного подхода предложили процесс разработки и создания инновационной импортозамещающей продукции, который включает следующие мероприятия и операции (рис. 2.1) [1; 6]:

1. Маркетинговое исследование российского рынка по товарным позициям кабельных изделий:

- маркетинговое исследование и определение объемов отечественное производства;
- анализ внешнеторговых операций (импорт, экспорт);
- оценка внутреннего потребления и определение необходимых потребностей российского рынка в конкретных видах кабельных изделий;
- определение наиболее востребованных (дефицитных) на российском рынке видов кабельных изделий, которые не изготавливаются отечественными предприятиями (или изготавливаются подобные с худшими характеристиками);
- определение требуемых объемов потребности для потенциальной организации их производства с целью обеспечения импротозамещения;

- определение потенциальных заказчиков на кабельное изделие, заключение договоров о намерениях с указанием ориентировочных объемов и сроков поставки, стоимости изделия;

- определение потенциальных поставщиков комплектующих и материалов для изготовления изделия, заключение договоров о намерениях;

- принятие решение об организации производства конкретных изделий (разработке конструкции и технологии, потребность в комплектующих и материалах).

2. Разработка инновационной импортозамещающей продукции:

- разработка конструкции кабельных изделий;

- разработка технологического процесса изготовления;

- определение требуемого оборудования для изготовления продукции;

- определение потребности в комплектующих и материалах для изготовления импортозамещающих изделий.

3. Освоение технологии изготовления и производство продукции: - наладка оборудования, разработка и изготовление инструмента и оснастки:

- отладка и освоение технологии производства инновационной кабельной продукции и материалов для ее изготовления;

- мелкосерийное производство продукции;

- освоение технологии серийного производства продукции и передача ее на кабельное предприятие.

4. Поставка оборудования, комплектующих и материалов для изготовления импортозамещающей продукции (обеспечивает процесс производства продукции).

5. Испытание кабельных изделий на соответствие Технических регламентов Таможенного Союза (ТР ТС), национальных стандартов и других нормативно-технических документов.

6. Патентование разработок, оформление лицензий на производство и сертификатов соответствия на изделия:

- патентование инновационных разработок для защиты интеллектуальной собственности и обеспечения авторского права;
- оформление лицензий на производство продукции (при необходимости);
- оформление сертификатов соответствия на инновационные изделия.

7. Реализация готовой продукции:

- работа с потенциальными заказчиками, рекламно-информационная деятельность;
- заключение контрактов (договоров) на поставку продукции, финансовые расчеты с заказчиками;
- отгрузка, контроль поставки.

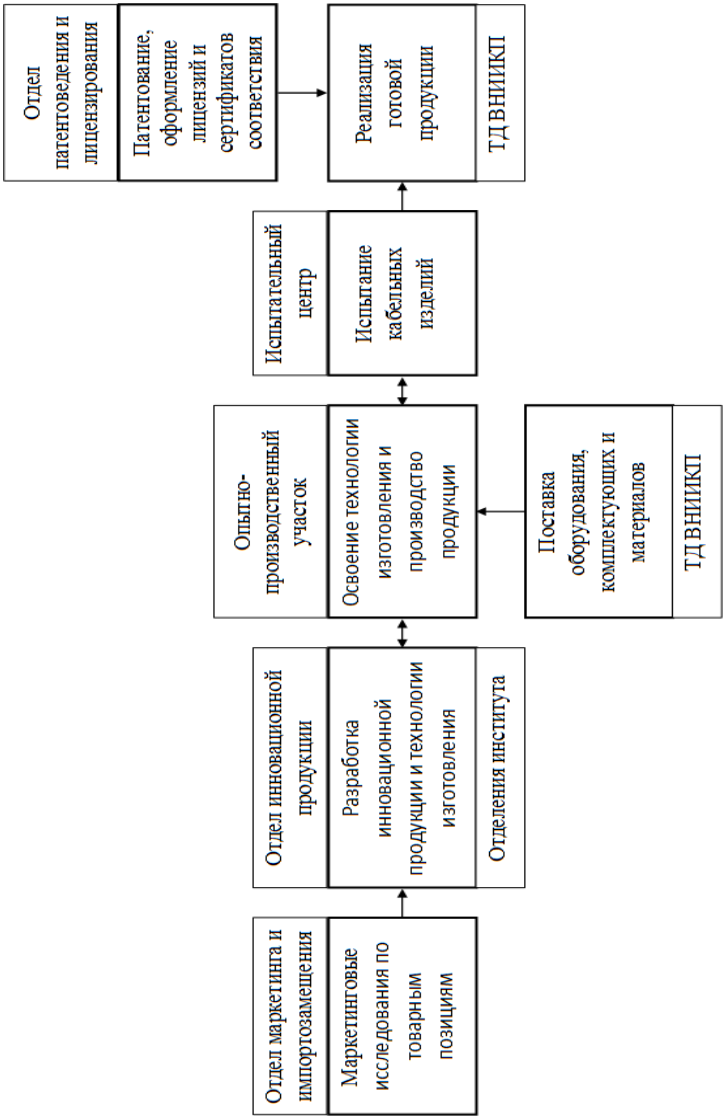


Рис. 2.1 Процесс разработки и создания инновационной импортозамещающей продукции.

2.2. Совершенствование модели наукоемкого предприятия для обеспечения импортозамещения.

Для реализации процесса создания инновационной импортозамещающей продукции помимо имеющихся во ВНИИКП подразделений требуется образовать новые подразделения, которые предложено объединить в блок импортозамещения. Усовершенствованная модель наукоемкого предприятия ВНИИКП, которая позволяет в комплексе реализовать мероприятия по импортозамещению кабельной продукции представлена на рис. 2.2. При разработке новой модели ВНИИКП использовал кибернетическую модель, которая предусматривает тесную кооперацию науки и практики, с последующим использованием модели параллельно-последовательного взаимодействия фаз инновационного процесса для организации импортных поставок оборудования, комплектующих и материалов (международная межфирменная кооперация) и социально-технологической модели для создания объединений по масштабной реализации инноваций (создание совместных предприятий, холдингов) [5; 6; 8].

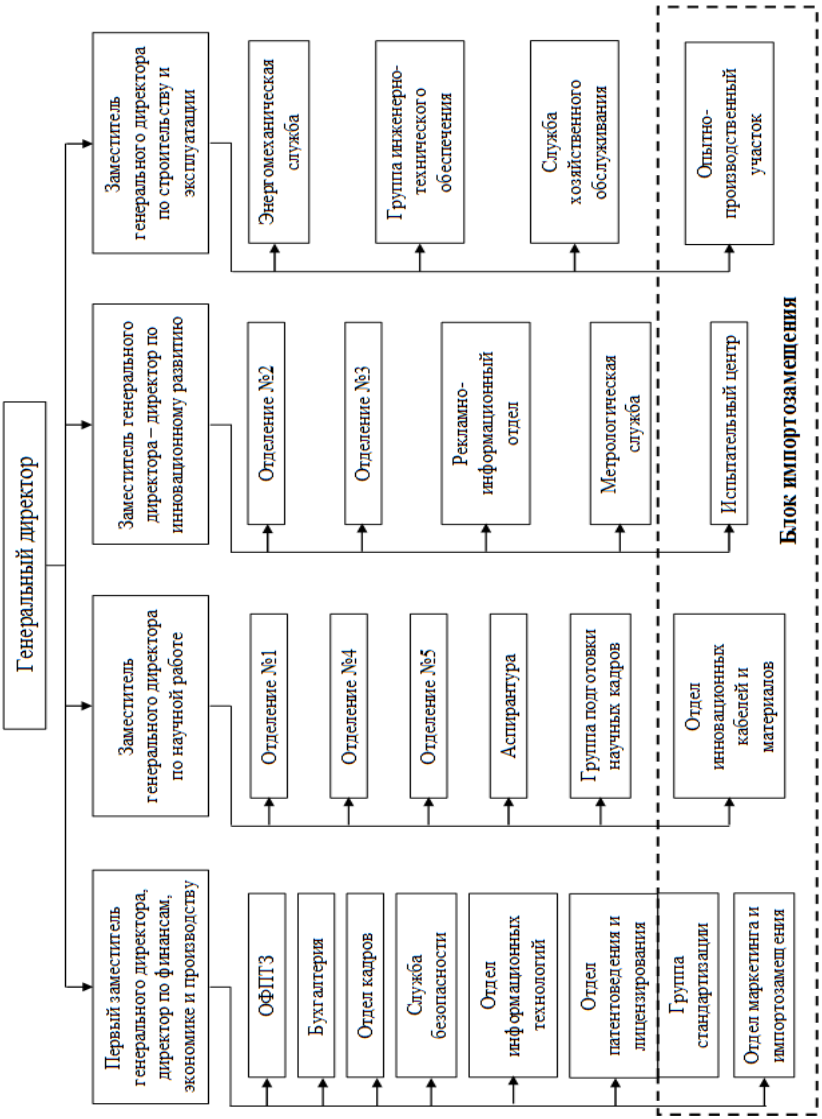


Рис. 2.2 Усовершенствованная модель наукоемкого предприятия ВНИИКП.

2.3. Функции и модели подразделений блока импортозамещения.

Разработаны предложения о регламентах работы (функциях) новых подразделений блока импортозамещения.

Функции отдела маркетинга и импортозамещения:

Маркетинговые исследования рынка и процесса импортозамещения кабельных изделий, в т.ч.:

- анализ потребностей российского рынка в инновационной кабельной продукции;
- анализ номенклатуры и объема внешнеэкономических операций (импортных поставок) кабельных изделий и материалов;.
- определение необходимости создания отечественного производства (требуемые производственные площади, оборудование, материалы и комплектующие для производства кабельных изделий);
- проработка логистических процессов создания инновационной продукции (способы реализации технологии изготовления);
- определение возможности замены на отечественные аналоги и (или) импортных поставок из других стран.

Функции отдела инновационной продукции:

- разработка инновационных видов кабельных изделий и материалов (в т.ч. не производимых в России);
- разработка технологии производства кабельных изделий и материалов для их изготовления.

Функции опытно-производственного участка:

- освоение и отладка технологий изготовления (в т.ч. для серийного производства) инновационных видов кабельных изделий и материалов для их изготовления (в т.ч. по НИОКР и государственным программам) с последующей передачей заказчикам;

- мелкосерийное производство высокотехнологичных изделий (по спецзаказам и государственным контрактам);

Функции испытательного центра:

- испытание кабельных изделий на соответствие Технического регламента Таможенного Союза ТР ТС 004/2013 «О безопасности низковольтного оборудования», национальным стандартам, стандартам организации (СТО) и техническим условиям (ТУ).

- испытание кабельных изделий на напряжение до 220 кВт (в перспективе до 330 и 500 кВт);

- проверка конструкции, маркировки, электрического сопротивления токопроводящих жил и изоляции жил;

- испытания на пожаробезопасность (дымовыделение, огнестойкость, нераспространение горения).

Функции группы стандартизации (в отделе патентоведения и лицензирования):

- разработка национальных стандартов на кабельные изделия и материалы;

- участие в разработке и совершенствовании Технических регламентов Таможенного Союза;

- гармонизация отечественной и зарубежной нормативной базы.

Новые подразделения должны работать в тесном взаимодействии с существующими подразделениями ВНИИКП, а также внешними организациями и предприятиями, а именно:

- маркетинговые исследования рынка отдел маркетинга и импортозамещения ВНИИКП осуществляет при взаимодействии с Ассоциацией «Электрокабель», ведущими кабельными заводами и федеральными органами исполнительной власти (Минпромторг России, Минэкономразвития России, Росстат, ФТС России и др.);
- разработку инновационной продукции и технологии ее изготовления отдел инновационной продукции ВНИИКП осуществляет при взаимодействии с научно-исследовательскими и проектно-конструкторскими отделениями ВНИИКП и другими научно-исследовательскими организациями;
- освоение технологии изготовления опытно-производственный участок ВНИИКП осуществляет при взаимодействии с отделениями ВНИИКП;
- предложено, что поставку оборудования, комплектующих и материалов для изготовления инновационной кабельной продукции, а также реализацию готовой продукции производит ТД ВНИИКП (ввиду отсутствия отделов снабжения и сбыта в структуре ВНИИКП).

Функции новых подразделений ВНИИКП и их взаимодействие с подразделениями ВНИИКП и внешними организациями приведены в таблице 3.

Разработаны структурные модели новых подразделений ВНИИКП. Для примера, модель опытно-производственного участка представлена на рис. 2.3, а испытательного центра – на рис. 2.4.

Следует особо отметить создание испытательного центра, в структуре которого предусмотрены следующие испытательные лаборатории:

- лаборатория по испытаниям кабелей силовых, арматуры и материалов;
- лаборатория по испытаниям кабелей, проводов и шнуров связи, волноводов, муфт;
- лаборатория по испытаниям кабелей, проводов и шнуров с резиновой и пластмассовой изоляцией, изоляционных и шланговых материалов;
- лаборатория по испытаниям пластмасс и технологических параметров полимерных материалов;
- лаборатория по испытаниям оптического волокна и кабелей;
- лаборатория по испытаниям обмоточных проводов, кабелей с минеральной изоляцией, материалов и лаков для их изготовления;
- лаборатория по испытаниям неизолированных проводов, проволоки, шин и катанки;
- лаборатория климатических испытаний и на надежность [9].

Таблица 3. Функции и взаимодействие подразделений блока импортозамещения.

Подразделение блока импортозамещения	**Функции**	**Взаимодействие с подразделениями и организациями**
Отдел маркетинга и импортозамещения	Маркетинговые исследования рынка и процесса импортозамещения кабельных изделий, в т.ч.: - анализ и определение потребностей российского	Ассоциация «Электрокабель», кабельные заводы, органы государственной власти

	рынка в инновационной кабельной продукции - анализ номенклатуры и объема импортных поставок - определение необходимости создания отечественного производства	
Отдел инновационной продукции	- разработка инновационной, импортозамещающей продукции - разработка технологии изготовления продукции	отделения ВНИИКП, НИИ, кабельные заводы
Опытно-производственный участок	- освоение и отладка технологи изготовления продукции (в т.ч. для серийного производства) - мелкосерийное производство высокотехнологичных изделий	отделения ВНИИКП, кабельные заводы
Испытательный центр	- испытание кабельных изделий на соответствие Технического регламента Таможенного Союза, национальным стандартам - проверка конструкции, маркировки, электрического сопротивления токопроводящих жил и изоляции жил, испытания на пожаробезопасность	Росстандарт, Росаккредитация, отделения ВНИИКП, кабельные заводы, сторонние организации заказчики испытаний
Группа стандартизации (в отделе патентоведения и лицензирования)	- разработка национальных стандартов - участие в разработке ТР ТС - гармонизация отечественной и зарубежной нормативной базы	Росстандарт, кабельные заводы

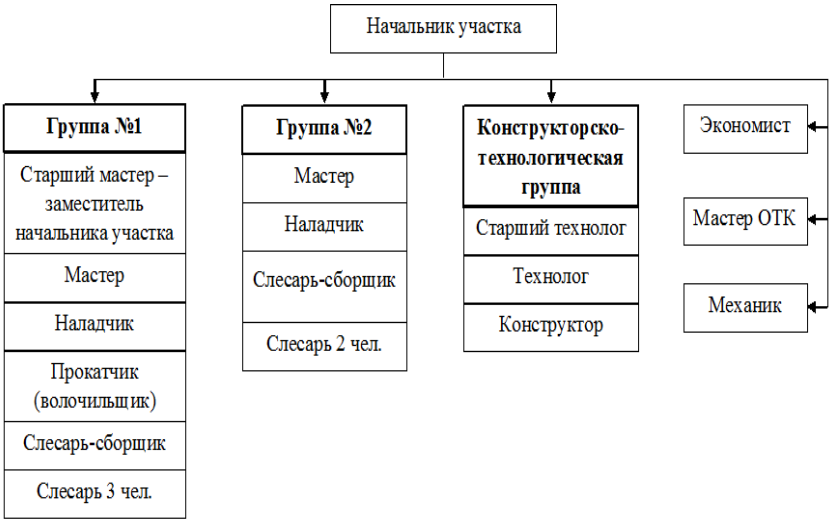


Рис. 2.3. Модель опытно-производственного участка.

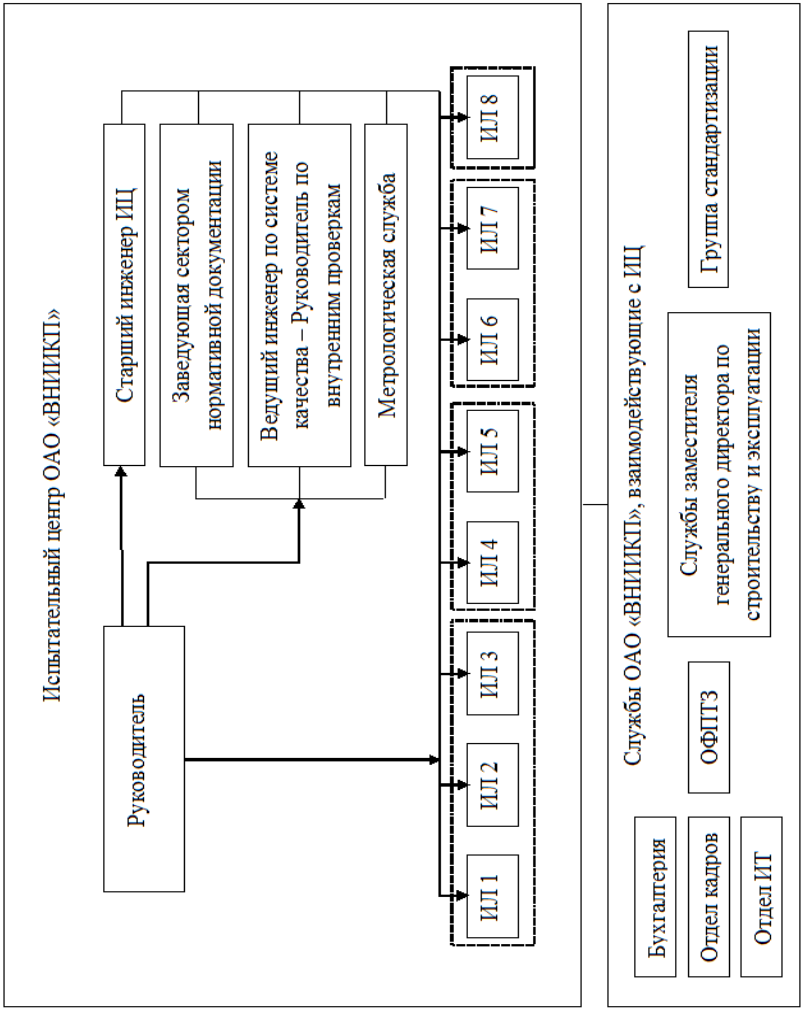


Рис. 2.4. Организационная структура испытательного центра ОАО «ВНИИКП»

Рис. 2.4 Организационная структура испытательного центра ОАО «ВНИИКП».

3. Практическая реализация мероприятий по импортозамещению (внедренческая часть).

По распоряжению генерального директора ОАО «ВНИИКП» создана рабочая группа по подготовке реализации мероприятий по импортозамещению, которая фактически является прообразом нового отдела маркетинга и импортозамещения.

На основании анализа потребностей российского рынка определены виды изделий, которые целесообразно разработать и производить в ОАО «ВНИИКП», в частности, кабели связи полевые распределительные типа «П-269М», а также отдельные виды полимерных материалов и компонентов для изготовления изоляционных слоев и оболочки кабелей [1; 4].

В настоящее время производится переоборудование опытно-производственного участка и опробование отдельных технологических процессов (рис. 3.1).

Завершается создание испытательного центра, смонтировано и производится наладка оборудования (рис. 3.2). Оформлен аттестат аккредитации испытательного центра. Система менеджмента Испытательного центра ОАО «ВНИИКП» соответствует требованиям ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009. В октябре 2014 г. подписано соглашение о сотрудничестве между ОАО «ВНИИКП и ОАО «Российские сети» на проведение испытаний кабельной продукции [9].

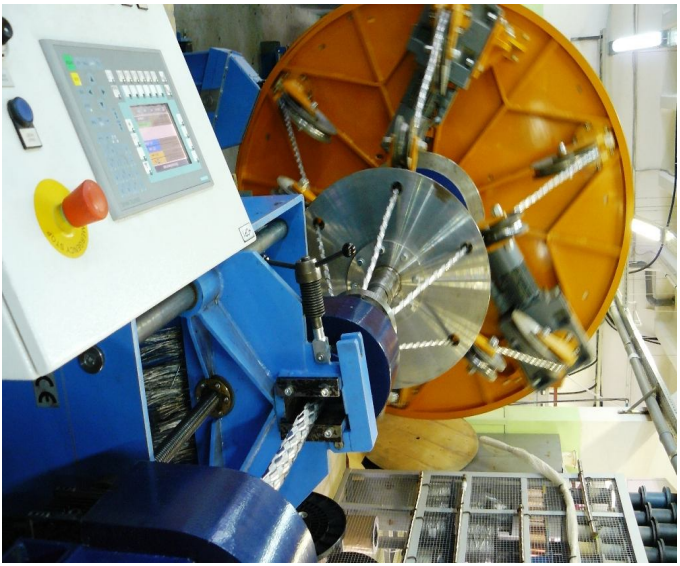


Рис. 3.1. Скрутка кабеля.

Рис. 3.2. Импульсная испытательная система.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

В рамках проекта выполнено:

- обзор и анализ организационно-экономических методов и моделей управления инновационной деятельностью наукоемкого и промышленного предприятия;
- маркетинговые исследования российского рынка кабельной продукции;
- разработана структурная схема процесса создания инновационной импортозамещающей кабельной продукции и материалов для ее изготовления;
- усовершенствована модель наукоемкого предприятия ВНИИКП путем создания блока импортозамещения.

В результате выполнения проекта предложено комплексное решение, позволяющее обеспечить импортозамещение кабельной продукции на российском рынке.

Выполнен обзор и анализ организационно-экономических методов и моделей управления инновационной деятельностью наукоемкого и промышленного предприятия.

Выполнены маркетинговые исследования российского рынка кабельной продукции. Проанализирована динамика объема внутреннего производства кабельных изделий и внешнеторговые операции (объемы импорта и экспорта) по товарным группам кабельной продукции.

Установлено, что в 2014 году произошло резкое падение объемов производства на отечественных предприятиях на 12% по

отношению к 2013 г., а по отдельной номенклатуре – на 25-30%. Объем импортных поставок возрос на 29% по сравнению с 2013г., что подтверждает хороший потенциал для импортозамещения.

Определены виды кабельных изделий, импортозамещение которых наиболее целесообразно и приемлемо.

Выполнен анализ существующей модели наукоемкого предприятия ВНИИКП и руководящих документов, которые подтверждают актуальность работы и являются основанием для ее выполнения.

С использованием метода формирования целей и стратегий инновационного развития наукоемкого предприятия и метода формирования портфеля инновационных проектов наукоемкого предприятия разработана структурная схема процесса создания инновационной импортозамещающей кабельной продукции и материалов для ее изготовления, которая объединяет научные исследования и проектирование, свойственные научной организации, а также производственный процесс промышленного предприятия (системное, комплексное решение).

Предусмотрена реструктуризация процессов: исследования и проектирование проводятся как по государственным контрактам и программам, так и по коммерческим договорам с кабельными предприятиями; опытно-производственный участок, с одной стороны, осваивает технологию мелкосерийного производства высокотехнологичной продукции и изготавливает ее мелкими партиями для реализации, с другой - отрабатывает технологию серийного производства кабельных изделий и материалов по заказам

предприятий с последующей передачей кабельным предприятиям; испытательный центр проводит работы для собственных нужд ОАО «ВНИИКП», а также выполняет заказы на испытания сторонних организаций.

Усовершенствована модель наукоемкого предприятия ОАО «ВНИИКП» путем создания блока импортозамещения (отдел маркетинга и импортозамещения, отдел инновационной продукции, опытно-производственный участок, испытательный центр), которая позволяет в комплексе реализовать разработанный процесс создания инновационной, импортозамещающей продукции. При разработке новой модели ОАО «ВНИИКП» применили кибернетическую модель с перспективой последующего использования модели параллельно-последовательного взаимодействия фаз инновационного процесса и социально-технологической модели

Разработаны регламенты работы (функции) и структурные модели новых подразделений, определены их взаимосвязи с другими подразделениями ОАО «ВНИИКП», а также сторонними предприятиями и организациями.

Приведены примеры практической реализации результатов работы.

На представленную работу получены положительные отзывы ОАО «ВНИИКП» и Ассоциации «Электрокабель», подтверждающие актуальность и использование результатов работы.

Материалы данного проекта использованы при подготовке научно-практического семинара «Проблемы импортозамещения кабельной продукции и материалов для ее производства»,

организаторами которого являются ОАО «ВНИИКП» и Ассоциация «Электрокабель».

Настоящая работа направлена на практическую реализацию Антикризисного плана Правительства на 2015 год в области импортозамещения кабельной продукции на российском рынке с использованием базы наукоемкого предприятия ОАО «ВНИИКП». Результаты работы могут быть использованы в смежных отраслях промышленности.

Литература:

1. Кочетов В.В. Организационно-экономическое проектирование конкурентной продукции машиностроения. - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 16 с.

2. Мещанов Г.И., Уваров Е.И. Состояние кабельного производства в России и странах СНГ / Кабели и провода. 2015, № 1, с. 3-7.

3. Основы кабельной техники / Под ред. И.Б. Пешкова. - М.: Издательский центр «Академия», 2006. -432 с.

4. Пешков И.Б. Материалы кабельного производства. - М.: Машиностроение, 2013. - 456 с.

5. Проектирование интегрированных производственно-корпоративных структур / Под редакцией А.А. Колобова, А.И. Орлова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 728 с.

6. Стратегическое управление организационно-экономической устойчивостью фирмы / Под редакцией А.А. Колобова, И.Н.

Омельченко. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 600 с.

7. Экономика инновационной деятельности наукоемких предприятий / Под ред. А.А. Колобова, И.Н. Омельченко. - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. - 384 с.

8. Юдин И.Е. Оценка рисков производственно-финансовой деятельности предприятий. - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 44 с.

9. http://vniikp.ru/ - официальный сайт ВНИИКП

10. http://ibm.bmstu.ru/ - официальный сайт факультета ИБМ МГТУ им.Н.Э. Баумана.

Проведение исследований и расчетов для формирования пакета документации инновационного стартапа на примере проекта «Cake print»

СМИРНОВА Ксения Валерьевна,
г. *Москва, ГБОУ СОШ №2105, 11 класс*

Научный руководитель:
Малинин Виктор Леонидович,
к.т.н., доцент кафедры «Менеджмент»
МГТУ им. Н.Э. Баумана

В данной работе рассматривается процесс развития инновационного стартапа, изучается вопрос вывода на рынок инновационной продукции с учетом опубликованной недавно методики «Экономичного стартапа». Данная методика заключается в выделении специального этапа: «Customer Development», который необходим для совершенствования продукта и практического тестирования рынка. В результате проводимых мероприятий возможно снижение затрат на маркетинг продукта и общее снижение маркетинговых рисков. Комплекс «Customer Development» заключается в формировании фанатской сети проекта, доработки продукта с учетом пожеланий пользователей.

На базе проекта «Cake Print» реализована научно-практическая часть работы, исследована целевая аудитория, разработан план мероприятий по методике «Customer Development». В данной работе произведены расчеты ожидаемых затрат на создание минимального

работающего продукта и реализацию маркетинговых мероприятий. Разработаны необходимые документы для предоставления инновационного стартапа инвесторам. Проект, на основе которого выполнена работа, заключается в создании принтеров, печатающих шоколадом цветные 3d-фигуры, упрощённой программы 3d-552 и приложения для IOS и ANDROID.

Цель работы: изучить вопрос вывода на рынок инновационной продукции и подготовить пакет документации для инновационного проекта «Cake Print».

Задачи:

1)рассмотреть развитие стандартного инновационного стартапа,

2)рассмотреть преимущества введения методики «Customer Development»,

3) изучить инновационный проект «Cake Print»,

4) провести полевое маркетинговое исследование,

5) разработать финансовую модель,

6) создать презентацию.

Актуальность: предложена инновационная идея, для воплощения которой необходимо разработать пакет документации.

1. **Теоретическая часть. Стандартное развитие инновационной компании и определение стартапа.**

Рассматриваются основные понятия, такие как стартап, инновационный стартап, его финансирование, стадии развития и бизнес-план.

Стартап (от английского "запускать") — представляет собой недавно запущенный проект, цель которого в самые быстрые сроки

окупить вложенные в него инвестиции и получить прибыль. Компания, которая планирует запустить проект, — новичок на рынке. Чаще всего, предприятие еще не зарегистрировано, как юридическое лицо.

Инновационный стартап — это только что появившаяся технология, либо инновационная идея, продвигаемая компанией, находящаяся на стадии развития с целью создания бизнеса.

Финансирование стартапа.

Любая инновационная идея для ее реализации требует инвестирования. Молодой компании необходимо заинтересовать инвестора, представить идею перспективной, прогрессивной, не имеющей аналогов на рынке, либо позиционировать ее, как наиболее актуальную в данный момент, в данных условиях. Добиться данного результата гораздо проще компании, которая уже зарекомендовала себя на рынке. Мы же рассматриваем молодую компанию. Зачастую стартапу свойственна нехватка финансов и непрочное положение фирмы на рынке. Производственные, финансовые и трудовые ресурсы минимальны. Чаще всего компания-стартапер даже не располагает собственным стартовым капиталом. Большинство стартапов появились только благодаря инвесторам или спонсорам. Финансирование стартапа на различных стадиях (рис. 1).

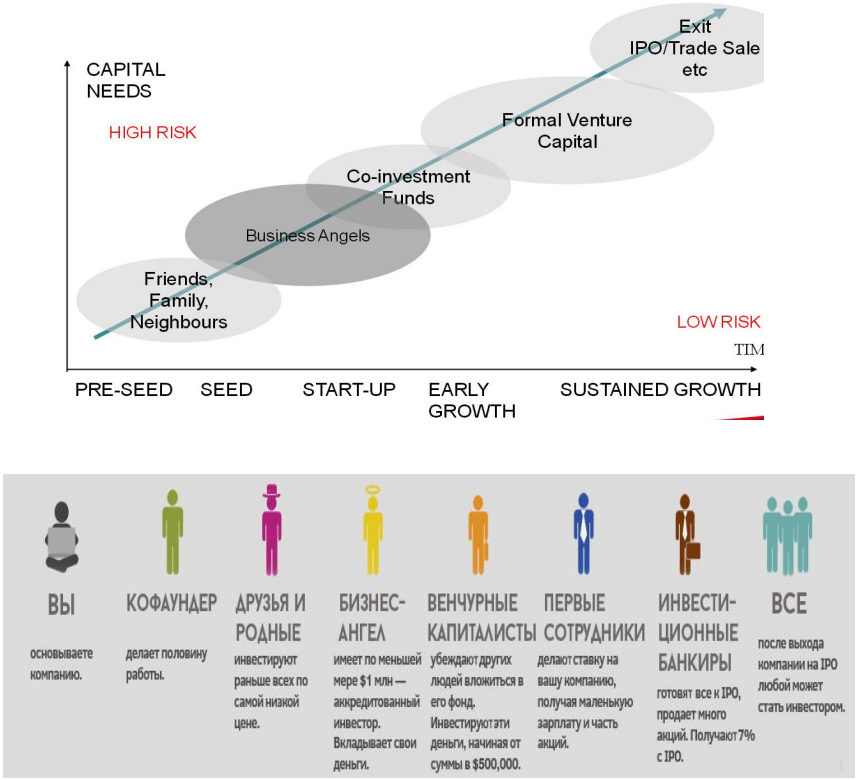


Рис. 1. Различные стадии стартапа.

Стандартные стадии развития инновационного стартапа.

Pre-seed стадия. Для данной стадии характерно наличие бизнес идеи; понятия того, что нужно рынку и потребителям, и при этом отсутствует четкое представление о том, как ее следует реализовывать технически, и как практически развивать, чтобы она приносила прибыль. Бизнес-плана тоже еще нет.

Seed - «посевная» стадия. На стадии SEED компания находится в процессе формирования, имеется лишь идея или проект, идет процесс создания управленческой команды, проводятся научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки (НИОКР) и маркетинговые исследования, определяется концепция бизнеса, происходит сбор начальных финансовых ресурсов, выполняется создание прототипа.

Startup — стадия «стартап». STARTUP — компания недавно образована, обладает опытными образцами, пытается организовать производство и выход продукции на рынок, идет создание команды, проводится анализ конкуренции, осуществляется поиск и привлечение первых клиентов на рынке, выполняется переход от прототипа к действующему масштабируемому продукту.

Точка безубыточности — объём производства и реализации продукции, при котором расходы будут компенсированы доходами, а при производстве и реализации каждой последующей единицы продукции предприятие начинает получать прибыль

Early stage, early growth — стадия «ранний рост». На этапе early growth компания осуществляет выпуск и коммерческую реализацию готовой продукции, хотя, пока не имеет устойчивой прибыли, происходит увеличение количества клиентов, выполняется поиск средств на развитие компании, комплектуется штатный персонал компании. На эту стадию приходится «точка безубыточности» (BEP — break-even point).

Expansion — стадия «расширение». Expansion («расширение») — компания занимает определенные позиции на рынке, становится

прибыльной. Ей требуется расширение производства и сбыта, проведение дополнительных маркетинговых исследований, увеличение основных активов и капитала. На этапе expansion происходит переориентация продукта на массового пользователя и экспоненциальный рост продаж.

Exit — «выход». Exit — этап развития венчурной компании, на котором происходит создание публичной компании, продажа доли инвестора другому стратегическому инвестору, первичное размещение на фондовом рынке или выкуп менеджментом. Доля инвестора приобретается менеджерами проинвестированной компании по устраивающей инвестора цене. Как правило, этап «exit» является точкой выхода венчурных инвесторов. Продажа на этапе «выход» происходит по ценам, намного превышающим первоначальные вложения, что позволяет инвесторам зафиксировать значительные объемы прибыли.

Стадии развития инновационной компании представлены на рис. 2.

Рис. 2. Стадии развития инновационной компании.

Бизнес-план. Бизнес-план — обязательно письменный документ, суммирующий деловые возможности, перспективы и разъясняющий, как эти возможности могут быть реализованы имеющейся командой управленцев (менеджеров). Бизнес-план содержит сведения о фирме, товаре, его производстве, рынках сбыта, маркетинге, организации операций и их эффективности. Основная цель бизнес-плана — достижение разумного и выполнимого компромисса между тем, что фирма хочет и что может делать. Бизнес-план является исходной информацией для принятия управленческого решения на стадии оформления научно-технической документации по реализации рабочего проекта и составляется потенциальным разработчиком проекта совместно с подразделениями научно-технического парка. Целью разработки бизнес-плана является комплексная оценка возможностей проекта, обеспечение единой базы для сравнения различных проектов. Бизнес-план составляется как для внутреннего, так и для внешнего пользования, однако на практике целью его составления является, в основном, привлечение вкладчиков и инвесторов для заключения с ними соглашений об инвестициях и кредитах, то есть для сторонних относительно предприятия лиц.

Стандартный бизнес-план. Описание продукции (товар, основные технические характеристики, комплектация):

1. Разработка организационного плана производства (генеральные условия производства, производственные конкурентные преимущества, расчет количества рабочих в бригаде, расчет численности непроизводственного персонала и общего числа работающих на предприятии, штат, менеджмент персоналом).

2. Расчет затрат (расчет полной себестоимости производства, расчет единовременных затрат, связанных с образованием предприятия, расчет затрат на инвентарь и оборудование , расчет постоянных (общепроизводственных) расходов, расчет затрат на рекламу, зарплаты и т.д.).

3. Определение критического обьема выпуска или «точки безубыточности.

4. Оценка рынка.

5. Ценовая политика и расчет цены.

6. Расчет и анализ экономических показателей.

Данные теоретические знания необходимы для подготовки дальнейшей методологической базы, являющейся основой для разработки практической реализации инновации.

Методическая часть

Инновация.

Введение: при стандартном развитии инновационной компании существует высокий риск больших затрат, которые не приведут к должному результату. Продукт может быть создан, но не пользоваться спросом у потребителей, не устраивать их. Стартап — новая уникальная идея для бизнеса. Но не всегда полезная! 85% запущенных стартапов окончили свое существование, даже не окупив вложенные в них инвестиции, только потому, что их идеи не представляли никакой пользы для людей.

После того, как будет найден инновационный продукт, необходимо провести качественные маркетинговые исследования, чтобы определить его нужность для общества [3]. Специалисты

используют различные способы получения достоверной информации, а также проводят статистические анализы и используют в своей работе множество других методов. По результатам данных маркетинговых исследований будет принято решение о том, стоит ли заниматься производством и реализацией данного продукта или лучше придумать что-то другое.

Стандартный подход имеет много рисков: целесообразность развития проекта выясняется на поздних этапах, когда уже вложены значительные средства в развитие проекта. То есть на этапе pre-seed, seed и start-up при стандартном подходе могут быть напрасно израсходованы средства, а о том, что они израсходованы зря, мы узнаем только после выхода на рынок. [1,2]

Американские ученые Стив Бланк и Боб Дорфо предложили ввести дополнительную концепцию развития проекта Customer Development. Введение этого этапа существенно снижает риски и уменьшает затраты на развитие проекта. Поэтому проект, развиваемый с Customer Development, носит название «Экономичный стартап».

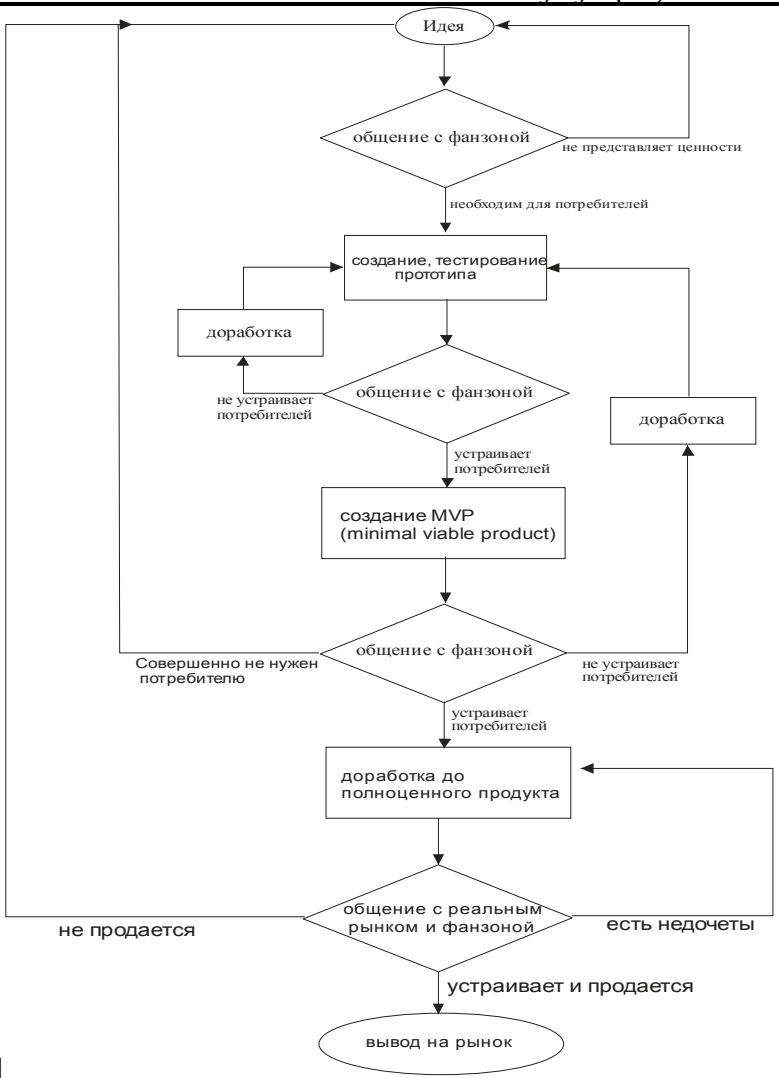
Customer Development. Когда мы хотим сделать успешный стартап, то прежде всего думаем о технической стороне продукта, но никак не о клиентах. Напрасно. Почти никто из стартаперов не привык размышлять о категориях клиентов и рынков: все нацелены на «уникальный продукт» и «новую технологию». Необходимо направлять силы на взаимодействие с пользователями. Новая концепция получила название Customer Development — условно «покупательское/потребительское развитие». На самом деле очень

немногие стартапы терпят неудачу из-за плохой технологии. Самая распространенная ошибка — это забыть про клиентов, думая исключительно о продукте. Как это ни странно, но совсем немногие компании готовы и искренне хотят узнать что-то о своих пользователях, пока не слишком поздно. Всегда стоит думать о тех, кто купит Ваш продукт и будет целевой аудиторией стартапа.

Customer Development заключается в создании фанзоны и постоянном взаимодействии с ней. Параллельно процессу разработки должна идти работа с потребителями. Другими словами, необходимо корректировать, дорабатывать первоначальную идею стартапа, соотнеся ее с ожиданиями потребителей. Чем раньше будет ясно, в чем нуждаются потребители, тем лучше пойдут дела, и риски будут минимизированы. На первых стадиях развития нужно постоянно контактировать с потребителями и дорабатывать продукт с учетом пожеланий (рис. 3).

MVP — это минимальный по функциональности продукт, позволяющий стартаперам получить осмысленную обратную связь с рынком.

- Продукт, за который платят реальные деньги,
- Продукт, который может с пользой использоваться клиентами
- Или даже вообще работающий продукт.



[1,2]

Рис. 3. Блок-схема процесса.

В результате всего вышесказанного важно отметить, что необходимо пройти через этап анализа с обратной связью (концепция

«Customer Development»), когда Вы исправляете недостатки уже существующей идеи, и пользователи готовы купить Ваш продукт.

Практическая часть. Формирование пакета документации инновационного стартапа «Cake Print».

Введение. Все, что было исследовано и проанализировано на предыдущих этапах, необходимо применить на практике. В данной части содержится описание инновационного проекта «Cake Print», финансовая модель, полевое маркетинговое исследование и презентация. Данная документация может быть наглядным подтверждением эффективности проекта для инвесторов.

Инновационный проект «Cake Print».

Описание проекта:

Комплексное решение по автоматизации на производстве для кондитерских компаний, производящих дизайнерские торты на заказ; включает в себя принтеры, печатающие шоколадом цветные 3d-фигуры, упрощённую программу 3d-моделирования, и приложения для IOS и ANDRIOD. Система позволяет получить конкурентное преимущество в качестве исполнения и в создании модели конечного продукта, а также автоматизировать производство на этапе украшения тортов, следовательно, возможность сократить штат кондитеров.

Характеристика проекта:

Сфера - автоматизация производства, кондитерское оборудование. Проекту 2 месяца. В команде 2 участника: автор, кондитер.

Используемые технологии:

Технология 3d-печати. Технология 3d-моделирования.

Ниша на рынке:

B2B рынок, кондитерские компании, производящие дизайнерские торты на заказ.

Целевая аудитория:

Кондитерские компании, занимающиеся изготовлением дизайнерских тортов на заказ, с выручкой более 7 млн. руб. в год.

Проблемы целевой аудитории, которые решает предлагаемый продукт:

- На производстве задействовано более половины кондитеров на этапе украшения тортов. Автоматизация данного процесса позволит сократить время и затраты на конечном этапе изготовления продукта.
- Снижается процент брака за счет моделирования конечного продукта и точности исполнения 3d-принтера.
- Упрощается процесс принятия заказа на дизайнерские торты.

Ценность предлагаемого продукта:

Мы предлагаем систему автоматизации, которая проста в использовании и не требует обслуживания персоналом с профессиональной подготовкой, а также позволяющая печатать цветные шоколадные объекты.

Объем рынка:

Более 300 млн. рублей за 2013 г. по Москве и Московской области.

Конкуренты:

Не имеет смысла рассматривать прямых конкурентов, так как на рынке ещё не было предложено ни одной системы с использованием в совокупности технологий 3d-печати и моделирования в кондитерской сфере**.**

Потенциальные партнеры:

Компании, занимающиеся продажей кондитерского оборудования.

Конкурентные преимущества:

– Отсутствие прямых конкурентов,

– Использование цветных шоколадных фигурок,

– Украшения изготавливаются в точном соответствии с запросом клиента.

Бизнес-модель:

Доходы планируется получать разово с продажи системы и постоянно с обслуживания ПО и поставки комплектующих для печати.

Отчет о полевом маркетинговом исследовании.

1. Цель полевого исследования - оценить объемы рынка кондитерского оборудования, проверить следующие гипотезы:

Гипотеза 1: Кондитерские компании очень много времени тратят на украшение дизайнерских тортов.

Гипотеза 2: Кондитерские компании тратят много денег на оборудование для украшения тортов.

Гипотеза 3: Кондитерские компании испытывают проблемы в обсуждении дизайна торта с конечным потребителем.

2. Выбор методики исследования.

В связи с тем, что наш проект выходит на рынок B2B, мы выбрали следующие методы исследования:

1. Наблюдение и анализ статистических данных.

2. Личное интервью.

B2B:

Можно сказать про B2B, что это сфера, в которой работают исключительно юридические лица. Покупатель в дальнейшем использует продукт для собственных нужд, производства или оказания услуг населению:

1. клиент покупает продукт в качестве сырья;
2. клиент использует продукт в качестве средства производства (станки, упаковка, инструменты, канцтовары, автомобили);
3. клиент использует ваши услуги в процессе производства собственного продукта (перевозки, консалтинг, подбор персонала, IT, маркетинг);
4. клиент является предприятием и потребляет ваш продукт для собственных нужд (строительные материалы, ГСМ, электроэнергия, мебель, печатные издания).

Если хоть один из пунктов относится к вашему бизнесу, можно утверждать, что компания трудится в сфере B2B.

3. Обоснование выборки.

В ходе исследования представители рынка были разделены на 3 сегмента:

1. Компании-гиганты (ОАО «Большевик», «У Палыча», «Добрынинский»).

2. Компании, занимающиеся исключительно тортами на заказ («Кондитерский дом А. Селезнева»).

3. Небольшие частные кондитерские («Мусье»), руководствуясь их расходами на производство, а именно:

– большие затраты на оборудование (30%) и низкие затраты на зарплаты сотрудникам (15%);

– средние затраты на оборудование (20%) и средние затраты на зарплаты сотрудникам (30%);

– низкие затраты на оборудование (10%) и большие затраты на зарплаты сотрудникам (40%).

4. Описание хода исследования.

В каждом из 3-х сегментов рынка мы выбрали несколько компаний. Из 1-го сегмента было выбрано 3 компании ОАО, взяли данные по этим компаниям из публичного аудита, проводимого этими компаниями. Из 2-го сегмента была взята 1 компания, с кондитером которой нам удалось связаться. Было проведено интервью (текст анкеты в приложении 1). Была посещена «Выставка передовых технологий 3D-печати и сканирования» (КВЦ, Сокольники), на которой удалось пообщаться с несколькими кондитерами, провести интервью и узнать их отношение к предложенной инновации (применение Customer Development) . Из 3-го сегмента было взято 3 компании и 3 частных кондитера и было проведено интервью.

5. Результаты полевого исследования.

Был составлен список компаний — потенциальных покупателей кондитерского оборудования, зарегистрированных в Москве. Исходя из полученных данных, был оценен объём рынка кондитерского оборудования на сегодняшний момент (более 317 млн. р.), была составлена динамика роста рынка ПО Москве:

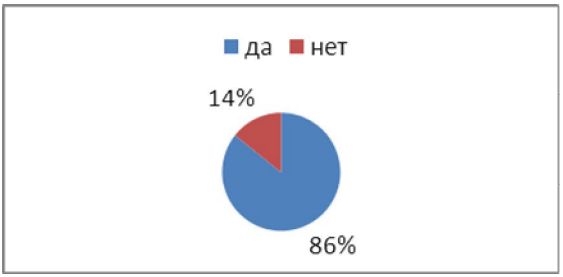
+30% в 2011г.

+50% в 2012г.

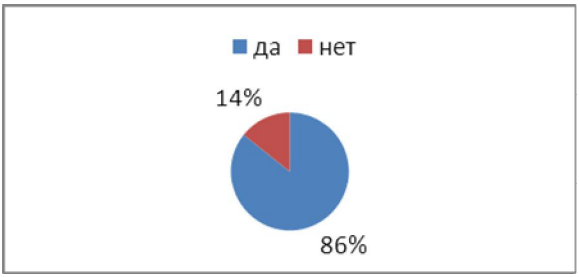
+35% в 2013г.

Результаты проведенного интервью (рис. 4):

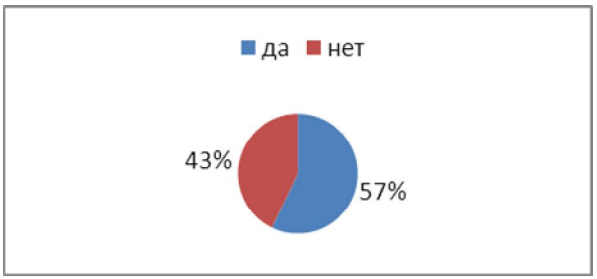
Слышали ли вы о технологии 3D печати?



Испытываете ли вы трудности при разработке дизайна тортов с непосредственным участием клиентов?



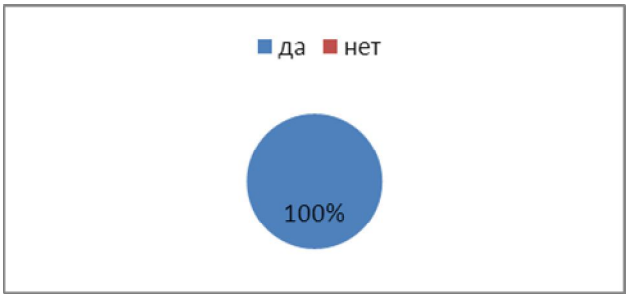
Бывают ли случаи, когда клиенты не довольны конечным дизайном?



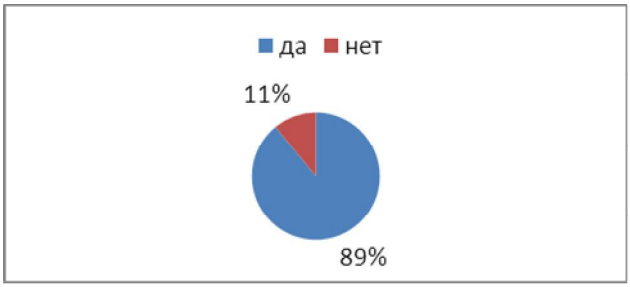
Как часто?

- редко

Согласны ли вы с утверждением, что работа кондитера — украшение торта?



Готовы ли вы упростить этап украшения тортов?



Испытываете ли вы трудности при подборе персонала?

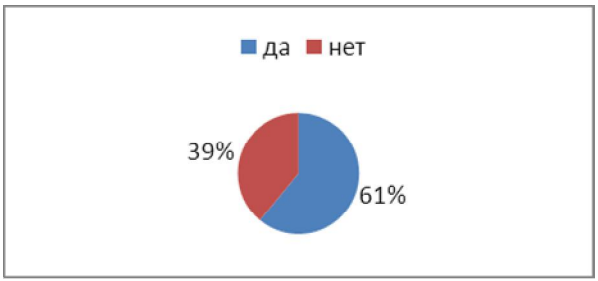


Рис. 4. Результаты интервью.

Одна компания из 2-го сегмента рынка согласилась заключить договор о намерениях после представления демо-версии нашего ПО.

6.Выводы по результатам исследования.

На основе результатов полевого исследования, были подтверждены все три гипотезы для 1-го и 2-го сегментов рынка. Мы предположили, что в середине 2016 года мы займём 8-12% рынка кондитерского оборудования в Москве (около 30 млн.руб.).

Финансовая модель.

Разработка финансовой модели проводилась с целью оценить будущее финансового состояния компании с учетом реализуемых проектов; показать, откуда будут браться и на что тратиться финансовые ресурсы компании, привлекаемое финансирование. Для начала был выбран режим **налогообложения** - упрощенная система налогообложения. Доходы (УСН:Д) (рис. 5). Вторым шагом необходимо было понять, откуда получить средства, необходимые для достижения цели (рис. 6).

Налоги	**ОСНО**	**УСН: Д**	**УСН: Д-Р**
НДС	18%		
Налог на имущество	2,2%		
Земельный налог	1,5%	1,5%	1,5%
Страховые взносы: тариф	основной	основной	основной
Налог на прибыль/Налог при УСН	20%	6%	15%

Страховые взносы	основной	льготный
ставка до лимита, %	30%	14%
ставка на сверхлимит, %	10%	0%

Рис. 5. Доходы (УСН:Д).

Финансирование

Акционерное финансирование	90%
собственные средства	120 000
инвесторы-участники	4200000
Инвестиционный кредит — банк	10%
ставка	14%
тип выплат	равномерно
срок выплат по кредиту, мес	12

Кредит под оборот	да
ставка	12%
тип выплат	равномерно
срок кредита, мес	6
Требуемая доходность	
на собственные средства	25%

Рис. 6. Финансирование.

Далее были рассчитаны необходимые **инвестиции:**

- в аренду офиса, цеха, склада;
- в ПО (программист, 3d дизайнер);
- в компьютеры (программист, 3d дизайнер);
- в научно-исследовательскую работу (принтер, оболочка);
- в разработку базы (3d-объекты);
- в заработную плату (Ген. Директор, программист, сборщик, бухгалтер, технолог).

После расчета инвестиций нужно было разобраться с расходами, которые непосредственно связаны с производством продукции.

Производственные расходы:

- на оборудование для сборки (шоколадный принтер);
-интернет;
- аренду сервера;
- сырьё (белый шоколад, молочный шоколад, темный шоколад);
-краситель;
- картриджи.

В качестве цены была взята текущая рыночная стоимость продукта.

Следующим шагом важно было определить необходимый рабочий персонал, непосредственно занятый в процессе производства (генеральный директор, главный бухгалтер, шоколадный технолог, программист, 3d дизайнер, сборщик). Также было предусмотрено расширение персонала по мере развития компании. Так, к августу 2015 года запланировано увеличить количество программистов, 3d дизайнеров, сборщиков вдвое. Была рассчитана заработная плата с ее ростом.

Доходы. В проект «Cake print» ожидается получение доходов от продажи 3d принтеров, картриджей, от ПО сайта, ПО ios и android, от обращения к базе.

В результате было выяснено, что проект окупит вложенные средства и начнет приносить прибыли к маю 2016 года.

Приложение 2

Презентация: приложение 3.

Заключение.

В данной работе был рассмотрен процесс развития инновационного стартапа, изучен вопрос вывода на рынок инновационной продукции с учетом опубликованной недавно методики «Экономичного стартапа». В результате проведенного исследования был создан пакет документации для проекта «Cake Print», который наглядно показал, что данный стартап является инновационным в кондитерской сфере.

Литература:

1. Брент Купер, Патрик Власковиц «Стартап вокруг клиента. Как построить бизнес правильно с самого начала.» — МИФ — 2011
2. Джейсон Фрайд, Дэвид Хайнемайер Хенссон. «Бизнес без предрассудков» — МИФ — 2010
3. Эрик Рис. «Бизнес с нуля: Метод Lean Startup для быстрого тестирования идей и выбора бизнес-модели» — Альпина Паблишер — 2013

Услуги в системе обязательного медицинского страхования

ДЮНДЮКОВ Максим Сергеевич
г. Новозыбков, ГБОУ «Новозыбковский профессионально-педагогический колледж», 11 класс

Научный руководитель:
Соколов Евгений Васильевич,
д.н., профессор, заведующий кафедрой «Финансы» МГТУ им. Н. Э. Баумана

Введение.

В условиях активного внедрения в здравоохранение подушевого финансирования неотложными и чрезвычайно важными задачами руководства лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ) становится более широкое использование экономических методов принятия обоснованных управленческих решений. Эти решения должны быть направлены на сокращение непроизводственных расходов, оптимизация структуры себестоимости медицинских услуг, повышение заинтересованности каждого сотрудника ЛПУ в достижении высоких результатов труда, обеспечение максимального объёма высококачественной медицинской помощи населению наиболее эффективным и экономным способом. Это обосновывает потребность медицинских организаций в разработке научно обоснованных подходов, позволяющих комплексно и с системных позиций обосновывать принимаемые решения, устанавливать оптимальные соотношения между ценами на услуги и объёмами их

оказания с учётом потребностей пациентов и инвесторов и необходимости обеспечивать окупаемость затрат и стабильность работы ЛПУ. Применение адекватных современному положению медицинских учреждений и условиям реформирования отрасли функциональных и экономико-математических моделей с использованием информационных технологий, базирующихся на методах системного подхода к проектированию, позволяет руководителям организаций здравоохранения определять наиболее оптимальные алгоритмы работы подразделений ЛПУ. А также применять на практике наиболее эффективные ценовые стратегии, позволяющие медицинским компаниям привлекать дополнительных клиентов и создавать для медицинского персонала экономические стимулы к повышению качества и производительности труда, основанные на прогрессивных методах оплаты труда.

Существенным отличием оказания платных медицинских услуг от их предоставления пациентам в системе обязательного медицинского страхования (ОМС) является то, что цены на платные услуги формируются ЛПУ на основе экономических законов спроса и предложения медицинских услуг на рынке и, как правило, покрывают суммарные издержки на их оказание. Тарифы ОМС рассчитываются в соответствии с методикой расчёта тарифов, утверждённой Министерством здравоохранения и социального развития РФ и включают в себя статьи затрат, установленные Территориальной программой ОМС [1]. Формирование тарифов на основе анализа данных прейскурантов медицинских организаций контрольной группы, определение состава и структуры тарифов, а также принятие

решений по организации и проведению работ по их расчёту, согласование уровня индексации их действующих значений осуществляется Комиссией по разработке территориальной программы ОМС. Их значения, согласованные между заинтересованными сторонами, закрепляются в Тарифном соглашении на медицинские услуги, оказываемые по Территориальной программе ОМС [2]. Установленные таким образом тарифы не всегда покрывают издержки ЛПУ на предоставление медицинской помощи населению.

Для того чтобы понять, какие медицинские услуги являются привлекательными с точки зрения их доходности, необходимо выполнить анализ безубыточности медицинских услуг. Для этого определяются точки безубыточности в стоимостном и натуральном выражениях. Точка (область) безубыточности – это объём продаж, при котором предприятие покрывает все свои издержки (постоянные и переменные), не получая прибыли [5]. По экономическому содержанию точка безубыточности – это объём производства (реализации) продукции по цене, равной полной себестоимости выпускаемой продукции.

Таким образом, анализ безубыточности медицинских услуг будем проводить:

1. ***в натуральном выражении*** – определение необходимого количества оказываемых медицинских услуг за определённый период времени (год) при фиксированном значении тарифа на услугу, при котором ЛПУ покрывает свои издержки. То есть определим точку, в которой для ЛПУ прибыль равна нулю, рентабельность продаж равна нулю;

2. ***в стоимостном выражении*** – определение тарифов на медицинские услуги при неизменном их количестве, которые позволяют покрыть издержки ЛПУ.

Затраты на медицинские услуги можно разделить на условно-переменные и условно-постоянные издержки. Зависимость условно-переменных издержек от объёма оказываемых услуг имеет вид, показанный на рис. 1. Зависимость условно-постоянных затрат на оказание медицинских услуг от их объёмов имеет вид, представленный на рис. 2.

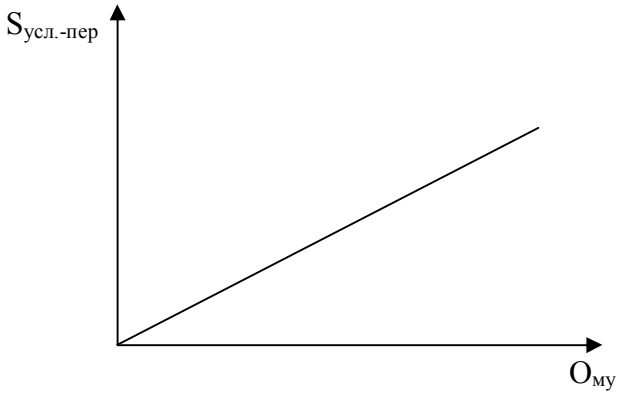


Рис. 1. Зависимость условно-переменных затрат $S_{усл.-пер}$ от объёмов оказываемых медицинских услуг $O_{му.}$

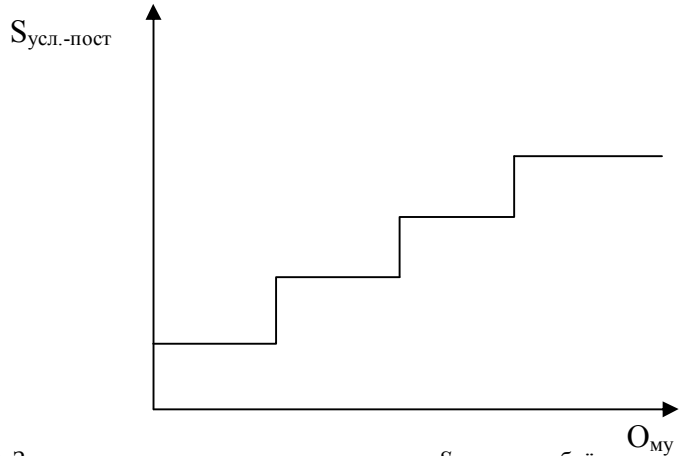


Рис. 2. Зависимость условно-постоянных затрат $S_{усл.-пост}$ от объёмов оказываемых медицинских услуг $O_{му.}$

Будем считать, что рост объёмов услуг не превышает некоторого порогового значения для отделения ЛПУ и не приводит к возникновению необходимости расширения производственных площадей и увеличения штата сотрудников. Иными словами, будем рассматривать краткосрочные периоды, не приводящие к новым скачкам постоянных издержек, для которых графическое представление имеет вид горизонтальной линии, не зависящей от объёма производства. В этом случае постоянные затраты не зависят от объёмов предоставления медицинской помощи, а на одну медицинскую услугу условно-постоянные издержки и вовсе снижаются. Если доля условно-постоянных издержек в структуре себестоимости медицинской услуги высока (а для сферы здравоохранения она, как правило, не меньше 80-90%), то эффект от

их снижения на одну услугу существенно превышает рост условно-переменных издержек, связанный с увеличением объёмов предоставления медицинской помощи. В результате этого при неизменных тарифах ОМС на медицинские услуги разность между доходом и расходом ЛПУ (прибыль) возрастает. Зависимость себестоимости одной медицинской услуги от её объёма показана на рис. 3.

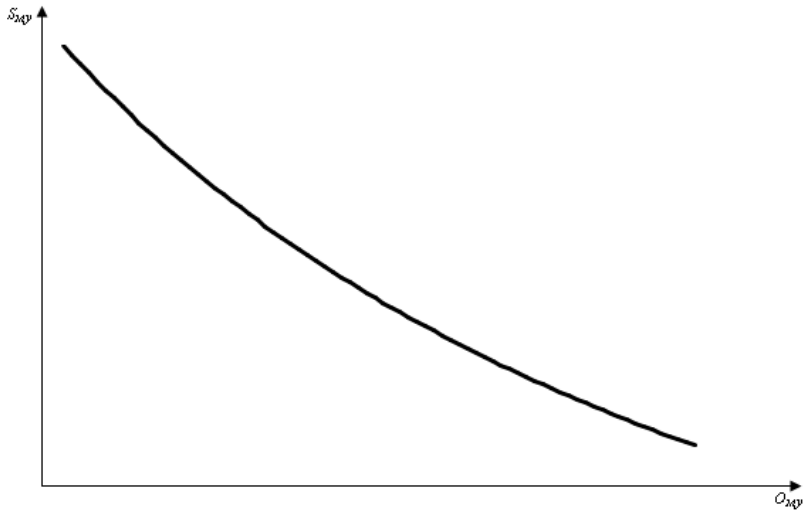


Рис. 3. Зависимость суммарных затрат, приходящихся на одну медицинскую услугу, $S_{му}$ от объёмов оказываемых медицинских услуг $O_{му}$.

В данной работе на примере отделения УЗИ одного из медицинских учреждений города Москвы показан механизм успешного внедрения экономико-математических моделей определения точки безубыточности в натуральном и стоимостном выражениях при оказании медицинских услуг в системе ОМС.

1. Построение модели определения необходимого количества оказываемых медицинских услуг за определённый период времени (год) при фиксированном значении тарифа на услугу.

Определить точку безубыточности в натуральном выражении означает найти такой годовой объём медицинских услуг, при котором прибыль отделения ЛПУ от оказания этих услуг, определяемая как разность между доходами от оказания этих медицинских услуг и расходами от их предоставления пациентам (рис. 4), равна нулю, т.е. выполняется условие:

$$П_i = Д_i - Р_i = 0, \qquad (1)$$

где $П_i$, $Д_i$ и $Р_i$ – соответственно прибыль, доход и расход i-ого отделения ЛПУ.

Рис. 4. Схема формирования прибыли ЛПУ.

Поскольку анализ безубыточности i-ого отделения ЛПУ осуществляется по всему спектру предоставляемых услуг, то прибыль

$$П_i = \sum_{j=1}^{J} П_j, \qquad (2)$$

где $П_j$ – прибыль отделения ЛПУ при реализации j-й медицинской услуги, J –общее количество предоставляемых i-м отделением медицинских услуг.

Аналогично, имеем выражения для расчёта доходов и расходов i-ого отделения ЛПУ:

$$Д_i = \sum_{j=1}^{J} Д_j, \qquad (3)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^{J} P_j, \qquad (4)$$

где $Д_j$ и P_j – соответственно доходы и расходы ЛПУ при оказании j-й медицинской услуги.

Размер дохода от оказания j-й медицинской услуги определяется как произведение объёма этой услуги на её тариф ОМС:

$$Д_j = K_j \cdot C_j, \qquad (5)$$

где K_j – объём j-й услуги, C_j – тариф ОМС на предоставление j-й медицинской услуги.

Аналогично определяется расход ЛПУ на предоставление пациентам медицинской помощи:

$$P_j = K_j \cdot S_j, \tag{6}$$

где S_j – суммарные издержки, приходящиеся на одну j-ую медицинскую услугу.

Поскольку суммарные издержки подразделяются на условно-постоянные и условно-переменные, и, как было показано выше (рис. 1 и 2), величина этих затрат на одну медицинскую услугу с ростом их объёмов изменяется по-разному, то зависимость расходов i-ого отделения ЛПУ при оказании j-й медицинской услуги от объёмов этой услуги представим в виде:

$$P_j = K_j \cdot S_{усл.-пер.i} + \frac{S_{год.усл.-пост.i}}{K_j + \sum\limits_{\substack{p=1 \\ p \neq j}}^{J} K_p}, \tag{7}$$

где $S_{усл.-пер.i}$ – годовые условно-переменные издержки i-ого отделения ЛПУ, приходящиеся на одну медицинскую услугу, $S_{год.усл.-пост.i}$ – годовые условно-постоянные издержки i-ого отделения ЛПУ, $\sum\limits_{\substack{p=1 \\ p \neq j}}^{J} K_p$ – годовой объём всех медицинских услуг отделения за исключением j-й медицинской услуги.

Вышеуказанное разделение суммарных издержек на условно-постоянные и условно-переменные, а также применение формулы (7) для анализа безубыточности работы ЛПУ имеет смысл только при

условии $S_{год.усл.-пер.i} / S_{год.усл.-пост.i} << 1$, где $S_{год.усл.-пер.i}$ – годовые условно-переменные издержки *i*-ого отделения ЛПУ. Как известно, в сфере оказания услуг условно-переменные затраты существенно меньше условно-постоянных.

При учёте влияния увеличения объёмов медицинской помощи следует проводить анализ пропускной способности отделения:

$$\sum_{j=1}^{J} K_j \le Ф_{пл.}, \qquad (8)$$

где $Ф_{пл.}$ – плановая функция врачебной должности.

$Ф_{пл.}$ рассчитывается по формуле:

$$Ф_{пл.} = \frac{Б \cdot k}{T_{ср.}}, \qquad (9)$$

где $Б$ – годовой бюджет рабочего времени должности (мин.); $T_{ср}$ – средние затраты рабочего времени на выполнение процедур в отделении ЛПУ (мин.); k – коэффициент использования рабочего времени должности на лечебно-диагностическую работу.

Учитывая всё вышеизложенное, экономико-математическая модель определения точки безубыточности в натуральном выражении при оказании медицинских услуг в системе ОМС имеет следующий вид:

$$\mathbf{K_j \rightarrow K_j^{ТБ}}, \textbf{ Целевая функция} \qquad (10)$$

$$П_i = Д_i - P_i = 0, \quad (11)$$

$$П_i = \sum_{j=1}^{J} П_j, \quad (12)$$

$$Д_i = \sum_{j=1}^{J} Д_j, \quad (13)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^{J} P_j, \quad (14)$$

$$Д_j = K_j \cdot C_j, \quad (15)$$

Ограничения

$$C_j = const, \quad (16)$$

$$P_j = K_j \cdot S_{усл.-пер.i} + \frac{S_{год.усл.-пост.i}}{K_j + \sum_{\substack{p=1 \\ p \neq j}}^{J} K_p}, \quad (17)$$

$$S_{год.усл-пері} \Big/ S_{год.усл-пості} << 1, \quad (18)$$

$$\sum_{j=1}^{J} K_j \leq Ф_{пл.}. \quad (19)$$

Здесь $K_j^{ТБ}$ – это объём медицинских услуг в точке безубыточности, при котором медицинское учреждение покрывает свои суммарные издержки, не получая прибыли.

Представленная экономико-математическая модель позволяет для любого *i*-ого отделения ЛПУ определять такие объёмы медицинских услуг, при которых отделение медицинского

учреждения покрывает за счёт дохода понесённые суммарные издержки.

3. Построение модели определения тарифа ОМС на медицинскую услугу, который позволяет покрыть издержки ЛПУ при неизменном количестве оказываемых медицинских услуг.

Определить точку безубыточности в стоимостном выражении означает найти такой тариф ОМС для каждой медицинской услуги, при котором прибыль отделения ЛПУ от оказания этих услуг, определяемая как разность между доходами от оказания этих медицинских услуг и расходами на их предоставление пациентам, равна нулю, т.е. выполняется условие (1). Так как при анализе безубыточности в стоимостном выражении не происходит изменения объёмов оказываемых услуг, т.е. $K_j=const$, то не имеет смысла разделять затраты отделения ЛПУ на условно-постоянные и условно-переменные, а также выполнять анализ пропускной способности отделения.

Таким образом, экономико-математическая модель определения точки безубыточности в стоимостном выражении при оказании медицинских услуг в системе ОМС имеет вид:

$$\mathbf{C_j \rightarrow C_j^{ТБ}}, \qquad \textbf{Целевая функция} \qquad (20)$$

$$П_i = Д_i - P_i = 0, \qquad (21)$$

$$П_i = \sum_{j=1}^{J} П_j, \qquad (22)$$

$$Д_i = \sum_{j=1}^{J} Д_j, \qquad (23)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^{J} P_j, \qquad \text{Ограничения} \qquad (24)$$

$$Д_j = K_j \cdot C_j, \qquad (25)$$

$$K_j = const, \qquad (26)$$

$$P_j = K_j \cdot S_j. \qquad (27)$$

Следует отметить, что в ограничении (27) S_j – это себестоимость *j*-й медицинской услуги, которая определяется конкретными затратами материалов, труда, квалификацией исполнителей и другими факторами, а также объёмами предоставления этой *j*-й услуги и долей данной услуги в годовом объёме предоставления всех медицинских услуг отделения ЛПУ.

В соответствии с данной моделью можно для основных медицинских процедур смоделировать величину тарифов, при которых отделение ЛПУ осуществляет свою деятельность с нулевой рентабельностью. А доходы от оказания медицинских услуг по

вычисленным в результате применения модели тарифам покрывают суммарные расходы на их предоставление пациентам. В процессе моделирования планов оказания услуг пациентам можно предусмотреть выбор шага моделирования для построения возможных планов. При пошаговой реализации экономико-математической модели выбранного сценария на компьютере будут определены новые оптимальные значения переменных и величины выбранного критерия, заполнены таблицы, содержащие результаты расчётов. Анализ полученных результатов позволит принять такие управленческие решения по выбору программы оказания услуг, которые наиболее полно будут отвечать интересам пациентов и возможностям ЛПУ.

Решение рассмотренных задач в процессе моделирования формирования плана оказания медицинских услуг может производиться с использованием стандартных пакетов прикладных программ, или процессора электронных таблиц MS Excel, либо любого другого программного средства, позволяющего находить решение задач нелинейного программирования [4].

3. Практическая реализация разработанных экономико-математических моделей.

Для анализа точки безубыточности в натуральном и стоимостном выражениях были использованы исходные данные по отделению УЗИ, предоставленные руководством одного из медицинских учреждений г. Москвы, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные показатели работы отделения УЗИ в системе ОМС за 2013г.

Наименование показателя	**Значение показателя**
Условно-постоянные издержки	20 127 920,38р.
Условно-переменные издержки (затраты на материалы)	84 647,68р.
Количество оказанных услуг	64 068
Условно-постоянные издержки на одну услугу	314,16р.
Условно-переменные издержки на одну услугу	1,32р.
Средняя себестоимость одной услуги	315,49р.
ГОДОВОЙ ДОХОД	9 608 909,36р.
ГОДОВОЙ РАСХОД	20 212 568,06р.
ПРИБЫЛЬ/УБЫТОК	**-10 603 658,70р.**

Результаты применения экономико-математической модели определения точки безубыточности в натуральном выражении при оказании медицинских услуг в системе ОМС показаны в таблице 2 (столбец 11 – необходимое количество услуг $K_j^{ТБ}$).

Здесь необходимо пояснить, что точка безубыточности в натуральном выражении – это такое количество услуг, которое позволяет отделению УЗИ выйти на безубыточность работы, т.е. при котором суммарная прибыль отделения по всей номенклатуре оказываемой медицинской помощи равна нулю (последняя строка таблицы: прибыль после роста количества услуг). При этом по каждой отдельной медицинской услуге может наблюдаться как прибыль, так и убыток для отделения УЗИ (табл. 2, столбец 18).

Таблица 2. Расчёт необходимого количества оказываемых медицинских услуг в год при фиксированном значении тарифов на услуги, обеспечивающих отделению УЗИ нулевую рентабельность.

№ п/п	Наименование услуги	Код услуги	Кол-во услуг	Себе-стоимость услуги	Тариф ОМС [3]	Доход по услуге	Расход по услуге	Прибыль	Необх. кол-во услуг	Средняя себестоимость одной услуги		Средняя себестоимость одной услуги после роста кол-ва услуг		Доход по услуге после роста кол-ва услуг	Расход по услуге после роста кол-ва услуг	Прибыль по услуге после роста кол-ва услуг
										Усл.-пост.	Усл.-пер.	Усл.-пост.	Усл.-пер.			
1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	УЗИ органов гепатобилиар.сист.	040.001	3072	315,49р.	171,51р.	526 878,72р.	969 185,28р.	-442 306,56р.	6 487	314,16р.	1,32р.	148,77р.	1,32р.	1 112 560,55р.	973 628,67р.	138 931,88р.
2	УЗИ желч. пуз.с опр. функции	040.002	2	315,49р.	342,27р.	684,54р.	630,98р.	53,56р.	4	314,16р.	1,32р.	148,77р.	1,32р.	1 505,99р.	660,41р.	845,58р.
3	УЗИ селезенки	040.003	894	315,49р.	109,02р.	97 463,88р.	282 048,06р.	-184 584,18р.	1 889	314,16р.	1,32р.	148,77р.	1,32р.	205 989,07р.	283 594,07р.	-77 605,00р.
4	УЗИ брюшн. пол.на свободную жидкость	040.004	254	315,49р.	114,21р.	29 009,34р.	80 134,46р.	-51 125,12р.	539	314,16р.	1,32р.	148,77р.	1,32р.	61 583,59р.	80 931,96р.	-19 348,36р.
5	УЗИ полых органов (желудка, кишечника)	040.005	15	315,49р.	228,01р.	3 420,15р.	4 732,35р.	-1 312,20р.	33	314,16р.	1,32р.	148,77р.	1,32р.	7 524,33р.	4 953,05р.	2 571,28р.
6	УЗИ внутр. женских половых органов	040.021	5034	315,49р.	144,40р.	726 909,60р.	1 588 176,66р.	-861 267,06р.	10 626	314,16р.	1,32р.	148,77р.	1,32р.	1 534 378,39р.	1 594 866,83р.	-60 488,44р.
7	УЗИ в первом триместре	040.022	120	315,49р.	88,57р.	10 628,40р.	37 858,80р.	-27 230,40р.	256	314,16р.	1,32р.	148,77р.	1,32р.	22 648,79р.	38 381,10р.	-15 732,32р.

	берем.															
8	УЗИ матки и плода во 2- и 3-емтрим. берем.	040.023	1017	315,49р.	115,13р.	117 087,21р.	320 853,33р.	-203 766,12р.	2 149	314,16р.	1,32р.	148,77р.	1,32р.	247 433,98р.	322 574,46р.	-75 140,48р.
9	УЗИ почек, надпоч. и забрюш.простр.	040.032	2856	315,49р.	168,53р.	481 321,68р.	901 039,44р.	-419 717,76р.	6 031	314,16р.	1,32р.	148,77р.	1,32р.	1 016 405,93р.	905 209,52р.	111 196,41р.
10	УЗИ мочевого пузыря	040.033	789	315,49р.	84,27р.	66 489,03р.	248 921,61р.	-182 432,58р.	1 667	314,16р.	1,32р.	148,77р.	1,32р.	140 493,18р.	250 231,16р.	-109 737,98р.
.....																
26	УЗИ одноименных суставов	040.101	330	315,49р.	116,62р.	38 484,60р.	104 111,70р.	-65 627,10р.	700	314,16р.	1,32р.	148,77р.	1,32р.	81 592,43р.	105 011,29р.	-23 418,86р.
27	Эхоэнцефалография в М-режиме	040.121	1	315,49р.	117,11р.	117,11р.	315,49р.	-198,38р.	2	314,16р.	1,32р.	148,77р.	1,32р.	257,64р.	330,20р.	-72,56р.
Кол-во услуг			6406 8													
Суммарный доход по услугам						9 608 909,36р.										
Суммарный расход по услугам							20 212 813,32р.									
Прибыль								-10 603 903,96р.								
Кол-во услуг после моделирования									135 294							
Годовой расход (годовые условно-постоянные издержки)							20 127 920,38р.									
Доход по услугам после моделирования														20 306 673,45р.		
Расход по услугам после применения модели															20 306 673,45р.	
Прибыль после роста кол-ва услуг																**0,00р.**

Определение тарифов ОМС на медицинские услуги, которые позволяют покрыть издержки отделения УЗИ при неизменном количестве оказываемых медицинских услуг, осуществлено в табл.

3 (столбец 5 – себестоимость услуги. Такой тариф на услугу $C_j^{ТБ}$, который позволяет отделению УЗИ выйти на безубыточное оказание услуг).

Таблица 3. Результаты применения экономико-математической модели определения точки безубыточности в стоимостном выражении при оказании медицинских услуг в системе ОМС.

№ п/п	Наименование услуги	Код услуги	Кол-во услуг	Себестоимость услуги	Тариф ОМС [3]	Доход после моделирования
1	2	3	4	5	6	7
1	УЗИ органов гепатобилиарной системы	040.001	3 072	349,34р.	171,51р.	1 073 172,48р.
2	УЗИ желчного пузыря с определением функции	040.002	2	684,56р.	342,27р.	1 369,12р.
3	УЗИ селезенки	040.003	894	218,78р.	109,02р.	195 589,32р.
4	УЗИ брюшной полости на свободную жидкость	040.004	254	228,65р.	114,21р.	58 077,10р.
5	УЗИ полых органов (желудка, кишечника)	040.005	15	456,07р.	228,01р.	6 841,05р.
6	УЗИ внутренних женских половых органов	040.021	5 034	296,14р.	144,40р.	1 490 768,76р.
7	УЗИ в первом триместре беременности	040.022	120	177,21р.	88,57р.	21 265,20р.
8	УЗИ матки и плода во 2- и 3-ем триместре берем.	040.023	1 017	231,20р.	115,13р.	235 130,40р.
9	УЗИ почек, надпочечников и забрюшинного простр.	040.032	2 856	342,73р.	168,53р.	978 836,88р.
10	УЗИ мочевого пузыря	040.033	789	168,93р.	84,27р.	133 285,77р.
…….						
26	УЗИ одноименных суставов	040.101	330	233,55р.	116,62р.	77 071,50р.
27	Эхоэнцефалография в М-режиме	040.121	1	234,22р.	117,11р.	234,22р.
Суммарный доход по услугам после моделирования						20 212 568,06р.
Суммарный расход по услугам						20 212 568,06р.
Прибыль						**0,00р.**

Заключение. Анализ полученных результатов.

1. Анализ результатов определения точки безубыточности в стоимостном выражении показал, что тарифы ОМС ниже расходов отделения на одну услугу для всех медицинских услуг отделения УЗИ, оказываемых в системе ОМС. Это означает, что абсолютно все услуги в системе ОМС отделением УЗИ оказываются себе в убыток. Чтобы выйти на безубыточность работы отделения, необходимо увеличить тарифы ОМС на УЗИ в среднем в 2 раза.

2. Анализ результатов определения точки безубыточности в натуральном выражении показал, что для компенсации расходов отделения УЗИ необходимо увеличить годовой объём оказываемых услуг на 210%, или в 2,1 раза.

3. Как показал анализ табл. 2 и 3, для руководства организацией экономически выгоднее стремиться к достижению параметров безубыточности в стоимостном выражении, нежели в натуральном, т.е. изменение стоимости медицинских услуг быстрее приводит к компенсации годовых расходов отделения, чем изменение объёмов. К тому же при изменении объёмов услуг необходимо проверять пропускную способность отделения. В нашем примере практического внедрения разработанных экономико-математических моделей мы получили, что рост цены медицинской услуги быстрее приведёт отделение УЗИ к безубыточному оказанию услуг, чем рост их годовых объёмов, и эта разница составляет 10%. Неравномерность в достижении безубыточности работы отделения объясняется тем, что при росте объёмов услуг условно-переменные издержки также растут. В этом случае

получается, что расходы отделения не остаются постоянными и растут вместе с доходами от возрастающего количества услуг. Естественно, рост расходов тем выше, чем больше доля условно-переменных издержек в общей структуре себестоимости медицинских услуг. В нашем случае отношение условно-переменных затрат к условно-постоянным составляет всего 0,5%. В случае с ростом тарифов на медицинские услуги годовые расходы отделения УЗИ, напротив, остаются неизменными.

4. Московскому городскому фонду обязательного медицинского страхования рекомендовано пересмотреть тарифы ОМС на услуги УЗИ, потому что имеющиеся тарифы не покрывают затраты на их предоставление пациентам.

5. Предложенные в данной работе экономико-математические модели могут быть использованы ЛПУ для обоснования своей позиции о необходимости повышения тарифов ОМС на свои услуги, а также для обоснованного и аргументированного изменения номенклатуры предоставляемых услуг.

Литература:

1. Постановление Правительства Москвы от 24.12.2013 г. № 892-ПП «О Территориальной программе государственных гарантий бесплатного оказания гражданам медицинской помощи в

городе Москве на 2014 год и на плановый период 2015 и 2016 годов».

2. Тарифное соглашение на оплату медицинской помощи, оказываемой по территориальной программе обязательного медицинского страхования города Москвы на 2014 год и на плановый период 2015 и 2016 годов от 25.12.2013 г. // Официальный интернет-сайт Московского городского фонда обязательного медицинского страхования: www.mgfoms.ru.

3. Тарифы на медицинские услуги, введённые в действие с 01.07.2014 г. // Официальный интернет-сайт Московского городского фонда обязательного медицинского страхования: www.mgfoms.ru.

4. Костырин Е.В. Моделирование оптимизации тарифов на медицинские диагностические услуги // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2009. – Том 127. – С. 107-117.

5. Управление финансами наукоёмких предприятий / под ред. Е.В. Соколова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 523 с.

Внедрение автономного теплоснабжения в гражданском строительстве РФ

АБРАМОВА Екатерина Алексеевна
г. Москва, ГБОУ СОШ №417, 11 класс

Научный руководитель:
Иванов Павел Дмитриевич,
ассистент кафедры
«Предпринимательство и
внешнеэкономическая деятельность»
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Введение. К началу 50-х годов прошлого века в Советском Союзе была создана система теплоснабжения, характеризующаяся высокой степенью централизации. Для своего времени это была достаточно передовая система. В настоящее время многие страны Европы, такие, как Дания, также идут по пути централизации выработки тепловой энергии. Этот путь, с учётом современных достижений в применяемых материалах, технологиях и средствах автоматизации, имеет свои преимущества. Около 80% тепловой энергии в России сегодня производится за счет централизованных источников. И с этим нельзя не считаться. Развитая сеть централизованного теплоснабжения, а также теплопроводов предъявляют определённые требования к выбору источника тепла. Преимуществами централизованных источников называют: меньшие затраты на выработку единицы энергии при её массовом

производстве; более высокие экологические параметры при её выработке, хотя, при нынешней ситуации в состоянии централизованной системы теплоснабжения в России в отличие от стран Западной Европы, эти положения являются весьма спорными.

Централизованная система, при всех её преимуществах и недостатках, требует значительных затрат на эксплуатационные расходы и модернизацию, связанную с уменьшением теплопотерь. Кроме того, централизованная система требует значительных затрат на регулирование теплоснабжения для конечных потребителей. Именно системы централизованного теплоснабжения, ориентированные на ресурсо- и энергосбережение, оснащённые высокой степенью автоматизации и регулирования на всех ступенях, вплоть до поквартирного, применяются сегодня в ряде стран Западной и Центральной Европы.

В том виде, в котором централизованная система создавалась в нашей стране, она была изначально нерегулируемой по температурным параметрам для конечного потребителя. Эта тенденция имеет место и сегодня. Следует учитывать, что за последние десятилетия, в эксплуатацию централизованных сетей, а также в их модернизацию, не вкладывалось, да и не вкладывается сейчас достаточных средств. Следствием этого является на сегодняшний день почти 80% износ сетей, нарушение их теплоизоляции, другие негативные факторы, и, как результат, весьма значительные потери производимого тепла (до 30-50% - в зависимости от региона). Так, в соответствии с данными по

Саратовской области, наиболее характерными потерями в тепловых сетях являются:

1. потери через некачественную изоляцию теплопроводов, из-за чего у конечных потребителей от ТЭЦ-2 и ТЭЦ-5 температура теплоносителя на 8-10°С ниже прямой сетевой воды с ТЭЦ;
2. утечки через дренажи в системах потребителей и несанкционированный открытый водоразбор. Так, только по г. Саратову безвозвратно теряется по этим причинам около 1500 т/ч воды (Тср=45°С) или примерно 70 Гкал/ч;
3. утечки из-за неплотности арматуры и теплопроводов;
4. затопление теплопроводов в каналах водопроводными и грунтовыми водами.

Эти данные взяты из Областной программы по энергосбережению Саратовской области. В программе намечены меры по исправлению ситуации: перекладка физически изношенных участков теплосети; восстановление теплоизоляции теплопроводов; ремонт и замена дефектной арматуры и компенсаторов тепловых сетей; осушка камер и каналов теплосети; внедрение группового регулирования отпуска тепла; диагностика состояния металла и тепловой изоляции теплопроводов – т.е. это те самые режимные мероприятия, применяемые при нормальной эксплуатации сетей, на которые из года в год в стране не хватает средств.

Дефицит централизованных средств на содержание тепловых сетей, как правило, перекладывается на плечи конечного

потребителя, что, в свою очередь, приводит к росту тарифов, а конечный потребитель тепловой энергии, исходя из реальных общих доходов населения России, в состоянии оплачивать сегодня не более 50% существующих тарифов на коммунальные услуги.

Наряду с групповым регулированием отпуска тепла (отражённым выше, в мероприятиях по Саратовской области), необходимо также предусматривать регулирование тепловых параметров по каждому потребителю в отдельности – т.е. контроль теплового режима конкретного здания, а также поквартирное регулирование теплопотребления.

1. Классификация децентрализованной системы отопления (ДСО)

В децентрализованных системах отопления источник теплоты и теплоприемники потребителей либо совмещены в одном агрегате, либо размещены столь близко, что передача теплоты от источника до теплоприемников может осуществляться практически без промежуточного звена — тепловой сети.

Системы децентрализованного теплоснабжения разделяются на **индивидуальные** и **местные**.

Индивидуальные системы.

В индивидуальных системах теплоснабжение каждого помещения (участка, цеха, комнаты, квартиры) обеспечивается от отдельного источника. К таким системам, в частности, относятся печное и поквартирное отопление (рис. 1, 2).

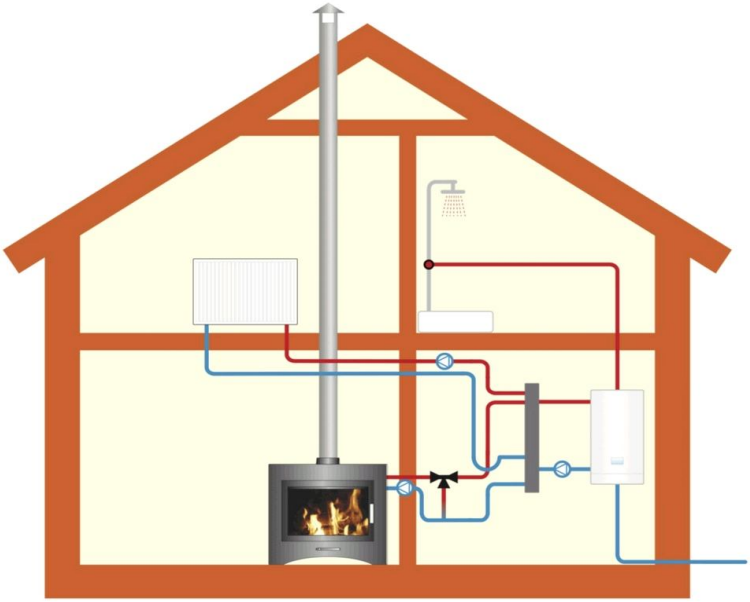


Рис. 1. Схема печного отопления.

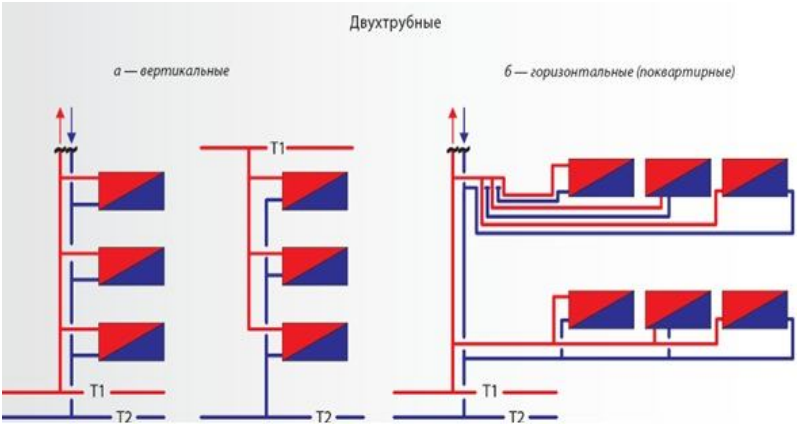


Рис. 2. Схема поквартирного отопления.

Местные системы.

В местных системах теплоснабжение каждого здания обеспечивается от отдельного источника теплоты, обычно от местной или индивидуальной котельной. К этой системе, в частности, относится так называемое центральное отопление зданий (рис. 3).

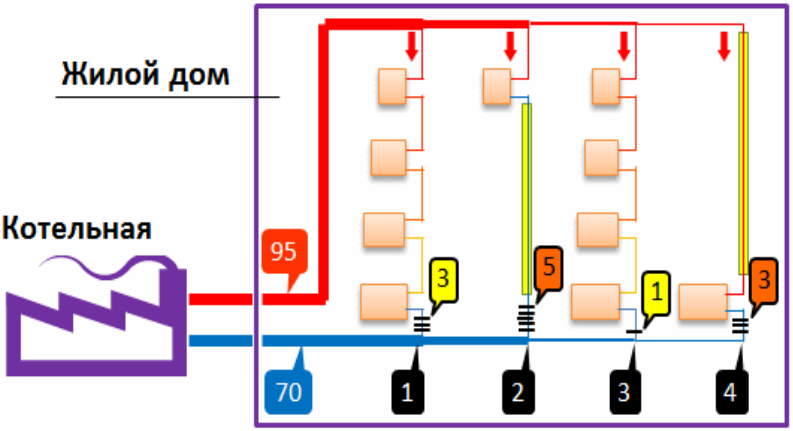


Рис. 3. Местная автономная система отопления.

1.1. Местная (центральная) автономная система отопления.

При проектировании энергоэффективных систем отопления, согласно требованиям общероссийских и региональных норм, следует предусматривать комплексное автоматическое регулирование параметров и адекватную этим задачам конструкцию систем отопления. Комплексное автоматическое регулирование включает в себя несколько базовых принципов. Один из них – индивидуальное автоматическое регулирование на

каждом отопительном приборе термостатом, обеспечивающим поддержание заданной жильцом температуры помещения. Другой важный принцип энергосбережения – применение устройств автоматического регулирования параметров теплоносителя в зависимости от температуры наружного воздуха, параметров теплоносителя в тепловой сети и изменяющихся в процессе работы теплогидравлических характеристик системы отопления. Такими устройствами являются **индивидуальные тепловые пункты (ИТП)**, используемые при непосредственном подключении здания к тепловой сети, или их разновидность – **автоматизированные узлы управления (АУУ)**, применяемые при подключении здания к **ЦТП**.

ИТП – часть тепловых сетей, входящая в зону ответственности теплоснабжающих организаций, и принимаемая ими на баланс. ИТП освоены производством, в т.ч. компанией **Функе-ТКМ,** и применяются при проектировании и строительстве. **АУУ** – составная часть системы отопления, входящая в зону ответственности владельца здания и не подлежащая приёму на баланс теплоснабжающей организацией (рис. 4). Схема централизованного теплоснабжения здания через индивидуальный тепловой пункт (ИТП) приведена на рис. 5.

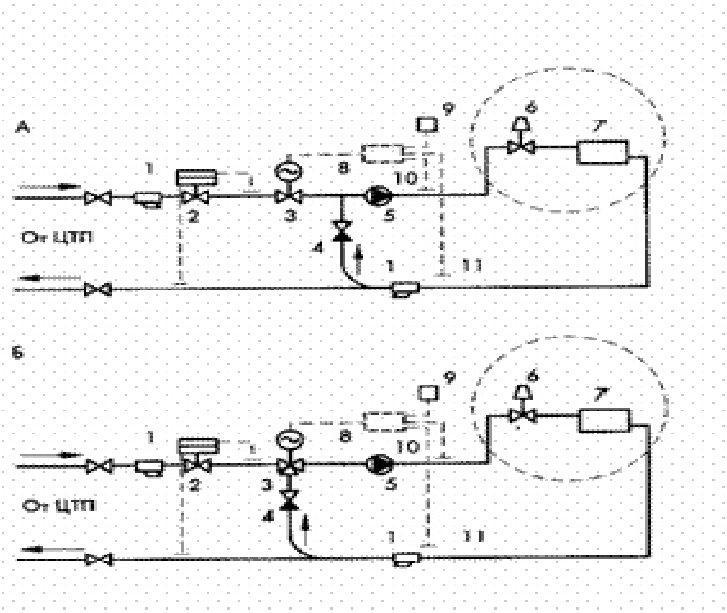


Рис. 4. Схема централизованного теплоснабжения здания с автоматизированным узлом управления:

А - при присоединении систем отопления к сетям с перегретой водой 120-70°С или 150-70°С;

Б - то же, к сетям с расчётной температурой теплоносителя, равной температуре воды в системе отопления;

1 - фильтры;

2 - регулятор перепада давления;

3 - регулятор расхода;

4 - обратный клапан;

5 - насос;

6 - термостат;

7 - отопительный прибор;

8 - электронный погодный регулятор (контроллер);

9-11 - датчики температуры наружного воздуха, подающей воды и обратной воды соответственно.

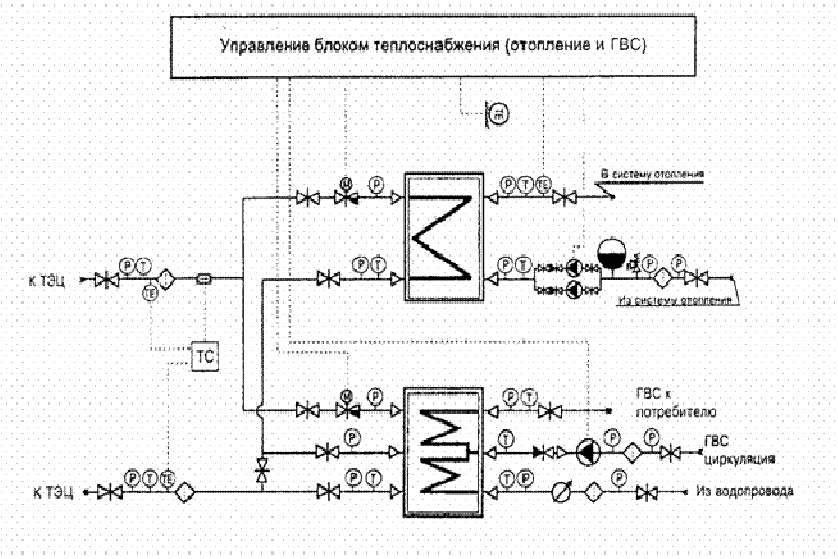


Рис. 5. Схема централизованного теплоснабжения здания через индивидуальный тепловой пункт (ИТП).

Сравнение ИТП и АУУ систем центрального отопления.

Система с ИТП (рис. 5) определяется следующими качествами:

- не требуется устройство ЦТП;
- легче осуществлять ремонт трасс, котлов и других компонентов системы;
- отопительная система здания замкнутая, вода тепловой сети не циркулирует по её трубопроводам. В отопительной системе здания находится предварительно обработанная вода, что исключает коррозию и уменьшение сечений труб системы вследствие

образования накипи. В случае аварии в теплосети, отсутствуют проблемы удаления воздуха;

- в отопительной системе здания вода циркулирует с помощью насоса отопительной системы, который обеспечивает необходимое давление и поток, а в случае аварии исключает замораживание системы;
- габариты теплоузла значительно меньше, чем в системе с открытым присоединением;
- уменьшаются потери тепла в обратных трубопроводах вследствие снижения температуры обратной воды;
- постоянная циркуляция воды обеспечивает возможность быстрого потребления горячей воды;
- исключается насыщение теплоносителя кислородом в закрытой системе дома, тем самым уменьшается коррозия труб;
- приборы автоматики работают эффективнее, что связано с большей чувствительностью теплообменников;
- ввиду того, что вода не циркулирует в трубопроводе здания, котельные реагируют гораздо быстрее на внешнюю температуру, разница давлений в теплосетях увеличивается – это возможность более широкого потребления тепла;
- давление в отопительной системе здания не более 6бар, что позволяет использовать более дешёвые и малого диаметра трубы, фитинги, радиаторы и т.п.

Система открытого подсоединения (рис. 4) характеризуется следующими качествами:

- стоимость тепловых узлов меньше, но требуется ЦТП на группу зданий;
- вода из тепловой сети непосредственно поступает в систему отопления здания;
- давление в сети влияет на давление в системе, что требует выбора неэффективных нагревательных приборов;
- процесс температурного регулирования имеет значительную инерцию.

Блочный индивидуальный тепловой пункт (ИТП) для обеспечения отопления и ГВС, выпускаемый ООО «ТеплоКомплектМонтаж», г.Вологда, рассчитанный на тепловые нагрузки от 50кВт до 4МВт, максимальную температуру воды первичного контура 150°С и рабочее давление до 1,6Мпа, состоит из двух модулей – отопления и горячего водоснабжения (рис. 5). Модуль горячего водоснабжения может быть одноступенчатым или двухступенчатым, в зависимости от подключения к тепловым сетям. Теплоноситель через фильтр и счётчик подаётся к пластинчатому теплообменнику отопления и ГВС. Теплоноситель после теплообменника отопления направляется в первую ступень теплообменника ГВС, откуда, вместе с теплоносителем из второй ступени, возвращается в тепловую сеть. Регулирующий клапан отопления поддерживает заданную температуру в системе отопления в зависимости от температуры наружного воздуха. Регулирующий клапан поддерживает заданную температуру горячей воды на постоянном уровне.

Блочные ИТП позволяют экономить тепловую энергию, осуществлять её учёт при необходимости, значительно снижают площади для монтажа и сроки монтажных работ.

Функциональная схема ИТП (рис. 6).

Теплоноситель, поступающий в тепловой пункт (ТП) по подающему трубопроводу теплового ввода, отдает свое тепло в подогревателях систем горячего водоснабжения (ГВС) и отопления, после чего возвращается в обратный трубопровод теплового ввода и по магистральным сетям возвращается в теплоисточник. Температура воды теплоносителя, поступающего в тепловой пункт от теплоисточника, согласно температурного графика (115/70) корректируется в ТП автоматически в зависимости от температуры наружного воздуха. Количество тепловой энергии, потребляемое зданием, измеряется теплосчетчиком (на схеме вычислитель тепловой энергии), установленным на вводе теплоносителя в тепловой пункт (ТП). Холодная вода, поступающая через водопроводный ввод в ТП, нагревается в подогревателе ГВС и поступает в циркуляционный контур системы ГВС. В циркуляционном контуре вода при помощи циркуляционных насосов горячего водоснабжения движется по контуру от ТП к потребителям и обратно, а потребители отбирают часть горячей воды из контура по мере необходимости. При циркуляции по контуру, вода постепенно отдает своё тепло в трубопроводах ГВС и полотенцесушителях, и для того, чтобы поддерживать температуру

воды на заданном уровне, её постоянно подогревают в подогревателе ГВС.

Система отопления также представляет замкнутый контур, по которому теплоноситель движется при помощи циркуляционных насосов отопления от теплового пункта (ТП) к системе отопления здания и обратно. По мере эксплуатации системы отопления здания возникает необходимость опорожнения стояков или всей системы и заполнения ее теплоносителем. Кроме того, возможно возникновение утечек теплоносителя из контура системы отопления. Для заполнения системы отопления и восполнения потерь служит система подпитки теплового пункта. Из обратного трубопровода тепловой сети теплоноситель по подпиточному трубопроводу подается в систему отопления здания. Его количество измеряется прибором учета (на схеме расходомер подпитки).

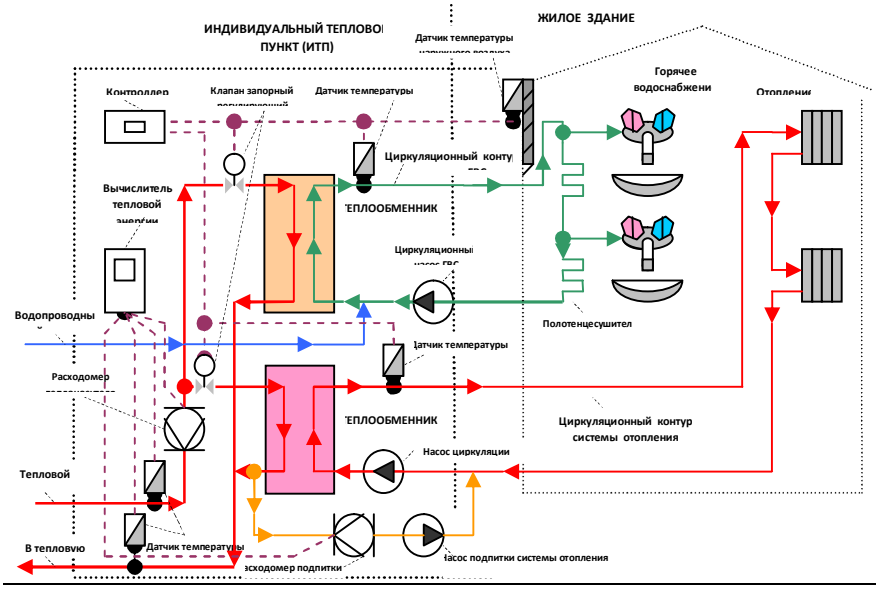


Рис. 6. Функциональная схема ИТП.

1.1.1. Технико-экономическое обоснование применения крышной газовой котельной на базе котлов "TEDYNE LAARS"

Объект: 17-ти этажное 3-х секционное жилое здание в г. Москве (374 квартиры общей площадью 27896 кв.м., общий строительный объём здания 126647 куб.м).

Капитальные вложения.

А. Первоначальным проектом предусматривалось применение централизованного теплоснабжения от близлежащей теплоцентрали. При этом на обеспечение теплоснабжения здания в ТЗ, составленном НПО "ТЕМА", г. Москва, была заложена сумма в 7.800.000.000 рублей, предназначавшаяся для:

а) прокладки двух километров теплотрассы от ближайшей теплоцентрали к зданию;

б) осуществления ремонта теплогенератора снабжающей ТЭЦ.

Б. Капитальные затраты на строительство крышной котельной "под ключ", включая также стоимость прокладки газопровода к котельной и устройства ГРУ, составили 2.500.000.000 рублей согласно смете на строительство, составленной ЗАО "ТГВ-Комплекс", Москва.

При сравнении двух вариантов капитальные затраты на теплоснабжение здания от крышной котельной оказались на 68% ниже, чем от централизованного источника.

Эксплуатационные расходы.

А. Стоимость одной гигакалории тепловой энергии от централизованного источника (тариф по г. Москве) для указанного здания составляет 140.000 рублей.

Б. Согласно расчету, произведенному институтом МосгазНИИпроект, стоимость одной гигакалории тепловой энергии локальной (крышной газовой) котельной составляет 65.000 рублей. Сравнение показывает:

- Экономия топлива осуществляется за счет регулирования автоматикой котельной подачи тепловой энергии в здание, соответствующей теплопотерям здания в каждый отдельный период времени (т.е. регулированием температуры теплоносителя по заданному графику в зависимости от температуры наружного воздуха).

- При сравнении двух вариантов — стоимость эксплуатационных расходов на теплоснабжение здания от крышной котельной на 54% ниже, чем от централизованного источника.

Другой пример: на Кутузовском проспекте в Москве возведено 33-этажное офисное здание «Башня-2000» – первое здание, входящее в комплекс «Москва-СИТИ». Для централизованного теплоснабжения этого здания пришлось бы реконструировать несколько километров теплосетей от ТЭЦ-12, расположенной на Бережковской набережной, с пересечением путей Киевской железной дороги, Киевского вокзала и Кутузовского проспекта. Был и второй вариант: осуществить переход дюкером под Москвой-рекой от ТЭЦ-2, расположенной рядом с Домом Правительства РФ, одновременно реконструируя станцию. Оба варианта, учитывая колоссальные затраты, требующиеся на их реализацию, ставили под вопрос саму возможность строительства комплекса «Москва-СИТИ». Поэтому было принято решение о возведении на крыше здания (на отметке 100м) автономной газовой котельной мощностью 9,6МВт. В качестве основного оборудования были выбраны гидронные котлы Mighty Therm HH5000 производства корпорации LAARS Heating Systems (США). Применено 8 котлов единичной мощностью 1,2МВт.

1.2. Поквартирная система теплоснабжения.

Поквартирное теплоснабжение – децентрализованное (автономное) индивидуальное обеспечение отдельной квартиры в многоквартирном доме теплом и горячей водой. Основными элементами поквартирного отопления являются: отопительный котел, газоснабжение, отопительные приборы, системы подачи воздуха и дымоудаления. Наиболее дешевый вариант поквартирного отопления – теплоснабжение с использованием в качестве источника энергии природного газа. Поквартирное теплоснабжение обладает рядом несомненных преимуществ перед традиционными способами теплоснабжения, так как имеет высокую энергетическую эффективность и, как следствие, экономию газа и значительные сокращения вредных выбросов в атмосферу, высокую регулируемость и автоматизацию в соответствии с требованиями потребителя, низкие капитальные затраты и отнесение их на счет владельцев квартир.

При квартирном теплоснабжении технические службы поддерживают работу 100-200 однотипных сравнительно простых агрегатов. В каждой квартире устанавливается настенный газовый двухконтурный котел, обеспечивающий и отопление, и горячее водоснабжение. Как правило, для этой цели подходят котлы мощностью 15 - 24кВт. с герметичной топкой, где подвод воздуха для горения и отвод продуктов сгорания осуществляется газоплотными воздуховодами, сообщающимися с атмосферой и не связанными с воздушным пространством квартиры. Мощность котла выбирают по нагрузке горячего водоснабжения, так как для

компенсации теплопотерь, как правило, достаточно 8 – 10кВт даже для самых больших квартир.

Поквартирное отопление широко развито в Европе. В России в дома с подобной системой теплоснабжения построены в Смоленске, Курске, Серпухове, Самаре и других городах. В Курской области были разработаны территориальные строительные нормы с учетом имеющегося опыта проектирования, строительства и эксплуатации поквартирных систем теплоснабжения от газовых теплогенераторов в многоквартирных жилых зданиях. В соответствии с этими нормами для поквартирных систем теплоснабжения предусматривают использование полностью автоматизированных теплогенераторов с закрытой камерой сгорания, отводом продуктов сгорания в атмосферу, имеющих сертификат соответствия Госстандарта России и разрешение Госгортехнадзора России на их применение на территории России. Возможна установка как настенных, так и напольных теплогенераторов.

В зданиях высотой два и более этажей для подачи теплоносителя в квартиры следует проектировать двухтрубные системы с нижней или верхней разводкой магистральных трубопроводов, магистральными вертикальными стояками, обслуживающими часть здания или одну секцию. Подающий и обратный магистральные вертикальные стояки для каждой части здания секции прокладываются в специальных шахтах общих коридоров, лестничных холлов.

В шахтах на каждом этаже следует предусматривать встроенные монтажные шкафы, в которых должны размещаться распределительные поэтажные коллекторы с отводящими трубопроводами для каждой квартиры, запорная арматура, фильтры, балансировочные клапаны, счетчики учета тепла.

Системы поквартирного отопления (ПО) могут выполняться по следующим схемам:

- двухтрубные горизонтальные (тупиковые или попутные) с параллельным подсоединением отопительных приборов (рис. 7). Трубы прокладываются у наружных стен, в конструкции пола или в специальных плинтусах-коробах;
- двухтрубные лучевые с индивидуальным подсоединением трубопроводами (петлями) каждого отопительного прибора к распределительному коллектору квартиры (рис. 8). Допускается подсоединение «на сцепке» двух отопительных приборов в пределах одного помещения. Трубопроводы прокладываются в форме петель в конструкции пола или вдоль стен под плинтусами. Система удобна для монтажа, т. к. используются трубопроводы одного диаметра, отсутствуют соединения труб в полу;
- однотрубные горизонтальные с замыкающими участками и последовательным подсоединением отопительных приборов (рис. 9).

Значительно сокращается расход труб, но поверхность нагрева отопительных приборов увеличивается приблизительно на 20% и более. Схема рекомендуется к применению при более

высоких параметрах теплоносителя и меньшем перепаде температур (например, 90–70°С). За счет увеличения количества затекающей в прибор воды уменьшается поверхность нагрева прибора. Расчетная температура воды, выходящей из последнего прибора, не должна быть ниже 40°С.

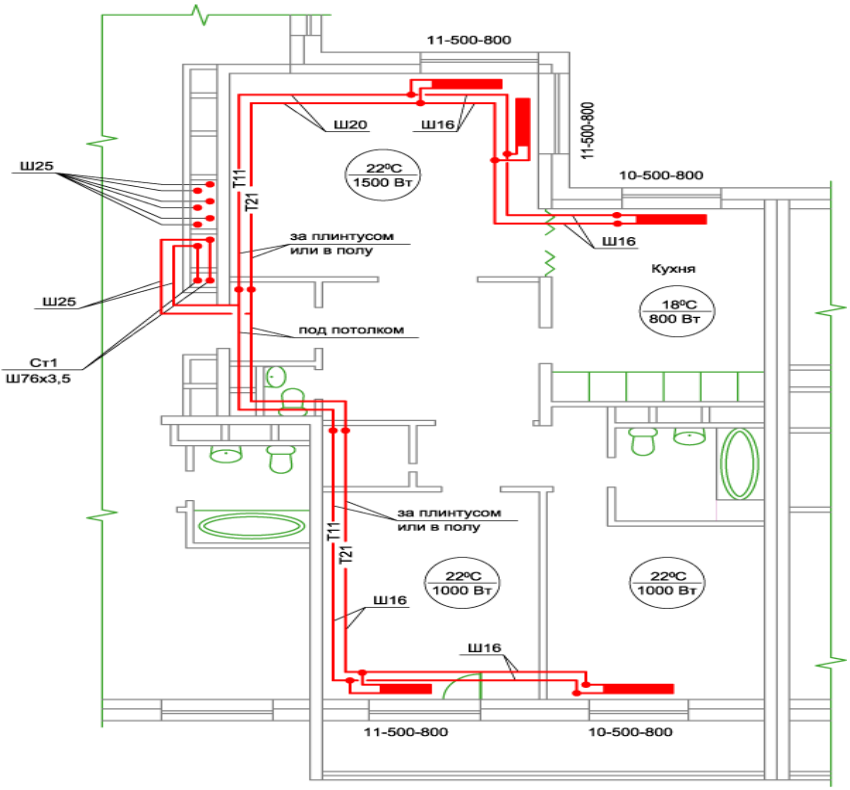


Рис. 7. Схема двухтрубного горизонтального (тупикового или попутного) ПО с параллельным подсоединением отопительных приборов.

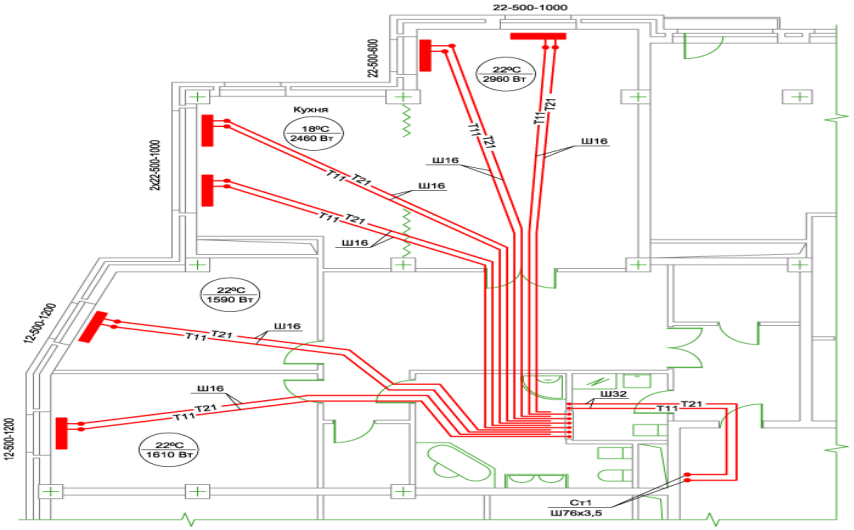


Рис. 8. Схема двухтрубного лучевого ПО с индивидуальным подсоединением трубопроводами (петлями) каждого отопительного прибора к распределительному коллектору квартиры.

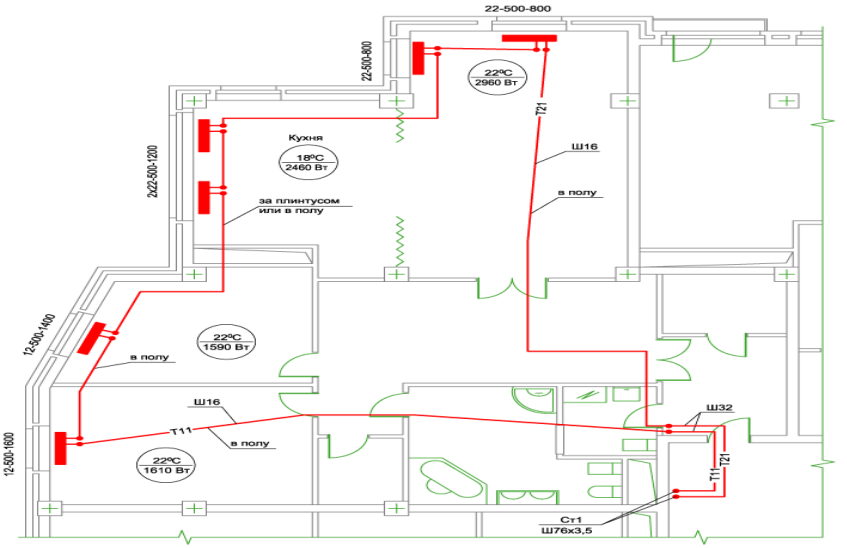


Рис. 9. Схема однотрубного горизонтального ПО с замыкающими участками и последовательным подсоединением отопительных приборов.

2. Выбор теплогенератора.

Современные котлы должны удовлетворять, прежде всего, следующим требованиям:

- высокий К.П.Д. (у газовых и жидко-топливных - до 90-92%,-у электрических - до 95-98%, у твердотопливных - не менее 80%);
- надежность в работе (у газовых и жидкотопливных это связано, прежде всего, с качеством горелочных устройств, у электрических - с надежностью нагревательных элементов; номинальный срок службы должен составлять не менее 20 лет);
- высокий уровень системы автоматизации работы отопительного комплекса. В частности, современные системы автоматического регулирования работы отопительных котлов позволяют не только исключить необходимость их постоянного обслуживания, но и осуществлять регулирование по долговременным программам в зависимости от погодных условий и требований потребителя, в сочетании с регулированием систем горячего водоснабжения и т. п.;
- экономичность и экологичность;
- необходимая мощность и располагаемый объем помещения;
- возможности отведения дымовых газов;
- функциональные возможности;
- объем инвестиций, эксплуатационные расходы и рентабельность;
- материал котла сталь или чугун.

Все котлы делятся на одноконтурные (например, АОГВ ИШМА производства ОАО «Боринское», котлы «Хопер» ОАО «Борисоглебского механического завода» (рис. 10), КОВ-СГ, КОВ-

Г «Эконом», «Комфорт» Жуковского машиностроительного завода и др.) и двухконтурные (АКГВ «Эконом», «Универсал», «Комфорт» Жуковского машиностроительного завода и др. отечественных производителей, а также широкий модельный ряд котлов от зарубежных производителей). Одноконтурные котлы рассчитаны только на отопление дома (приготовление горячей воды происходит с помощью отдельного бойлера или газо- и водонагревательной колонки), двухконтурные котлы предназначены как для отопления, так и для приготовления горячей воды. Котлы различных конструкций могут работать на каком-то одном виде топлива, а могут быть комбинированными, использующими их различные сочетания. В настоящее время практически все отечественные и большинство зарубежных фирм выпускают котлы, работающие как на газообразном, так и на жидком топливе. Существуют и универсальные котлы, при эксплуатации которых можно использовать 4 энергоносителя: твердое топливо, газ, солярку и электричество (котлы марки «Зиосаб-45» ОАО «Машиностроительный завод «ЗиО-Подольск» (рис. 11), «КС-ТГВ-16/20 завода «Конорд» - российского производства и зарубежные CTC 2200 TRIO (Швеция), XP4 P30-6: P30-9 (Франция)). Электричество в них как источник тепловой энергии используется в виде встроенных электронагревателей - ТЭНов, которые применяются в аварийных ситуациях. Номинальная тепловая мощность котла является основным техническим показателем, который определяет основные потребительские и

эксплуатационные качества. Котлы российского производства чаще всего неприхотливы к давлению газа, что немаловажно для большей части нашей газовой сети, и относительно дешевы. Но они уступают импортным по своей энергоэффективности, экологичности и удобству эксплуатации. С другой стороны, импортное оборудование не всегда приспособлено к условиям эксплуатации в России. Большинство зарубежных горелок соответствует заявленным техническим характеристикам при давлении газа 180-200мм.вод.ст., что не всегда возможно в Российской газовой сети (например, зимой давление сетевого газа редко повышается до 100мм.вод.ст.). Некоторые отечественные производители для повышения качества снабжают свои котлы импортными автоматизированными горелочными блоками: Балтийский завод использует в котле ФБТ горелку «Ойлон», что позволяет сократить расход топлива на 20%; Жуковский машиностроительный завод в котле АОГВ-23,2 использует автоматику Honeywell. При проектировании тепловая мощность источника тепла не должна превышать потребности в теплоте того здания, для теплоснабжения которого она предназначена.

Рис. 10. Котел «Хопер».

Рис. 11. Котел марки «Зиосаб-45».

3. Оценка экономической эффективности поквартирного отопления.

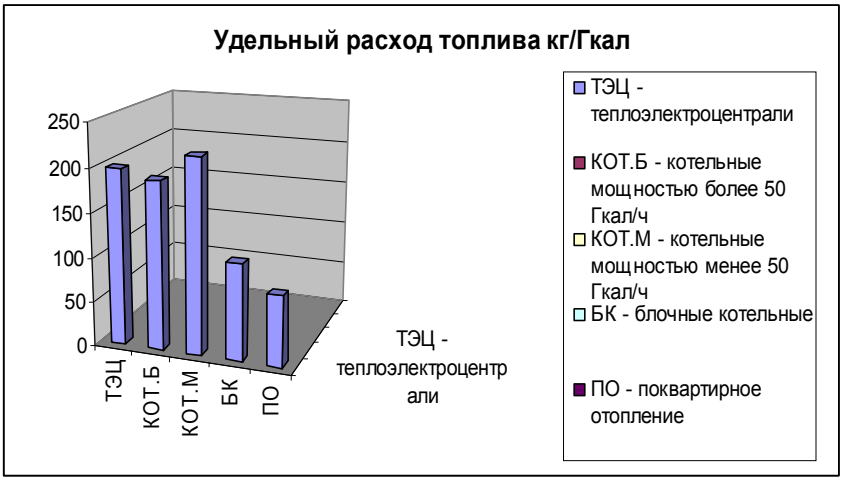


Рис. 12. Удельный расход топлива кг/Гкал.

3.1. Технико-экономический расчет целесообразности поквартирного отопления и горячего водоснабжения.

(на примере жилого 33-квартирного дома в г. Москва)

Исходные данные:

Отапливаемая площадь – 3713кв. м.;

Тепловая нагрузка - 390 кВт;

в т. ч.: отопление - 200 кВт;

ГВС - 120 кВт; + 20 % запас;

За отопительный период необходимо произвести:

195 х 24 х 207 х 0,86 = 833,134Гкал тепла,

где 195 - усредненная тепловая нагрузка за отопительный период, кВт/час (принята как 50% от максимальной);

24 - кол-во часов в сутках;

214 - кол-во суток отопительного периода для Тулы;

0,86 - переводной коэффициент между кВт и Гкал.

1. При получении тепла от централизованного источника или автономной котельной (в случае ее обслуживания ОАО "Мосэнерго») затраты на теплоснабжение составят:

833,134х1284,75=1070368,91,

где 1284,75руб. - стоимость 1 Гкал (по данным ОАО "Мосэнерго" за 2014 год).

2. Эксплуатационные затраты при поквартирном отоплении: для получения 833, 134 Гкал тепла необходимо сжечь

833 134 000:7 960: 0,9=116 295куб. м. газа

где 7960Гкал - теплотворная способность 1куб.м.,

0,9 - КПД котла.

Тогда стоимость газа составит:116295х4,684=544725,78 руб. где 4,684руб. - стоимость 1куб. м. газа для населения (утверждены распоряжением Комитета ТО.

Затраты на теплоснабжение в случае ПО меньше, чем в случае теплоснабжения от автономной котельной или централизованного источника на величину:

1070368,91 - 544725,78= 525643,127 руб.

3.2. Сравнение капитальных вложений при различных вариантах теплоснабжения.

Таблица 1. Стоимость при поквартирном варианте отопления, руб.

Стоимость котлов (Beretta) в комплекте	Стоимость материала	Стоимость работы	Общая стоимость
63.917*33=2.109.261	**248.530**	**142.300**	**2.251.561**

Таблица 2. Стоимость при автономной котельной, руб.

Стоимость котельной на базе котлов De Dietrich с монтажом	Стоимость материала	Стоимость работы	Общая стоимость
2.863.542	**315.230**	**137.300**	**3.316.072**

Таблица 3. Стоимость при централизованном теплоснабжении, руб.

Стоимость выполнения технических условий ОАО "Мосэнерго"	Стоимость материала	Стоимость работы	Общая стоимость
3.538.127	**315.230**	**137.300**	**3.990.657**

Примечание: Радиаторы отопления во всех вариантах - МС 140; трубы стальные. Расчеты произведены в ценах декабря 2014 года.

Результаты расчетов показывают, что экономически значительно выгоднее автономных котельных и централизованного отопления.

Таблица 4. Преимущества поквартирного отопления.

экономия газа в системе отопления	в 2 раза	в сравнении с централизованным
экономия газа в системе горячего водоснабжения	в 3,2 раза	
сокращение затрат на отопление	в 2,3 раза	для потребителя с учётом бюджетных дотаций
сокращение затрат на горячее водоснабжение	в 3,8 раза	
сокращение затрат на отопления	в 3 раза	для потребителя при 100%
сокращение затрат на горячее водоснабжение	в 5 раз	

Выводы.

Внедрение автономных систем теплоснабжения имеет ряд существенных преимуществ:

- потери при производстве и передаче тепла ниже;
- гибкость в управлении заданной температурой непосредственно в рабочей зоне;
- капитальные вложения и эксплуатационные затраты при поквартирном отоплении значительно ниже, чем при централизованном;
- экономичность в расходовании тепла,
- результаты технико-экономических расчетов многократно подтверждены на практике. Жители домов с поквартирным отоплением платят за отопление и ГВС в 5,7 раза меньше, чем их соседи с централизованным отоплением.

- поквартирное отопление при разумной тарифной политике может превратить ЖКХ из дотационной отрасли в доходную.

Литература:

1. Сравнительный анализ автономных и централизованных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.teletherm.ru/articles/kotli/abc.htm
2. Децентрализованное теплоснабжение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org
3. Выбор теплогенераторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rgsu.ru/upload/medialibrary/900/Avtonomnoe_teplosnabzhenie.pdf
4. Пример расчетов [Электронный ресурс].–Режим доступа: http://www.prokotly.ru/a06.html
5. Сравнение систем централизованного и автономного отопления [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://ecoteplo.ru/theory/sravnenie-sistem-tsentralizovannogo-i-avtonomnogo-otopleniya/
6. Поквартирное отопление [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://ru.heating.danfoss.com/PCMPDF/RB.00.P2.50.pdf

Разработка бизнес-плана по созданию носимой электроники типа «Навигационный кулон»

КУРБАТОВ Филипп Алексеевич
г. Москва, ГБОУ лицей №1581, 11 класс

Научный руководитель:
Александров Дмитрий Владимирович
д.н., профессор кафедры
«Инновационное предпринимательство»
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Цель проекта*:* Производство носимой электроники типа ‘’Навигационный кулон’’.

Цель бизнес-плана: обосновать прибыльность и рентабельность инвестиционного проекта «Производство носимой электроники типа ‘’Навигационный кулон’’».

Деятельность предприятия – производство и торговля носимой электроники типа ‘’Навигационный кулон’’. Краткое описание устройства: навигация осуществляется за счет шести вибрационных точек, расположенных на всей поверхности воротника. Это практически полностью оставляет глаза пользователя свободными от экрана телефона.

Конкурентное преимущество: предприятие производит уникальный продукт.

Сумма инвестиций составляет 1.500.000 руб. Продолжительность разработки программного обеспечения и сборки первого продукта – 1 месяц.

Общая продолжительность проекта – 12 месяцев.

Период окупаемости проекта – 3,5 месяца.

Описание отрасли.

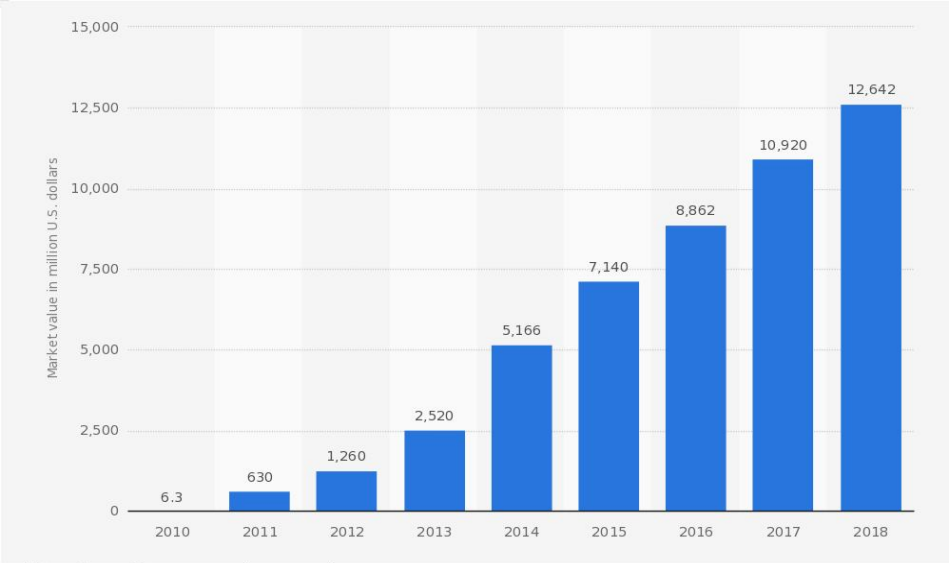
Число людей, пользующихся носимой электроникой, в 2015 году утроится, говорится в свежем исследовании Forrester Research, выдержки из которого публикует агентство "Рейтер".

Аналитики прогнозируют рост популярности носимых гаджетов в связи с выходом "умных" часов Apple Watch и предсказывают, что только лишь их пользовательская аудитория в 2015 году достигнет 10 миллионов человек. Онлайн-опрос нескольких тысяч респондентов в США и в странах Европы также показал, что первые с большим энтузиазмом относятся к новому виду устройств, нежели вторые. О желании воспользоваться носимой электроникой заявили 45% американцев, тогда как среди европейцев это соотношение было на уровне 32%. Наряду с растущим потребительским интересом к носимым компьютерным устройствам еще одним драйвером роста этого рынка станет корпоративный сегмент, считают специалисты.

Опрос руководящих сотрудников из бизнес-среды и технологической сферы показал, что более трети из них (68%) считают крайне важным выработать стратегию в отношении носимой электроники и ее использования на предприятиях. В связи с этим эксперты ожидают появление различных специализированных носимых устройств для рабочих целей, например, гаджетов, позволяющих следить за безопасностью

сотрудников на местах, смарт-часов, способных определять местоположение и помогать менеджеру давать задание сменным рабочим в режиме реального времени, и т. п. Отчет Forrester продолжает череду аналитических исследований, предрекающих подъем носимой электроники. По этой же теме в ноябре высказались и эксперты Morgan Stanley. В своем прогнозе специалисты предположили, что этот рынок будет расти еще быстрее, чем смартфоны и планшеты, и к 2020 году его объем в натуральном выражении может превысить 1 млрд. устройств.

Что самое важное – это положительная динамика роста рынка носимой электроники (рис. 1).



(Ист. http://www.statista.com)

Рис. 1. Ценность рынка носимой электроники в период с 2010 г. по 2018 г. (в млн. долл. США).

Описание продукции.

Носимая электроника - это одежда или аксессуары, подключаемые к компьютеру или к любым другим передовым технологиям. Продукты на рынке носимой электроники часто включают в себя удобные функции и возможности, но также могут быть чисто необходимы для человека, а для кого-то просто несут в себе эстетическую составляющую. Главное отличие носимой электроники от обычной бытовой электроники состоит в том, что носимая электроника способна существенно облегчить жизнь человека.

Глядя на современную носимую электронику, замечаешь, что между концептами носимой электроники и возможностями человека появилась огромная пропасть. Польза от применения носимой электроники очевидна. Но за последнее время пока не создано такого продукта, который захотел бы приобрести каждый и который помог бы конкретному человеку в определенный момент. Поэтому я решил выбрать тему, связанную с заполнением этого пространства между человеком и технологиями посредством интеллектуального гаджета. И мною была выдвинута идея создания собственного гаджета: носимое навигационное устройство, выполненное в виде кулона.

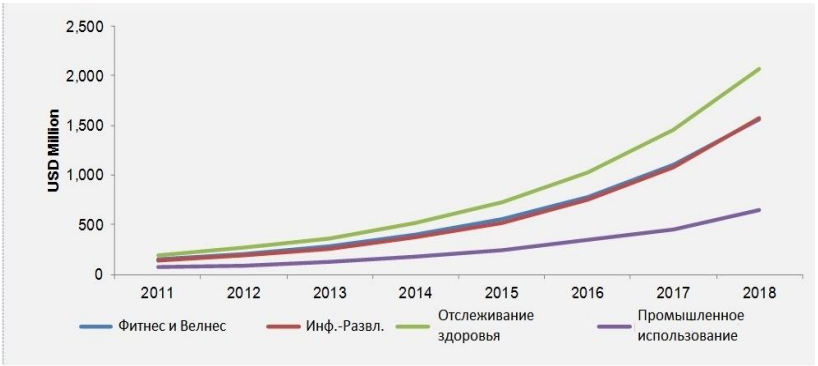
Функционал устройства:

- Взаимодействие смартфона и человека без использования органов зрения и слуха,
- Дизайн, повторяющий контуры тела,

- Навигация осуществляется за счет 6 вибрационных точек, расположенных по всему воротнику, что позволяет сделать навигацию достаточно точной,
- Открытая платформа для разработчиков приложений под платформы IOS/Android,
- Оценка объективного состояния человека.

Маркетинг и сбыт продукции.

Требования рынка: Продукция и услуги компаний, торгующих носимой электроникой, очень востребованы на данный момент, потому как с каждым годом растет количество выпускаемых и поставляемых устройств из-за рубежа. Каждый покупатель носимой электроники желает приобрести хороший продукт с широким функционалом, при этом максимально экономя деньги. Поэтому продажа носимой электроники с естественным дизайном, широким функционалом и самым лучшим соотношением цена / качество продукции очень актуальна (рис. 2,3).



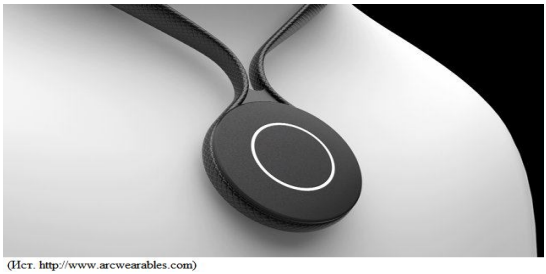
(Ист. http://www.wearabletechworld.com)

Рис. 2. Тенденции роста рынка носимой электроники.

(Ист. http://www.wearabletechworld.com)

Рис. 3. Влияние на решимость покупки в зависимости от факторов производства/функционала устройства.

Исходя из тенденций роста носимой электроники в определенной области и факторов, влияющих на решимость покупки продукта, я решил, каким дизайном и каким функционалом будет обладать кулон (рис. 4).



(Ист. http://www.arcwearables.com)

Рис. 4. Кулон. Внешний вид устройства.

А именно, запустить кулон на продажу с тремя приложениями под смартфон:

- Приложение Body – для отслеживания объективного состояния человека;
- Приложение Explore – для навигации;
- Приложение Home – для дома.

Конкуренция и другие факторы ее воздействия.

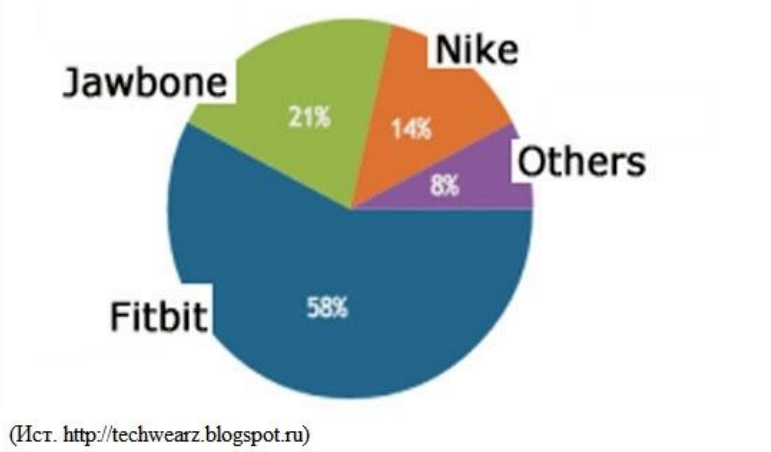
Основные конкуренты

Конкуренция в сегменте устройств носимой электроники обостряется еще на этапе разработок. Уже сейчас предвидятся масштабные сражения гигантов на формирующемся рынке. Хотя Google Glass пока опережает другие компании, пока не ясно, станет ли именно Google лидером в сфере носимых гаджетов (табл. 1,2, рис. 5).

Таблица 1. Основные игроки на рынке.

Название продукта	**Количество пользователей устройства**
Nike Plus	К началу 2014 года количество пользователей перевалило за 10 млн. чел.
FitBit	За первый квартал 2014 года обладателями устройства стали 1350000 человек, что составило 50% от всего спроса на рынке носимой электроники

Google Glass	За 2015 год компания Google планирует увеличить количество пользователей ‘’умных’’ очков до 2,468,598.



(Ист. http://techwearz.blogspot.ru)

Рис. 5. Название компаний и их доля на рынке носимой электроники.

Таблица 2. Себестоимость продукции.

Наименование	**Закупка у производителя по цене, руб.**	**Расходы на доставку, руб./шт.**	**Расходы на хранение, руб./шт.**	**Себестоимость, руб.**
Intel Edison	3100	100	0	3200
Пластик	100	0	0	100
Шесть вибромоторов	104	0	0	104

Проанализировав все вышеизложенные данные, можно сделать выводы, что цены на основную продукцию можно установить следующие (табл. 3):

Таблица 3. Цены на продукцию.

Наименование товара	**Цена реализации, руб.**
Навигационный кулон	*8000*

Прогнозы объемов продаж.

Эксперты уверены в том, что Apple Watch ждет "безудержный спрос", который сделает этот продукт самым успешным на рынке компьютеризированных часов.

Кроме того, популярность "яблочного" аппарата будет способствовать подъему всей индустрии носимой электроники, предполагает директор по исследованиям CCS Insight Бен Вуд (Ben Wood).

Предполагается, что после роста спроса на всю носимую электронику, мой продукт так же займет свою долю на рынке.

Инвестиционный план.

Начальный бюджет-1 500 000 рублей. В начале проекта будет закуплена партия компьютеров Intel Edison. Каждый компьютер стоит 3200 рублей, изначально закупается 100 таких компьютеров, что в сумме будет стоить 320000 рублей.

Персонал.

Персонал (рис. 6):

- создатель проекта, директор и агент по продаже — зарплата из дохода компании,
- программист—сдельная зарплата,
- сборщик – 7500 рублей.

Рис. 6. Персонал.

Клиентская база.

Один из плюсов кулона заключается в том, что он направлен на клиентов различных типов и возрастных категорий (табл. 4). Кулон может быть приобретен как для пользования определенной функцией устройства, так и для упрощения жизни за счет использования широкого функционала устройства.

Таблица 4. Клиентская база.

Клиент	**Функция**
Молодежь	Упрощение, использование навигации смартфона
Спортсмены	Возможность отслеживания показателей пульса, расчет калоража
Типичный потребитель	Улучшение качества жизни в целом

Налоги

В качестве налоговой системы лучше всего выбрать упрощённую систему налогообложения по схеме «доходы минус расходы», и это будет составлять 15%. Страховые взносы на обязательное пенсионное страхование. Страховые взносы на обязательное социальное страхование от несчастных случаев и профессиональных заболеваний. Подоходный налог.

Анализ риска (табл. 5).

Таблица 5. Анализ риска.

Виды риска	**Способ минимизации риска**
Не найти достаточную клиентскую базу	Максимальное снижение цен
Экономический кризис	Повышение цен на товар
Непредвиденные расходы (увеличение арендной платы, цены ЖКХ и т.д.)	Уменьшение зарплаты; смена помещения; увлечение стоимости товара

Календарный план выполнения работ и стоимость каждой работы (табл. 6).

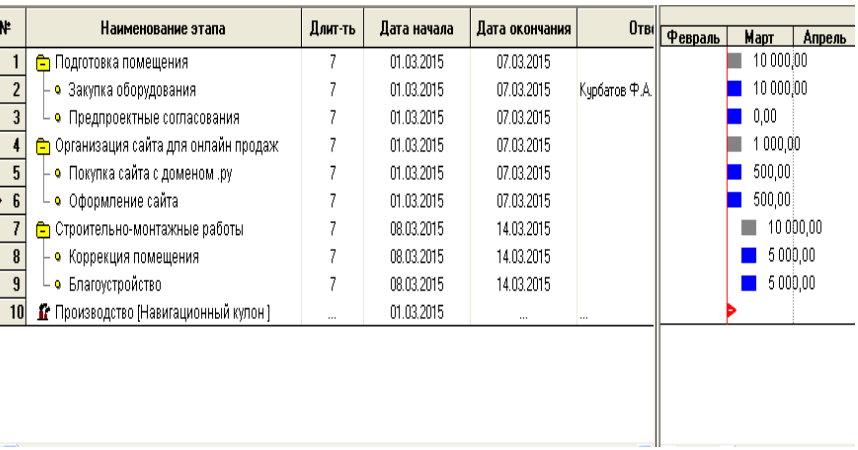
Перечень работ по подготовке к введению в продажу устройства.

Производственный план (рис. 7).

Общие издержки (табл. 7).

Таблица 6. Календарный план.

№	Наименование этапа	Длит-ть	Дата начала	Дата окончания	Отв
1	Подготовка помещения	7	01.03.2015	07.03.2015	
2	Закупка оборудования	7	01.03.2015	07.03.2015	Курбатов Ф.А.
3	Предпроектные согласования	7	01.03.2015	07.03.2015	
4	Организация сайта для онлайн продаж	7	01.03.2015	07.03.2015	
5	Покупка сайта с доменом .ру	7	01.03.2015	07.03.2015	
6	Оформление сайта	7	01.03.2015	07.03.2015	
7	Строительно-монтажные работы	7	08.03.2015	14.03.2015	
8	Коррекция помещения	7	08.03.2015	14.03.2015	
9	Благоустройство	7	08.03.2015	14.03.2015	
10	Производство [Навигационный кулон]	...	01.03.2015	...	...



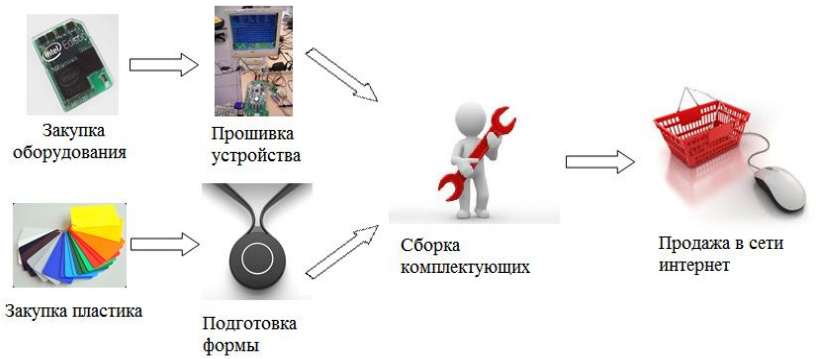


Рис. 7. Производственный план.

Таблица 7. Общие издержки.

Название	**Сумма, руб.**	**Платежи**
Управление		
Канцелярские расходы	1000	Ежемесячно, весь период производства
Производство		
Брак	3200	Ежемесячно, весь период производства
Курьер	300	Ежемесячно, весь период производства
Маркетинг		
Реклама	4000	Ежемесячно, весь период производства

Финансовый план.

Отчет о прибылях и убытках (табл. 8).

Таблица 8. Отчет о прибылях и убытках.

	3.2015	4.2015	5.2015	6.2015	7.2015	8.2015	9.2015	10.2015	11.2015	12.2015	1.2016	2.2016
Валовый объем продаж	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00
Потери												
Налоги с продаж												
Чистый объем продаж	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00
Материалы и комплектующие	340 416,00	344 845,85	350 125,26	355 485,49	360 927,78	366 453,40	372 063,61	377 759,70	383 543,00	389 414,84	395 376,58	401 429,58
Сдельная зарплата	13 000,00	13 199,02	13 401,09	13 606,26	13 814,56	14 026,06	14 240,79	14 458,81	14 680,16	14 904,91	15 133,09	15 364,77
Суммарные прямые издержки	353 416,00	358 044,87	363 526,35	369 091,75	374 742,35	380 479,45	386 304,39	392 218,51	398 223,17	404 319,75	410 509,67	416 794,36
Валовая прибыль	446 584,00	441 955,13	436 473,65	430 908,25	425 257,65	419 520,55	413 695,61	407 781,49	401 776,83	395 680,25	389 490,33	383 205,64
Налог на имущество												
Административные издержки	1 000,00	1 011,71	1 023,57	1 035,56	1 047,69	1 059,96	1 072,38	1 084,94	1 097,65	1 110,51	1 123,52	1 136,68
Производственные издержки	3 500,00	3 541,00	3 582,48	3 624,45	3 666,91	3 709,87	3 753,33	3 797,30	3 841,79	3 886,79	3 932,33	3 978,39
Маркетинговые издержки	4 000,00	4 046,86	4 094,27	4 142,23	4 190,76	4 239,85	4 289,52	4 339,77	4 390,61	4 442,05	4 494,09	4 546,74
Зарплата административного персонала	9 750,00	9 750,00	9 750,00	9 750,00	9 750,00	9 750,00	9 750,00	9 750,00	9 750,00	9 750,00	9 750,00	9 750,00
Зарплата производственного персонала	9 750,00	9 750,00	9 750,00	9 750,00	9 750,00	9 750,00	9 750,00	9 750,00	9 750,00	9 750,00	9 750,00	9 750,00
Зарплата маркетингового персонала												
Суммарные постоянные издержки	28 000,00	28 099,58	28 200,32	28 302,24	28 405,36	28 509,69	28 615,23	28 722,02	28 830,05	28 939,35	29 049,94	29 161,81
Амортизация												
Проценты по кредитам	8 333,33											
Суммарные непроизводственные издержки	8 333,33											
Другие доходы	375,00	375,00	375,00									
Другие издержки	20 000,00											
Убытки предыдущих периодов												
Прибыль до выплаты налога	390 625,67	414 230,55	408 648,33	402 606,01	396 852,29	391 010,86	385 080,37	379 059,47	372 946,78	366 740,89	360 440,39	354 043,83
Суммарные издержки, отнесенные на прибыль												
Прибыль от курсовой разницы												
Налогооблагаемая прибыль	390 625,67	414 230,55	408 648,33	402 606,01	396 852,29	391 010,86	385 080,37	379 059,47	372 946,78	366 740,89	360 440,39	354 043,83
Налог на прибыль	58 593,85	62 134,58	61 297,25	60 390,90	59 527,84	58 651,63	57 762,06	56 858,92	55 942,02	55 011,13	54 066,06	53 106,57
Налог на прибыль	58 593,85	62 134,58	61 297,25	60 390,90	59 527,84	58 651,63	57 762,06	56 858,92	55 942,02	55 011,13	54 066,06	53 106,57
Чистая прибыль	332 031,82	352 095,97	347 351,08	342 215,11	337 324,45	332 359,23	327 318,32	322 200,55	317 004,76	311 729,76	306 374,33	300 937,25

Балансовый план (табл. 9).

Таблица 9. Балансовый план.

	3.2015	4.2015	5.2015	6.2015	7.2015	8.2015	9.2015	10.2015	11.2015	12.2015	1.2016	2.2016
Денежные средства	1 809 563,27	1 664 418,23	2 010 138,27	2 380 641,17	2 716 284,37	3 046 936,66	3 372 521,97	3 692 963,03	4 008 181,43	4 318 097,54	4 622 630,51	4 921 698,27
Счета к получению												
Сырье, материалы и комплектующие	51 062,40	51 844,14	52 637,84	53 443,70	54 261,90	55 092,62	55 936,06	56 792,41	57 661,87	58 544,64	59 440,93	60 350,94
Незавершенное производство												
Запасы готовой продукции												
Банковские вклады и ценные бумаги	30 000,00	30 000,00	30 000,00									
Краткосрочные предоплаченные расходы												
Суммарные текущие активы	1 890 625,67	1 746 262,37	2 092 776,11	2 434 084,87	2 770 546,26	3 102 029,28	3 428 458,03	3 749 755,44	4 065 843,30	4 376 642,18	4 682 071,44	4 982 049,21
Основные средства												
Накопленная амортизация												
Остаточная стоимость основных средств:												
Земля												
Здания и сооружения												
Оборудование												
Предоплаченные расходы												
Другие активы												
Инвестиции в основные фонды												
Инвестиции в ценные бумаги												
Имущество в лизинге												
СУММАРНЫЙ АКТИВ	1 890 625,67	1 746 262,37	2 092 776,11	2 434 084,87	2 770 546,26	3 102 029,28	3 428 458,03	3 749 755,44	4 065 843,30	4 376 642,18	4 682 071,44	4 982 049,21
Отсроченные налоговые платежи	58 593,85	62 134,58	61 297,25	60 390,90	59 527,84	58 651,63	57 762,06	56 858,92	55 942,02	55 011,13	54 066,06	53 106,57
Краткосрочные займы	500 000,00											
Счета к оплате												
Полученные авансы												
Суммарные краткосрочные обязательства	558 593,85	62 134,58	61 297,25	60 390,90	59 527,84	58 651,63	57 762,06	56 858,92	55 942,02	55 011,13	54 066,06	53 106,57
Долгосрочные займы												
Обыкновенные акции												
Привилегированные акции												
Капитал внесенный сверх номинала												
Резервные фонды												
Добавочный капитал	1 000 000,00	1 000 000,00	1 000 000,00	1 000 000,00	1 000 000,00	1 000 000,00	1 000 000,00	1 000 000,00	1 000 000,00	1 000 000,00	1 000 000,00	1 000 000,00
Нераспределенная прибыль	332 031,82	684 127,78	1 031 478,86	1 373 693,97	1 711 018,42	2 043 377,65	2 370 695,97	2 692 896,52	3 009 901,29	3 321 631,05	3 628 005,38	3 928 942,63
Суммарный собственный капитал	1 332 031,82	1 684 127,78	2 031 478,86	2 373 693,97	2 711 018,42	3 043 377,65	3 370 695,97	3 692 896,52	4 009 901,29	4 321 631,05	4 628 005,38	4 928 942,63
СУММАРНЫЙ ПАССИВ	1 890 625,67	1 746 262,37	2 092 776,11	2 434 084,87	2 770 546,26	3 102 029,28	3 428 458,03	3 749 755,44	4 065 843,30	4 376 642,18	4 682 071,44	4 982 049,21

Отчет о движении денежных средств (кэш-фло) (табл. 10).

Таблица 10. Отчет о движении денежных средств (кэш-фло).

	3.2015	4.2015	5.2015	6.2015	7.2015	8.2015	9.2015	10.2015	11.2015	12.2015	1.2016	2.2016
Поступления от продаж	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00	800 000,00
Затраты на материалы и комплектующие	391 478,40	345 627,59	350 918,96	356 291,35	361 745,98	367 284,12	372 907,04	378 616,05	384 412,46	390 297,62	396 272,87	402 339,59
Затраты на сдельную заработную плату	10 000,00	10 153,09	10 308,53	10 466,35	10 626,59	10 789,27	10 954,45	11 122,16	11 292,43	11 465,31	11 640,84	11 819,06
Суммарные прямые издержки	401 478,40	355 780,68	361 227,50	366 757,70	372 372,57	378 073,39	383 861,50	389 738,21	395 704,90	401 762,93	407 913,71	414 158,65
Общие издержки	8 500,00	8 599,58	8 700,32	8 802,24	8 905,36	9 009,69	9 115,23	9 222,02	9 330,05	9 439,35	9 549,94	9 661,81
Затраты на персонал	15 000,00	15 000,00	15 000,00	15 000,00	15 000,00	15 000,00	15 000,00	15 000,00	15 000,00	15 000,00	15 000,00	15 000,00
Суммарные постоянные издержки	23 500,00	23 599,58	23 700,32	23 802,24	23 905,36	24 009,69	24 115,23	24 222,02	24 330,05	24 439,35	24 549,94	24 661,81
Вложения в краткосрочные ценные бумаги	30 000,00			-30 000,00								
Доходы по краткосрочным ценным бумагам	375,00	375,00	375,00									
Другие поступления												
Другие выплаты												
Налоги	7 500,00	66 139,78	69 727,14	68 937,15	68 078,88	67 264,63	66 437,96	65 598,70	64 746,65	63 881,61	63 003,33	62 111,78
Кэш-фло от операционной деятельности	337 896,60	354 854,96	345 720,04	370 502,90	335 643,20	330 652,30	325 585,31	320 441,07	315 218,40	309 916,10	304 532,97	299 067,76
Затраты на приобретение активов												
Другие издержки подготовительного периода	20 000,00											
Поступления от реализации активов												
Приобретение прав собственности (акций)												
Продажа прав собственности												
Доходы от инвестиционной деятельности												
Кэш-фло от инвестиционной деятельности	-20 000,00											
Собственный (акционерный) капитал												
Займы	500 000,00											
Выплаты в погашение займов		500 000,00										
Выплаты процентов по займам	8 333,33											
Лизинговые платежи												
Выплаты дивидендов												
Кэш-фло от финансовой деятельности	491 666,67	-500 000,00										
Баланс наличности на начало периода	1 000 000,00	1 809 563,27	1 664 418,23	2 010 138,27	2 380 641,17	2 716 284,37	3 046 936,66	3 372 521,97	3 692 963,03	4 008 181,43	4 318 097,54	4 622 630,51
Баланс наличности на конец периода	1 809 563,27	1 664 418,23	2 010 138,27	2 380 641,17	2 716 284,37	3 046 936,66	3 372 521,97	3 692 963,03	4 008 181,43	4 318 097,54	4 622 630,51	4 921 698,27

Показатели финансового состояния компании (табл. 11).

Таблица 11. Показатели финансового состояния компании.

	3.2015	4.2015	5.2015	6.2015	7.2015	8.2015	9.2015	10.2015	11.2015	12.2015	1.2016	2.2016
Коэффициент текущей ликвидности (CR), %	338,46	2 810,45	3 414,14	4 030,55	4 654,20	5 288,91	5 935,48	6 594,84	7 267,96	7 955,92	8 659,91	9 381,23
Коэффициент срочной ликвидности (QR), %	329,32	2 727,01	3 328,27	3 942,05	4 563,05	5 194,97	5 838,65	6 494,96	7 164,89	7 849,50	8 549,97	9 267,59
Чистый оборотный капитал (NWC), руб.	1 332 031,82	1 684 127,78	2 031 478,86	2 373 683,97	2 711 018,42	3 043 377,65	3 370 695,97	3 692 896,52	4 009 901,29	4 321 631,05	4 628 005,38	4 928 942,63
Чистый оборотный капитал (NWC), $ US	21 484,38	26 753,77	31 785,11	36 579,50	41 147,84	45 495,87	49 629,20	53 553,32	57 273,60	60 795,31	64 123,58	67 263,47
Коэфф. оборачиваем. запасов (ST)	83,06	82,87	82,87	82,87	82,87	82,87	82,87	82,87	82,87	82,87	82,87	82,87
Коэфф. оборачиваем. дебиторской задолж. (CP)												
Коэфф. оборачиваем. кредиторской задолж. (CPR)												
Коэфф. оборачиваем. рабочего капитала (NCT)	7,21	5,70	4,73	4,04	3,54	3,15	2,85	2,60	2,39	2,22	2,07	1,95
Коэфф. оборачиваем. основных средств (FAT)												
Коэфф. оборачиваем. активов (TAT)	5,08	5,50	4,59	3,94	3,47	3,09	2,80	2,56	2,36	2,19	2,05	1,93
Суммарные обязательства к активам (TD/TA), %	29,55	3,56	2,93	2,48	2,15	1,89	1,68	1,52	1,38	1,26	1,15	1,07
Долгоср. обязат. к активам (LTD/TA), %												
Долгоср. обязат. к внеоборотн. акт. (LTD/FA), %												
Суммарные обязательства к собств. кап. (TD/EQ), %	41,94	3,69	3,02	2,54	2,20	1,93	1,71	1,54	1,40	1,27	1,17	1,08
Коэффициент покрытия процентов (TIE), раз	47,88											
Коэфф. рентабельности валовой прибыли (GPM), %	55,82	55,24	54,56	53,86	53,16	52,44	51,71	50,97	50,22	49,46	48,69	47,90
Коэфф. рентабельности операц. прибыли (OPM), %	48,83	51,78	51,08	50,33	49,61	48,88	48,14	47,38	46,62	45,84	45,06	44,26
Коэфф. рентабельности чистой прибыли (NPM), %	41,50	44,01	43,42	42,78	42,17	41,54	40,91	40,29	39,63	38,97	38,30	37,62
Рентабельность оборотных активов (RCA), %	210,74	241,95	199,17	168,71	146,10	128,57	114,57	103,11	93,56	85,47	78,52	72,49
Рентабельность внеоборотных активов (RFA), %												
Рентабельность инвестиций (ROI), %	210,74	241,95	199,17	168,71	146,10	128,57	114,57	103,11	93,56	85,47	78,52	72,49
Рентабельность собственного капитала (ROE), %	299,12	250,88	205,18	173,00	149,31	131,05	116,53	104,70	94,87	86,56	79,44	73,27

Риски и гарантии.

Коммерческие риски:

- Появление носимой электроники других компаний, что обусловит снижение объемов продаж;
- Повышение оптовых цен на комплектующие и отказ потребителей от использования носимой электроники в силу неплатежеспособности.

Инфляционный риск: обесценивание реальной стоимости капитала (в форме финансовых активов предприятия), а также

ожидаемых доходов от осуществления финансовых операций в условиях инфляции.

Риски, связанные с форс-мажорными обстоятельствами:

- пожар,
- вследствие несоблюдения правил обращения с огнем в зоне хранения материалов и т.д.

В качестве компенсационных механизмов в проекте предусмотрено создание страхового запаса всех комплектующих в размере 15%. Необходимое программное обеспечение: Project Expert.

Литература:

1. Александров Д. В. Методическая разработка к олимпиаде «Шаг в будущее»,

2.http://en.wikipedia.org/wiki/Wearable_technology

3.http://www.statista.com/statistics/259372/wearable-device-market-value/

4.http://www.wearabletechworld.com/topics/from-the-experts/articles/323855-wearable-technology-next-mobility-market-booming.htm

5.http://techwearz.blogspot.ru/2014/02/fitbit-and-samsung-market-leaders-in.html

6.http://www.reuters.com/article/2014/12/08/us-tech-wearables-idUSKBN0JM2IO20141208

Малоэтажное строительство в сельской местности

ЛЫСЫЙ Даниил Юрьевич
г. Москва, ГБОУ Лицей №1581, 11 класс

Научный руководитель:
Филобокова Людмила Юрьевна,
д.н., профессор кафедры
«Инновационное предпринимательство»
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Цель исследования - обоснование необходимости внедрения методов по снижению стоимости малоэтажных зданий в сельской местности (на примере ООО «ВСО СтройМеханизация» - строительно-монтажное предприятие широкого профиля).

Задачи исследования:

1.Анализ современного рынка малоэтажного строительства;

2.Выявление ключевых факторов, влияющих на стоимость конечной продукции;

3.Формирование ключевых факторов для снижения стоимости малоэтажных зданий;

4.Разработка механизмов развития и стимулирования малоэтажного жилищного строительства;

5.Анализ имеющихся технологий строительства малоэтажных домов, позволяющих снижать себестоимость малоэтажного строительства; создание условий для развития индустрии

быстровозводимого, энергоэффективного, экологичного индивидуального жилья.

Введение.

До начала XX века типичным жилищем в России можно назвать расположенный на участке земли малоэтажный дом, как правило, с печным отоплением. Наряду с малоэтажными домами распространение имели жилища земляного типа. Решение жилищного вопроса в указанный исторический период основано на строительстве малоэтажных жилых домов, поскольку до начала XX века до 85% населения России проживало в сельской местности. Строительство многоквартирных домов в дореволюционный период осуществлялось в незначительных объемах в городах.

Основные архитектурные типы российской малоэтажной застройки возникали не мгновенно, а складывались на протяжении веков, вбирая в себя жизненный и хозяйственный опыт многих поколений людей. Для сельской местности Средней полосы России и ее Севера можно назвать характерной застройку, состоящую из расположенных близко друг к другу деревянных домов в два-три окна (общей площадью в пределах 30 — 45 кв.м) с многочисленными хозяйственными пристройками, которые в некоторых проектах заводились под общую с жилым домом кровлю, обеспечивающую возможность проводить многие хозяйственные работы, не выходя на улицу, что особенно важно для местностей с неблагоприятными климатическими условиями. Столь

незначительные размеры домов легко объясняются целью экономии дровяного топлива для обогрева жилых помещений. Большая часть земельного участка, на котором располагался дом, использовалась для хозяйственных нужд. Во многих уголках нашей страны указанный тип застройки сохранился и по сегодняшний день.

Выбор строительного материала для возведения домов в рассматриваемый период был обусловлен его относительной доступностью, а также потребительскими свойствами. Так, вплоть до настоящего времени, бытует мнение, что деревянный дом — наиболее благоприятное жилище для человека в биологическом и экологическом отношении. Деревянные домостроения имеют хорошие теплоизоляционные показатели, а также солидный ресурс использования, хотя за время службы такого дома необходимо несколько раз проводить ремонт кровли и менять бревна нижнего венца, но такое строение удовлетворяло и может удовлетворять потребности в жилье нескольких поколений семьи на высоком уровне.

Зачастую сельские деревянные дома возводились усилиями родственников и соседей на основе взаимопомощи. Кроме того, указанное строительство осуществлялось плотниками-профессионалами, и во многих областях готовые срубы домов и надворных построек выставлялись на ярмарках на продажу, а после их покупки разбирались и доставлялись покупателю, где собирались и достраивались окончательно. Если позволяла география, то срубы сплавлялись и на плотах по рекам из лесистых

местностей в безлесные. Возведение самого сруба на месте, установка кровли, дверей, окон требовали около недели при коллективном характере ведения работ.

Строительство жилища для семьи в относительно недавнем историческом прошлом требовало менее двух лет, что было обусловлено главным образом технологией заготовки строительного леса. Построить же временное строение из сырого леса при возникновении экстренной потребности (например, в случае уничтожения пожаром основного жилища) можно было в течение нескольких недель при использовании коллективного труда.

В безлесных местностях России, на юге, в степной и лесостепной зоне размер жилищ был меньше, чем на севере и в Сибири, поскольку там не было необходимости объединять все хозяйственные помещения под одну крышу, а многие хозяйственные работы могли быть отложены на лето и выполнялись на улице или под легкими навесами. В этих местностях основным строительным материалом был, в частности, саман — высушенные на солнце прямоугольные блоки, сформированные из смеси глины, навоза и соломы. Саманные блоки в кладке скреплялись смесью воды, глины и навоза. Для кровли использовался камыш или солома. Пол в большинстве своем был земляной (глинобитный) или дощатый. Такой дом тоже мог стоять несколько десятилетий, удовлетворяя жилищные потребности нескольких, сменяющих друг друга, поколений семьи. Он требовал лишь периодической

обмазки (побелки) снаружи и изнутри и смены соломы или камыша на крыше. Возведение такого дома требовало значительно меньшего времени по сравнению со строительством деревянного дома и могло составлять несколько месяцев. Однако описанные выше типы жилища не лишены недостатков, основными из которых являлись отсутствие в них элементов благоустройства, сложности в обеспечении приемлемых санитарно-гигиенических условий пользования таким жилищем.

XX век можно охарактеризовать как эпоху стремительного промышленного и научно-технического прогресса, строительства мощных индустриальных объектов, обусловивших ускоренный рост городского населения. В указанный период получили распространение двухэтажные многоквартирные дома и дома барачного типа с минимальным набором удобств. Строительство таких домов было вызвано необходимостью оперативного временного решения жилищного вопроса работников и членов их семей, занятых на предприятиях, крупных стройках и т.п. (например, строительство БАМа, развитие северных территорий России). Основным типом жилища прошлого века в крупных городах постепенно становится многоэтажный многоквартирный дом, который оснащен централизованными системами электро-, тепло-, газо- и водоснабжения, водоотведения и прочими элементами благоустройства. Возможность использования жилых помещений в таких домах неразрывно связана с функционированием подземных и наземных инженерных

коммуникаций и сооружений. Многоэтажная застройка характеризуется интенсивным использованием территорий жилых образований, большой скученностью населения.

На протяжении XX века в городах вопрос обеспечения граждан жильем пытались решить в основном за счет технологий многоэтажного домостроения с преимущественным использованием таких строительных материалов, как металлопрокат, бетон и кирпич.

Однако на сегодняшний день, как показывает практика, увеличение объемов жилищного строительства только за счет многоэтажной застройки в городах жилищную проблему в России решить не может. Концепция многоэтажного домостроения затрудняет решение этой проблемы вследствие дороговизны строительства многоэтажных домов, ограниченного числа земельных участков в городах, оборудованных инженерной инфраструктурой, устаревших технологий строительства, дефицита строительных материалов, несовершенства транспортной инфраструктуры, нехватки энергетических мощностей. Указанные обстоятельства неизменно приводят к недостаточным объемам многоэтажного строительства и увеличению стоимости жилья, что в конечном итоге становится препятствием на пути реализации задачи по обеспечению населения доступным и комфортным жильем.

Солома как строительный материал. Что такое соломенный блок?

Соломенный блок - это прямоугольный спрессованный тюк из сухих стеблей злаковых растений, оставшихся после извлечения зерна. Это ежегодно возобновляемый дешевый побочный продукт производства зерновых. Соломенные блоки по размеру бывают разными, при строительстве лучше использовать размер 50х40х50-120 см (ширина/высота/длина).

Солома обычных хлебных злаков по составу очень близка обычным мягким древесинам - они все состоят в основном из целлюлозы, полуцеллюлозы и лигнина. Лучшей соломой для строительства считается ржаная. Интересно, что ржаную солому не любят мыши. Хорошо применять также пшеничную солому. А в Небраске использовали и прессованное сено. Но для строительства гораздо более важно, чтобы соломенные блоки были сухими и плотными, чем их состав.

Свойства соломенного блока.

Дома из соломенных блоков способны сэкономить огромное количество материальных ресурсов и энергии, как при строительстве, так и при эксплуатации жилища. Соломенные блоки объединяют в себе все свойства великолепного строительного материала: они дешевые, прочные, легкодоступные, экологически чистые, обладают хорошей теплоизоляцией и звукоизоляцией.

Тюки из соломы долговечны, если хорошо защищены от влаги. Соломенные блоки при обычной толщине в 50см обладают превосходными теплоизолирующими свойствами (по сравнению с деревянными и кирпичными стенами), которые после нанесения

штукатурки улучшаются. Причем стена остается «дышащей» на порядок выше, чем стена из натуральных бревен, таким образом, решается вопрос вентиляции помещения. Толстые соломенные стены имеют особую прелесть - живые и дышащие структуры создают необыкновенный климат в помещении.

Вредители.

Часто задаваемый вопрос касается того, что соломенные стены могут стать местом обитания мышей. Опыт показывает, что подобные опасения безосновательны. Во-первых, в тюках солома должна быть плотно спрессована, что не позволит грызунам пробираться в них. Во-вторых, в процессе строительства к нижним рядам соломенных блоков крепится металлическая сетка. В-третьих, толстый слой штукатурки - достаточно хорошая защита от всех типов вредителей.

Особенности соломенного блока.

Это уникальный материал, который превосходит по своим теплофизическим характеристикам все известные строительные материалы (кирпич, газосиликатный блок, дерево). Эти свойства соломенных блоков позволяют снизить расходы на отопление дома.

Соломенные блоки - самый легкий строительный материал для ограждающих конструкций, что дает возможность существенно сэкономить на фундаменте. В отличие от всех других материалов соломенные блоки способны "дышать", таким образом, потребность в вентиляции практически отсутствует. Соломенный блок - самый перспективный материал для малоэтажного жилищного

строительства. Рост цен на энергоресурсы грозит значительным удорожанием традиционных стройматериалов. Из-за малой энергетической составляющей в себестоимости соломенного блока его цена может увеличиться лишь незначительно.

Технические характеристики соломенного блока.

- Снижение энергозатрат. При строительстве дома из соломенных блоков как минимум в 300 раз на 1кв.м. общей площади, по сравнению с кирпичными и газосиликатными ограждающими конструкциями с современными утеплителями.

- **Высокая теплопроводность.** Коэффициенты теплопроводности ограждающих конструкций: показатель пола без подогрева - 0,23 Вт/м2К, показатель соломенной стены - 0,12 Вт/м2К, показатель крыши - 0,19 Вт/м2К.

- **Энергоэффективность.** Потребность энергии для отопления дома из соломенных блоков менее 40 кВт*ч/кв.м. в год.

- Высокая пожарная безопасность. Соломенная стена после оштукатуривания обладает высокой пожароустойчивостью, что подтверждено официальными испытаниями. Конструкция оштукатуренной соломенной стены была официально протестирована в США, отнесена к предельному классу по огнестойкости F119 (металлическая ферма, например, относится к классу F15, т.е. теряет несущую способность через 15 минут после воздействия открытого огня).

- **Быстрые сроки строительства.** Если стройка ведется ритмично, то с момента начала закладки фундамента до момента заселения проходит около 15 недель.

Конструкция строения на основе соломенных блоков показана на рис 1. Преимущества и недостатки использования соломы в качестве строительного материала приведены на диаграмме (рис. 2).

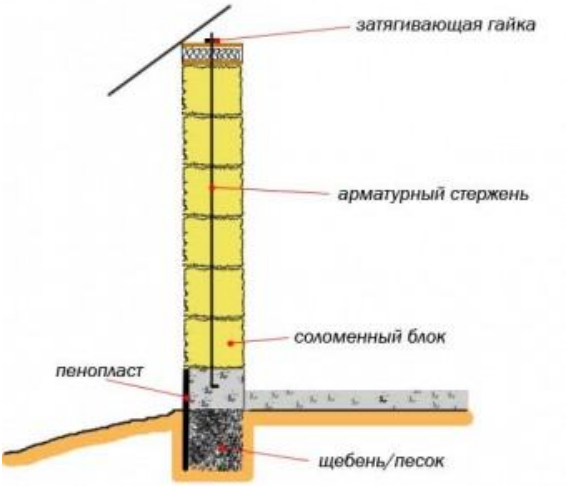


Рис. 1. Конструкция строения на основе соломенных блоков.

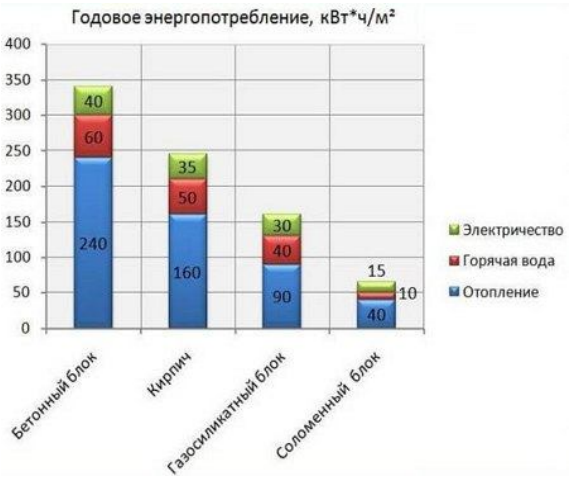


Рис. 2. Преимущества и недостатки использования соломы в качестве строительного материала.

В результате проведенного конкурентного анализа удалось установить наличие определенных конкурентных возможностей. В качестве конкурента рассматривали ООО «ВСО СтройМеханизация». ООО «ВСО СтройМеханизация» использует основные способы снижения стоимости квадратного метра площади: выбор земельного участка, куда можно недорого подвести инженерные коммуникации; использование экономных строительных материалов; наличие собственного производства стройматериалов; выбор оптимального архитектурно-планировочного решения, благодаря которому достигается предельная рациональность, не в ущерб архитектурным достоинствам и комфорту.

Расчет объема продаж.

Место производства соломы - Ставропольский край, Кировский район. Данное место выбрано не случайно, а с расчетом снижения транспортной составляющей на перевозку основного строительного материала-соломы. Предусматривается сотрудничество с компанией "АГРОСЕЛЬХОЗПРОДУКТ", которая занимается продажей соломы в Кировской районе Ставропольского края. В качестве потенциальных клиентов я рассматриваю 589 человек, нуждающихся в жилье. Среднестатистическая семья, проживающая в сельской местности, состоит из 4 человек. Следовательно, в жилье нуждается 85 семей.

Средняя площадь квартиры/дома в сельской местности 100-120 кв.м., следовательно, можно построить: 120кв.*85=10200 кв. м.

Итоговая стоимость готового дома под ключ: 1800000 руб.

В течение каждого года планируется строительство 15 домов.

Расчет затрат и себестоимости.

Таблица 1. Определение потребности в оборудовании.

№ п /п	Наименование оборудования	Ед. изм	Кол-во	Цена за ед., руб.	Общая стоимость руб.
1. Отдел бухгалтерии.					
1	Компьютер (новый)	компл.	3	20 000	60000
2	Ксерокс	шт.	1	4000	4000
3	Факс	шт.	1	8000	8000
4	Система мобильной связи	компл.	3	3 000	9000

5	Офисная мебель	компл.	3	35000	105000
	Итого:				**186000**
		2. **Отдел проектирования.**			
6	Компьютер	компл.	3	20 000	60000
7	Ксерокс	шт.	1	4000	4000
8	Система мобильной связи	шт.	3	3000	9000
9	Принтер	шт.	1	9000	9000
10	Офисная мебель	компл.	3	35000	105000
	Итого:				**187000**
		3. Отдел строительства			
11	Экскаватор на колесном ходу	шт.	1	500 000	500000
12	Бульдозер	шт.	1	300 000	300000
13	Кран малый КБ-108	шт.	1	2 200 000	2200000
14	Тюкователь соломы (стационарный)	Шт.	1	500 000	500000
15	**Итого:**				**3500000**
16	**Всего:**				**3873000**

Сумма капитальных вложений: Sкв=3 873 000 рублей.

Таблица 2. Затраты на материалы + монтажные работы.

№	Наименование	Стоимость, руб.
1	Фундамент	280000
2	Каркас	90000
3	Тюки соломы + скрепляющий раствор	50320
4	Крыша	250000
5	Отделка	Индивидуальная (в среднем 300000р)
Итого:		970320 руб.

Общая сумма затрат на материалы на один год:

Sмм= 970 320*15=14 554 800 руб.

Таблица 3. Списочная численность работников.

№ п/п	Категории работников	Количество, чел.
1	Административно – управленческий персонал	2
2	Численность управленческих работников и специалистов цеха по изготовлению конструкций	4
3	Численность управленческих специалистов проектно – сметного бюро	3
4	Численность управленческих работников и специалистов строительного участка	3
5	Начальник строительства	1
6	Численность строителей участка	20
7	Численность бухгалтеров	1
8	Подсобно – вспомогательных подразделений	5
	Всего работников:	40

Таблица 4. Расчет оплаты труда.

№ п/п	Категории работников	Сумма, руб.
1	Административно – управленческий персонал	50 000(х2)
2	Управленческие работники и специалисты цеха по изготовлению конструкций	25 000(х4)
3	Управленческие специалисты проектно – сметного бюро	15 000(х3)
4	Управленческие работники и специалисты строительного участка	15 000(х3)
5	Начальник строительства	20 000

6	Строители	10 000(х6)
7	Бухгалтер	15 000
8	Подсобно – вспомогательных подразделений	9 000(х5)
Всего ежемесячная зарплата: 330 000 руб.		

Годовая сумма оплаты труда + отчисление на социальные нужды:

Sот=330 000*12 +1 188 000=5 148 000 руб.

Таблица 5. Смета управленческих расходов.

Наименование	**Сумма, руб.**	**Выплаты**
Аренда помещения под офис	50 000	ежемесячно
Коммунальные услуги	10 000	ежемесячно
Канцелярские расходы	2 000	ежемесячно
Прочие расходы	2 000	ежемесячно
Непредвиденные расходы	5 000	ежемесячно
Всего: 69 000		

Годовая сумма управленческих расходов:

Sуп=69 000*12=828 000 руб.

Себестоимость:

Sсс=Sкв+Sмм+Sот+Sуп

=3 873 000+14 554 800+5 148 000+828 000=24 403 800руб.

Sпс= Sуп*5+ Sот*5+ Sмм*5+Sкв

=828 000*5+5 148 000*5+14 554 800*5+3 873 000=

=4 140 000+25 740 000+72 774 000+3 873 000=106 527 000 руб.

Себестоимость кв.м. СМР:

Sсмр=24 403 800/10200= 2 393 руб./кв.м.

Прибыль:

Sпр=Scc*0,22=5 368 836 руб. (с учетом рентабельности в 22%)

Отпускная цена:

Sот=Scc+Sпр=24 403 800+5 368 836=29 772 636 руб.

Планируемая стоимость кв. м.:

12413 руб/ кв. м. с учетом НДС (18%), стоимость повысится до 14 647 руб/ кв. м

Ожидаемая выручка-брутто (с НДС)=14647*10200=149 399 400 руб.

Sвб=149 399 400 руб.

Выручка:

Sв= Sвб-Sпс=149 399 400-106 527 000=42 872 400 руб.

Рентабельность:

Р= (Sпр/ Sв)*100%=(5 368 836/42 872 400)*100%=16%

Оценка рисков и защита от рисков:

Очень действенным инструментом защиты от рисков является работа по закону РФ ФЗ № 214 «О долевом строительстве».

Потребность в финансовых ресурсах составляет:

Sф=Sкп+Scc/4=3 873 000+24 403 800/4=9 973 950 руб.

Срок окупаемости 5лет (рис. 3).

Рис. 3. Срок окупаемости.

Социально-экономический эффект.

Успешная реализация предложенного проекта позволит обеспечить сельское население доступным жильем, что полностью отвечает тем целевым установкам, которые поставлены правительством РФ на период до 2025 года, а именно повышение качества жизни.

СЕКЦИЯ XI. Фундаментальные науки

Применение регулярной грамматики для управления перемещением колесного робота

ЛОКТИОНОВА Ольга Александровна
г. Москва, ГБОУ Лицей №1580, 11 класс

Научный руководитель:
Ткачев Сергей Борисович,
д.н., профессор, доцент кафедры
«Математическое моделирование»
МГТУ им. Н.Э. Баумана

A robot may not injure a human being or, through inaction, allow a human being to come to harm.

A robot must obey orders given it by human beings except where such orders would conflict with the First Law.

A robot must protect its own existence as long as such protection does not conflict with the First or Second Law.

Isaac Asimov, 1942[1]

Введение

Проблемы, связанные с безопасностью применения автономных мобильных роботов в различных производственных процессах, в настоящее время являются одними из важнейших. При

построении интеллектуальной системы управления автономным роботом требуется точно знать, какие варианты действий робота возможны в зависимости от поступающих в систему управления робота данных о внешней среде, и насколько опасным может быть поведение робота.

Один из возможных подходов – задание формальной и исчерпывающей системы правил поведения с использованием результатов теории формальных языков [2]. В качестве первого шага предлагается исследовать возможность использования регулярных грамматик и конечных автоматов [3].

Целью работы является исследование возможности использования регулярных грамматик для анализа возможного поведения робота при его движении в лабиринте, а также для управления безопасным перемещением колесного робота в лабиринте на основе информации, поступающей от внешних датчиков.

При выполнении проекта были выделены следующие учебные и исследовательские задачи:

- знакомство с основами теории регулярных языков и конечных автоматов;
- проведение информационного анализа процесса управления движением робота в лабиринте, выделение основных состояний робота, систематизация информации от различных датчиков;

- получение описания процесса функционирования робота в виде конечного автомата на основе результатов проведенного информационного анализа;
- описание регулярного языка, порождаемого полученным автоматом; содержательный анализ регулярного языка с точки зрения безопасного поведения робота;
- изготовление робота с использованием конструктора Lego и макета лабиринта с препятствиями;
- выбор регулятора для решения задач стабилизации движения вдоль препятствий;
- написание алгоритмов и подпрограмм для управления движением робота с использованием специализированной системы программирования;
- проведение практических испытаний робота с созданной системой управления при движении по лабиринту;
- анализ результатов.

Регулярные грамматики и регулярные языки.

Приведем, следуя [3], основные сведения о регулярных грамматиках и регулярных языках. Алфавит – это произвольное непустое конечное множество $V = \{a_1,..., a_n\}$, элементы которого называют буквами или символами**.**

Словом, или цепочкой в алфавите V называют произвольный кортеж из множества V^n (n-й декартовой степени алфавита V) для различных $n= 0,1,2, ...$Например, если $V= \{a, b, c\}$,

то (a), (b), (c), (a, b), (a, b, c), (c, b, a, a, c) и т.д. есть слова в *V*. При записи слов скобки и запятые часто опускают и, например, вместо (a, b, c) пишут abc. Вводят специальный объект – пустое слово λ, соответствующее кортежу нулевой длины.

Множество всех слов в алфавите *V* обозначают V.

Последнее есть объединение всех декартовых степеней множества *V*. Имеем

$$V = V^0 \cup V^1 \cup \ldots \cup V^n \cup \ldots$$

Языком в алфавите *V* называется произвольное подмножество множества *V*. Порождающая грамматика задается упорядоченной четверкой $G = (V, N, S, P)$, в которой:

V — алфавит, называемый терминальным алфавитом*;*

N — алфавит, называемый нетерминальным алфавитом**,** причем пересечение *V* и *N* пусто;

S — выделенный символ нетерминального алфавита, называемый аксиомой;

P — конечное множество правил вывода или продукций**.**

Каждое правило вывода является упорядоченной парой (α, β*)* цепочек в алфавите *V* объединенное с *N*, причем цепочка, а должна содержать вхождение хотя бы одного символа нетерминального алфавита. Цепочку α называют левой, цепочку β – правой частью правила вывода**.**

Правило вывода принято записывать в таком виде: $\alpha \rightarrow \beta$, разделяя левую и правую части „стрелкой", которая рассма-

тривается как „метасимвол" и не принадлежит ни одному из алфавитов грамматики.

Пример 1. Четверка

$G_0 = (\{a, b\}, \{S, A, B\}, S, \{S \to aA, A \to aB, B \to aB, A \to a, B \to b\})$

задает грамматику с терминальным алфавитом $V = \{a, b\}$, с нетерминальным алфавитом $N = \{S, A, B\}$, с аксиомой S и множеством правил вывода P, элементы которого перечислены в фигурных скобках после аксиомы.

Грамматику G называют регулярной грамматикой, если каждое правило грамматики имеет вид $A \to aB$ или $A \to a$, где a есть либо терминал, либо пустая цепочка (λ). Приведенная в примере 1 грамматика является регулярной.

Конечные автоматы (рис. 1).

Одной из наиболее важных задач, решаемых в теории формальных языков, является следующая: для заданной порождающей грамматики G с терминальным алфавитом V установить, принадлежит ли цепочка x в алфавите V языку, порождаемому грамматикой G.

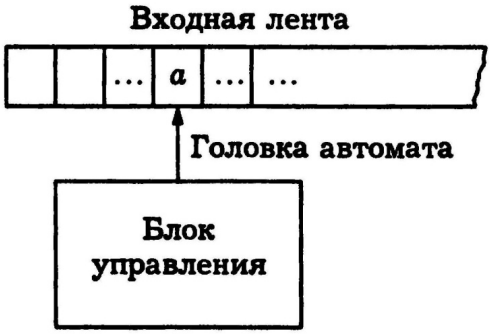


Рис. 1. Схема конечного автомата.

Для решения указанной проблемы используется математическая модель языка, называемая распознающей моделью. Для регулярных грамматик такие модели называют конечными автоматами. Конечный автомат неформально можно описать как устройство, состоящее из блока управления, входной ленты, и считывающей головки (рис. 1). На ленте, которая предполагается не ограниченной справа и разделена на ячейки, записываются цепочки во входном алфавите *V,* начиная с первой ячейки и без пропусков. Цепочку, записанную таким образом на входной ленте автомата, называют входной цепочкой. Блок управления может в каждый момент времени находиться в одном из конечного множества состояний *Q*, а головка может быть установлена в точности на одну ячейку входной ленты. Автомат, читая входную цепочку, работает по тактам.

Пусть в некоторый момент времени автомат обозревает какую-то ячейку ленты, а блок управления находится в некотором

состоянии $q \in Q$. В рамках данной работы рассматриваются только детерминированные конечные автоматы. В таких автоматах из каждого состояния по каждому символу терминального алфавита однозначно определен переход в новое состояние. Такт работы детерминированного конечного автомата состоит в том, что в зависимости от содержимого обозреваемой ячейки и состояния q автомат сдвигает головку вправо на одну ячейку, а его блок управления переходит в некоторое новое состояние r (возможно, что r совпадает q).

Среди состояний блока управления выделяют специальное состояние, называемое начальным**,** а также некоторое подмножество состояний, которые называются заключительными.

В начальный момент времени блок управления находится в начальном состоянии, головка обозревает первую ячейку ленты, в которой записан первый символ входной цепочки x. Читая цепочку x и делая один такт за другим, автомат, после того как он прочитает последнюю букву цепочки, окажется в каком-то состоянии q'. Если это состояние является заключительным, то тогда говорят, что автомат допустил цепочку x.

Конечные автоматы – это анализирующие модели для регулярных языков. Поведение детерминированого конечного автомата определяется его системой команд, в которой каждая команда задается записью

$$qa \to r, \qquad (1)$$

что означает „из состояния q по символу a $\in V$ можно перейти в состояние r" (возможно, что $q = r$).

Заметим, что конечный автомат допускает естественную интерпретацию в терминах размеченных ориентированных графов. Будем рассматривать состояния блока управления конечного автомата как вершины ориентированного графа, множество дуг которого определяется системой команд следующим образом: дуга ведет из состояния q в состояние r (для данных состояний q и r) тогда и только тогда, когда в системе команд автомата есть команда (1), т.е. возможен переход из состояния q в состояние r. Метка дуги (q, r) есть множество всех входных символов, по которым возможен переход из состояния q в состояние r''.

Язык $L(M)$ конечного автомата M есть множество всех цепочек во входном алфавите, читаемых в M на некотором пути из начального состояния в одно из заключительных состояний.

О языке $L(M)$ говорят, что он допускается конечным автоматом M. О любой цепочке, принадлежащей языку $L(M)$, говорят, что она допускается конечным автоматом M.

Пример 2. Зададим конечный автомат с входным алфавитом {0,1} и множеством состояний $\{q_0,q_1,q_2\}$ такой системой команд:

$$q_0\ 0 \to q_0,\ q_0\ 1 \to q_0,\ q_0\ 0 \to q_1,\ q_1\ 0 \to q_2,\ q_2\ 0 \to q_2,\ q_2\ 1 \to q_2.$$

По этой системе команд построим размеченный ориентированный граф, изображенный на рис. 2.

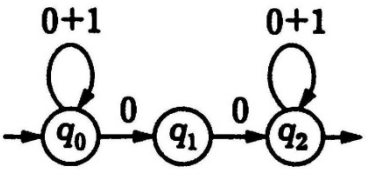


Рис. 2. Пример графа автомата.

Среди состояний автомата выделены начальное состояние q_0 и заключительное состояние q_2.

Для графа, изображенного на рис. 2, язык, допускаемый этим автоматом, можно описать следующим регулярным выражением:

$$L = (0+1)^*00(0+1)^*.$$

В данной формуле выражение (0+1)* обозначает множество цепочек, которые можно получить, проходя по дуге из q_0 в q_0 и читая либо 0, либо 1. Это может быть пустая цепочка λ, либо любая последовательность из нулей и единиц любой наперед заданной длины.

Самое короткое слово, допускаемое этим автоматом, есть 00. Допустимыми будут, например, цепочки 11**00**1 и 101**00**0111. Полужирным шрифтом выделена подцепочка 00, входящая в любое слово языка, допускаемого данным автоматом. Отметим, что второе слово можно прочитать, "путешествуя" по графу, и на другом пути. Результат будет таким: 1010**00**111.

Можно видеть, что множество слов языка, допускаемого этим конечным автоматом, бесконечно. Его можно словами описать так – «это множество таких цепочек из 0 и 1, что каждая цепочка содержит в обязательном порядке два символа 0 подряд».

Теорема 1.[3] Язык допускается конечным автоматом тогда и только тогда, когда он порождается регулярной грамматикой. Регулярную грамматику *G* и конечный автомат *M,* такие, что

$$L(G) = L(M),$$

иногда называют эквивалентными.

С этой точки зрения все равно, какой объект формировать – регулярную грамматику или конечный автомат. Часто использовать конечный автомат (в графовом представлении) удобнее.

Описание поведения робота конечным автоматом.

Рассмотрим LEGO-робота, оснащенного несколькими датчиками расстояния. Датчики показывают дистанцию до препятствия. Каждый датчик установлен под заданным углом к продольной оси робота и характеризуется направлением, в котором он проводит измерения, и дальностью действия. На роботе установлен блок управления, куда передаются показания датчиков, и в котором реализуется загруженный в него алгоритм управления.

Для построения грамматики, описывающей поведение робота, необходимо выделить терминальный и нетерминальный алфавиты, задать правила вывода и указать стартовую аксиому.

Воспользуемся подходом, предложенным в работе [2]. Поскольку поведение робота зависит от внешних сигналов, поступающих от установленных на нем датчиков, для каждого датчика построим отображение, которое показаниям каждого датчика ставит в соответствие некоторый символ терминального алфавита. Нетерминальные символы грамматики сформируем на основе анализа состояний робота (стоит, едет, поворачивает налево, поворачивает направо и т.д.).

Будем полагать, что робот работает по тактам. Под тактом будем понимать достаточно малый интервал времени, в течение которого на борту робота происходит обработка показаний датчиков, т.е. будет определен очередной символ входного алфавита.

В силу теоремы 1 для задания регулярной грамматики можно построить конечный автомат и проводить анализ на его основе. С формальной точки зрения поведение робота будет описываться последовательностью терминальных символов, формируемой датчиками. В рамках концепции конечного автомата можно полагать, что они записаны на входной ленте. Прочитанная часть ленты хранит "историю" поведения робота, а еще непрочитанная часть определяет его будущее поведение. Отметим, что непрочитанная часть в текущий момент неизвестна. Для того, чтобы конечный автомат не "зависал" в процессе обработки входной цепочки, он должен быть детерминированным, т.е. из каждого

состояния по каждому символу должен быть определен переход в некоторое состояние.

Отметим, что конечный автомат удобнее задавать в виде взвешенного ориентированного графа.

Рассмотрим простой пример, иллюстрирующий изложенные идеи.

Движение робота с одним датчиком вдоль стены.

Рассмотрим следующую задачу: робот должен проехать вдоль стены и остановиться перед препятствием (рис. 3).

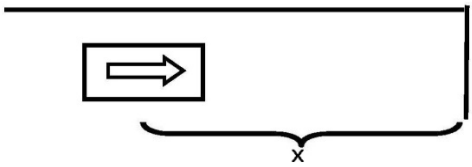


Рис. 3. Движение робота с одним датчиком вдоль стены.

Будем полагать, что робот имеет возможность двигаться параллельно стене на заданном расстоянии, препятствие находится впереди на расстоянии *x*. Робот имеет датчик расстояния, установленный на продольной оси робота.

Робот может двигаться с некоторой известной скоростью. При этом робот достаточно быстро разгоняется до заданной скорости и достаточно быстро останавливается, поэтому в качестве времени, необходимого для разгона и торможения, можно принять время одного такта, а проходимым при этом расстоянием пренебречь.

Указанные предположения достаточно хорошо соответствуют реальному поведению LEGO-робота при движении по шероховатой поверхности с небольшой скоростью, поскольку на роботе установлены достаточно мощные приводы ведущих колес, которые отвечают как за разгон, так и за торможение.

Пусть ΔT – длительность такта, т.е. интервал времени, через которое происходит опрос датчика. За это время при движении с постоянной скоростью робот проезжает расстояние Δx.

Зададим отображение, формирующее терминальный алфавит на основе дальности z, измеряемой датчиком:

$$s(z) = \begin{cases} a, & если \quad z \geq \Delta x; \\ b, & если \quad z < \Delta x, \end{cases}$$

Пусть в начальном состоянии $x > \Delta x > 0$. В качестве начального состояния q_0 выберем следующее – робот стоит, готовый ехать параллельно стене, удаление до препятствия больше Δx. В состоянии q_1 робот едет параллельно стене с заданной скоростью. В состоянии q_2 робот стоит перед препятствием. Состояние q_3 – аварийное завершение работы, робот останавливается и ждет внешней команды.

Желаемое поведение робота можно описать конечным автоматом, граф которого представлен на рис. 4.

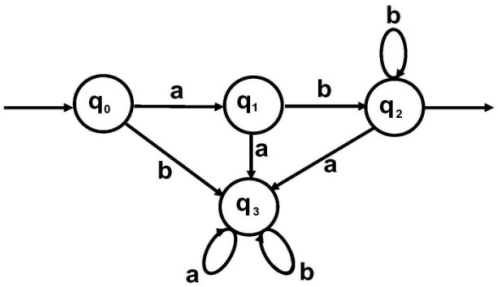


Рис. 4. Граф, описывающий поведение робота.

Формально полученный конечный автомат можно представить в следующем виде:

$$M = (V, Q, q_0, F, \delta),$$

где $V = \{a; b\}$ – входной алфавит,

$Q = \{q_0; q_1; q_2; q_3\}$ – множество состояний автомата,

q_0 – начальное состояние автомата,

$F = \{q_2\}$ – множество заключительных состояний автомата (состоит из одного элемента),

δ – система команд.

Система команд имеет следующий вид:

$$q_0\, a \to q_1,\ q_0\, b \to q_3,\ q_1\, a \to q_1,\ q_1\, b \to q_2,$$

$$q_2\, a \to q_3,\ q_2\, b \to q_2,\ q_3\, a \to q_3,\ q_3\, b \to q_3.$$

Содержательно поведение робота можно описать так: если в стартовом состоянии поступает символ a, то робот начинает двигаться, и движется до тех пор, пока на вход поступает символ a,

т.е. расстояние до препятствия больше, чем Δx. Как только поступает символ *b,* робот останавливается.

Язык, допускаемый построенным конечным автоматом, имеет вид: $a\ a^*\ b\ b^*$.

Учитывая, что автомат детерминированный, по входной цепочке можно однозначно определить соответствующий ей путь в автомате.

Можно видеть, что построенный автомат обеспечивает выполнение поставленной задачи и алгоритм, построенный на базе конечного автомата, обеспечивает безопасное функционирование робота.

Пример описания поведения автономного робота в лабиринте.

Примем следующие гипотезы о лабиринте, в котором перемещается робот:

- все углы прямые;
- отсутствуют щели в стенах лабиринта;
- размеры "выступов" больше некоторого характерного размера, определяемого габаритами робота и диаграммой направленности ультразвуковых датчиков.

Указанные гипотезы обусловлены особенностями конструкции робота и характеристиками установленных на него датчиков. Пример лабиринта с оговоренными гипотезами приведен на рис. 5.

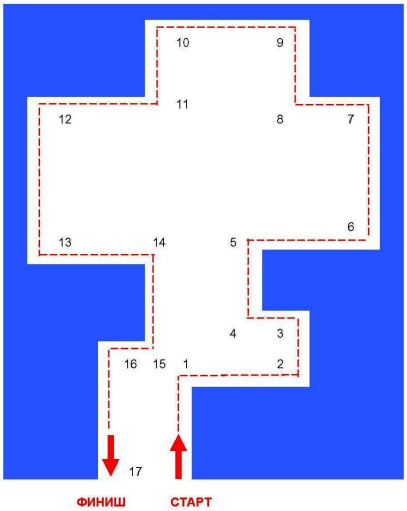


Рис. 5. Пример лабиринта.

Перейдем к рассмотрению более сложного варианта поведения робота. Рассмотрим автономного колесного робота, на котором установлены три датчика:

- ультразвуковой датчик расстояния, направленный вперед;
- ультразвуковой датчик расстояния, направленный вправо;
- сенсорный датчик касания.

Два первых датчика позволят решить задачу по обходу лабиринта по правилу правой руки, а третий датчик является сигнализатором выполнения задачи: при соприкосновении с препятствием, лежащим на выходе из лабиринта, робот издает звуковой сигнал и останавливается, прекратив работу программы.

Этот датчик также обеспечивает аварийную остановку при встрече с препятствием.

Введем следующие состояния робота: q_0 – стартовое состояние; q_1 – поворот налево на 90°; q_2 – коррекция влево; q_3 – коррекция вправо; q_4 – поворот направо на 90°; q_5 – остановка при выходе из лабиринта и подача звукового сигнала; q_6 – аварийная остановка при входе в лабиринт.

При коррекциях (состояния q_2, q_3, q_4) робот осуществляет движение вдоль препятствия по правилу правой руки, для синтеза управляющих воздействий используется PID-регулятор.

Будем предполагать, что робот может без аварийных ситуаций двигаться вдоль препятствия на безопасном расстоянии, а в самом лабиринте нет отдельно стоящих препятствий. Поэтому аварийная остановка возможна при входе в лабиринт.

Отметим, что состояние q_6 – поглощающее, из него нет выхода: после ошибки на входе не доверяем дальнейшим показаниям датчиков и предполагаем проведение анализа ситуации.

Проведем квантование показаний датчиков. Пусть L – базовое расстояние от препятствия до робота, которое обеспечивает движение вдоль препятствия на безопасном расстоянии. Безопасное расстояние, измеренное в направлении движения, также примем равным L. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты квантования показаний датчиков.

D_1	Дальномер, установленный по направлению движения робота	0	меньше L
		1	больше L
D_2	Дальномер, установленный справа	0	меньше L
		1	больше L, но меньше 3*L/2
		2	больше 3*L/2
D_3	Датчик касания (бампер)	0	нет касания
		1	есть касание

Выберем расстояние L равным габаритному параметру робота. В нашем случае L = 1,1 R, где R – максимальное расстояние граничной точки робота до центра вращения при повороте в проекции на горизонтальную плоскость. Для используемого робота L можно принять равной 20см. При таком расстоянии до стены или препятствия повороты безопасны. Расстояние 1,5L является индикатором поворота направо.

Для формирования терминального алфавита объединим показания датчиков (табл. 2). Указанная процедура необходима для того, чтобы остаться в рамках регулярной грамматики, где на каждом такте работы конечного автомата обрабатывается лишь один символ.

Таблица 2. Формирование терминального алфавита.

D_1	D_2	D_3	**Терминальный символ**
0	X	0	a
1	0	0	b
1	1	0	c
1	2	0	d
X	X	1	e

В таблице 2 символом X обозначено произвольное значение соответствующего датчика.

Таким образом, показания датчиков, определяющих переходы между состояниями робота: состояния $\{q_i\}$ робота определяются пятью наборами показаний датчиков, которые объединены вместе и обозначены буквами латинского алфавита $\{a, \ldots, e\}$ и представляют собой набор элементарных команд робота V (входной алфавит).

Для задания конечного автомата зададим комбинацию (табл. 3), описывающую переходы между состояниями в зависимости от символов, поступающих от датчиков.

Таблица 3. Комбинация, описывающая переходы между состояниями.

	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6
a	q_1	q_1	q_1	q_1	q_1	q_5	q_6

b	q_2	q_2	q_2	q_2	q_2	q_5	q_6
c	q_3	q_3	q_3	q_3	q_3	q_5	q_6
d	q_4	q_4	q_4	q_4	q_4	q_5	q_6
e	q_6	q_5	q_5	q_5	q_5	q_5	q_6

По таблице 3 составляем граф конечного автомата, описывающего поведение робота в лабиринте:

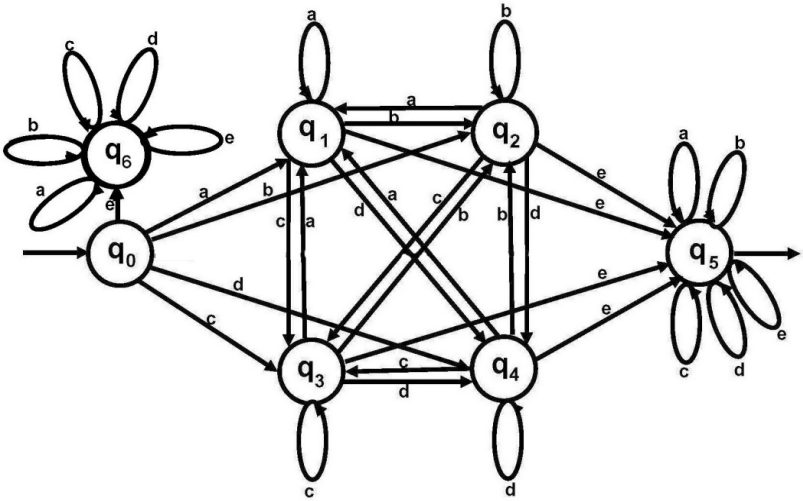


Рис. 6. Граф конечного автомата.

Отметим, что таблица 3 однозначно задает систему команд построенного автомата. Поэтому отдельно ее выписывать нет необходимости. Поскольку, как было отмечено выше, регулярные грамматики и конечные автоматы эквивалентны, то для построения системы управления роботом удобнее воспользоваться конечным автоматом.

Аналитическое исследование полученного конечного автомата достаточно затруднительно ввиду громоздкости выражения, описывающего язык, допускаемый этим автоматом.

Однако можно заметить, что состояние q_6 является поглощающим. Это означает, что возникающая при старте аварийная ситуация может быть разрешена только внешним вмешательством. Анализ состояния q_5 также не вызывает трудностей.

В силу особенностей построенного автомата его поведение определяется переходами между состояниями q_1, q_2, q_3 и q_4. Здесь имеются контуры, однократный проход по которым вполне описывает возможное поведение конечного автомата.

Например, переходы, заданные командами

$$q_1\, a \to q_1\, b \to q_2\, b \to q_2\, d \to q_4\, d \to q_4\, c \to q_3\, c \to q_3\, a \to q_1$$

можно интерпретировать следующим образом: робот совершает поворот налево на 90° , затем - два такта движения вдоль стены с коррекцией влево, затем - двойной поворот направо на 90°, затем - два такта движения вдоль стены с коррекцией вправо, затем робот совершает поворот налево на 90° и возвращается в состояние q_1.

Аналогично можно провести анализ всех остальных контуров и убедиться, что язык, допускаемый построенным конечным автоматом, обеспечивает безопасное поведение робота и позволяет реализовать поставленную задачу.

Описание практической реализации поведения робота в различных состояниях приведено в Приложении 1.

Реализация алгоритмов управления.

Для реализации движения вдоль препятствия был реализован ПД-регулятор [4].

В задачах автоматического регулирования управляющее воздействие *u(t)* обычно является функцией динамической ошибки – отклонения *e(t)* регулируемой величины x*(t)* от ее заданного значения $x_0(t)$:

$$e(t)=x_0(t)-x(t).$$

Пропорциональный регулятор – это устройство, оказывающее управляющее воздействие на объект пропорционально его отклонению от заданного состояния:

$$u_0(t)=k\,e.$$

Здесь k – это коэффициент усиления регулятора.

Таким образом, пропорциональная часть управляющего воздействия в нашей задаче имеет вид:

$$u=k\,(S_1 - L),$$

где S_1 – расстояние до стенки в настоящий момент времени, которое показывает датчик.

Дифференциальная составляющая пропорциональна темпу изменения отклонения регулируемой величины и предназначена для противодействия отклонениям от целевого значения, которые прогнозируются в будущем. Отклонения могут быть вызваны

внешними возмущениями или запаздыванием воздействия регулятора на систему.

Известно, что скорость робота находится как $v = \Delta S/ \Delta t$, где ΔS – изменение расстояния за промежуток времени Δt. Определим дифференциальную составляющую через скорость отклонения робота от заданного положения:

$$u_d = k\,(s_1 - s_{old})/\,\Delta t,$$

где S_1 – текущее расстояние до стенки, s_{old} – расстояние на предыдущем шаге. Поскольку замеры производятся через равные промежутки времени, то Δt можно принять за константу, взяв $k_2 = k\,\Delta t$. Тогда

$$u_d = k_2\,(s_1 - s_{old}).$$

Таким образом, ПД – регулятор, описывается формулой из двух слагаемых

$$u = k_1\,(s_1 - L) + k_2\,(s_1 - s_{old}).$$

Для окончательной стабилизации робота следует ввести защиту от помех. В силу особенностей работы ультразвукового датчика сигнал время от времени не попадает на глазок-приемник и, в результате, не всегда поступают адекватные значения, что может внести серьезные возмущения в алгоритм управления. Например, небольшая щель в стене для робота выглядит целым проемом. Так как требования к скорости невысоки, можно несколько замедлить реакцию датчика на изменения расстояния, установив программную

фильтрацию его значений. Простейшая реализация такого фильтра состоит в усреднении очередного показания и предыдущего отфильтрованного значения:

$$S_{new} = (S_{new} + S_1)/2.$$

Среднее арифметическое несколько сглаживает резкие скачки показаний датчика. Во всех формулах вместо S_1 будет использоваться отфильтрованное значение S_{new}. Однако и этого может не хватить при слишком резких изменениях. Тогда следует ввести весовые коэффициенты c_1 и c_2 для усредненной и новой величины:

$$S_{new} = (c_1 S_{new} + c_2 S_1)/(c_1 + c_2),$$

$$S_{new} = c_1 S_{new}/(c_1 + c_2) + c_2 S_1/(c_1 + c_2).$$

Сумма полученных коэффициентов равна 1. Поэтому заменив их на a и на $1 – a$, получим

$$Snew = a\ Snew + (1\text{-}a)\ S1.$$

Подбирая значение a, можно регулировать степень фильтрации. По графику зависимости результатов фильтрации показаний ультразвукового датчика с различными коэффициентами, представленному ниже (рис. 7), можно видеть, что при малых значениях параметра фильтрация происходит эффективнее.

Фильтрация данных становится особенно актуальной, если на их основе требуется принимать решение о дальнейших действиях в

долгосрочной перспективе. Например, увидев проем, остановиться или повернуть назад. Достаточно одной помехи, чтобы робот остановился не в том месте. Поэтому фильтры, хотя и затормаживают реакцию робота, но делают ее более стабильной и предсказуемой.

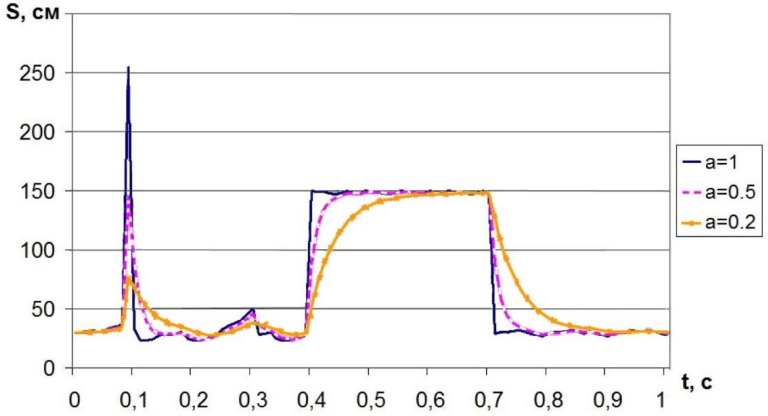


Рис. 7. График результатов фильтрации.

Заключение.

В результате проведенных исследований предложена методика проектирования системы управления мобильным колесным роботом, основанная на применении теории регулярных грамматик и конечных автоматов.

Данная методика позволяет провести анализ возможных вариантов поведения робота и убедиться в правильности созданного алгоритма управления, а также исследовать возможные варианты поведения робота.

Практическая реализация предложенного подхода оказалась вполне удачной. Эксперименты показали, что робот успешно преодолевает лабиринт.

Литература:

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Three_Laws_of_Robotics

2. Dantam N., Kolhe P., Stilman M. The Motion Grammar for Physical Human-Robot Games // IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2011. Pp. 5463 - 5469. DOI: 10.1109/ICRA.2011.5980468.

3. Белоусов А.И., Ткачев С.Б. Дискретная математика. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2006 г. 744 с.

4. Филиппов С.А. Робототехника для детей и родителей. – СПб.: Наука, 2013г. 319 с.

Приложение 1. Описание практической реализации.

В соответсвии с табл. 3 необходимо сопоставить реальное поведение робота состояниям q_i, i = 0, ... ,6, созданного конечного автомата. В состояниях q_0 и q_6 робот неподвижнен, поэтому их описание опускаем.

1. Рассмотрим состояние q_1 (поворот налево на 90°) (рис. 1).

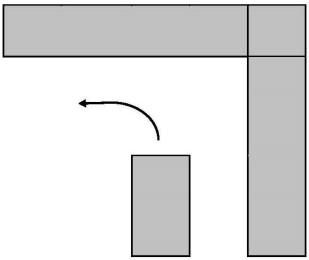


Рис. 1. Поворот налево на 90°.

Поскольку программируется движение робота по обходу лабиринта по правилу правой руки, робот должен выполнить поворот налево на 90 градусов около точки, лежащей посередине ведущих колес. Например, такая ситуация (рис. 1) возникает при попадании во внутренний угол (показания датчиков формируют символ *a*).

С учетом калибровки (реального сцепления колес с полом) решение выглядит следующим образом:

```
motor[leftMotor] = -50;
motor[rightMotor] = 50;
wait1Msec(530);
```

2. Рассмотрим состояния q_2, q_3.(Коррекция влево или вправо) (рис. 2).

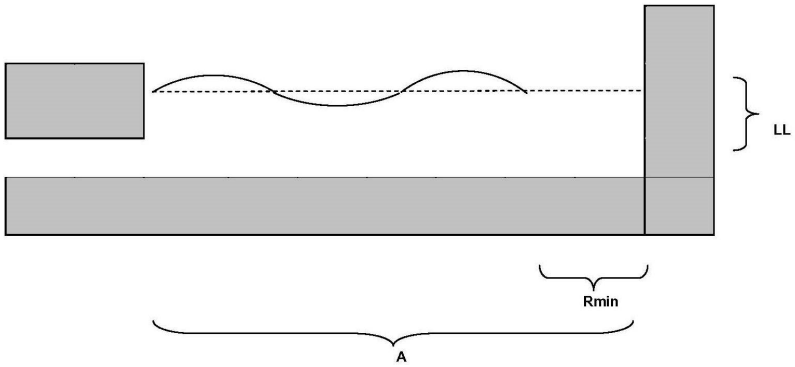


Рис. 2. Коррекция влево или вправо.

Воспользуемся описанным в [4] порядком движения вдоль стены с использованием ПД-регулятора. При коррекциях вправо или влево траектория будет представлять волнистую линию, лежащую в окрестности прямой, проходящей на заданном расстоянии от стены (параметр LL).

Решение:

```
float u, k1=2, k2=10, LL=22;
int v=50, Sold, L, Snew;
Sold=L=SensorValue[S3];
while(SensorValue[S1]=0)
{

while(SensorValue[S4]>LL) {

if(SensorValue[S1]=0) {

Snew=SensorValue[S3];
```

```
u = k1*(Snew-L) + k2*(Snew-Sold) ;
Sold=Snew;
}
motor[leftMotor]=v+u;
motor[rightMotor]=v-u;
waitlMsec(l);
}
```

3. Состояние q_4 (поворот направо) (рис. 3).

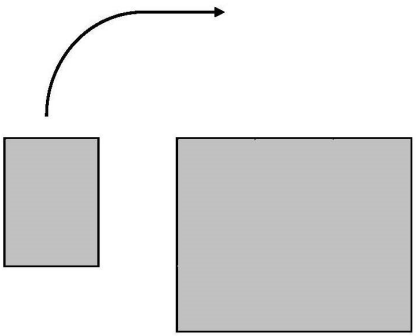


Рис. 3. Поворот направо.

Здесь совершается объезд препятствия по правилу правой руки, т.е. с поворотом направо (рис. 3). Поворот осуществляем по дуге окружности с центром в левой верхней точке препятствия:

```
float u, k3=3/2;
int v=50, d=8, Sold, L, Snew;
Sold=L=SensorValue[S1];
while(SensorValue[S1]=0)
```

```
{
while(SensorValue[S4]>LL) {
if(SensorValue[S1]=0) {
Snew=SensorValue[S3];

if (SensorValue[SI]>L*k3) {
u=v*d/L;
Sold=L*k3;
}
else {
}
motor[leftMotor]=v+u;
motor[rihtMotor]=v-u;
waitlMsec(l);
}
```

4. Состояние q_5 (заключительное состояние).

Состояние q_5 определяется значением переменной S1, соответствующей датчику касания: при наличии касания подается звуковой сигнал и прекращается работа программы.

```
while(SensorValue[S1]=1) {
playSound(soundBeepBeep);
playSound(soundBeepBeep);
playSound(soundBeepBeep);
wait1Msec(500);
stopTask(main);
}
```

Изучение влияния структуры глобулярного фотонного кристалла (ГФК) на его оптические характеристики

РАДЬКО Петр Игоревич
г. Москва, ГБОУ СОШ №446
с углубленным изучением
экологии, 11 класс

Научный руководитель:
Юрасов Николай Ильич,
к.н., доцент кафедры «Физика»
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Введение. Термин “фотонные кристаллы” был введен в работе Э. Яблоновича [1] и относится к периодическим структурам, в которых формируются фотонные запрещенные зоны. Различные оптические структуры: дифракционные решетки, интерференционные фильтры, многослойные диэлектрические зеркала, также относятся к фотонным кристаллам.

На их основе разрабатываются новые оптические устройства: высокодобротные резонаторы, спектральные фильтры, селективные зеркала, нелинейные оптические элементы [2]. Особый интерес представляют трехмерные фотонные кристаллы, построенные из глобул одинакового диаметра [3]. Такие структуры называются глобулярными фотонными кристаллами (далее — ГФК).

Постановка проблемы. В настоящее время исследования во многих областях проводятся с широким применением вынужденного излучения на p-n переходах (светодиоды). Точность

получаемых результатов зависит от ширины спектра излучения. Поэтому актуальны способы повышения монохроматичности излучения.

Так как ГФК в зависимости от длины волны и строения кристалла по-разному отражают свет [4], то возможно избирательно управлять оптическими характеристиками кристалла.

Такие свойства ГФК позволяют использовать их в системах со светодиодами при получении монохроматического излучения с меньшей шириной спектра и для создания зеркал с избирательным отражением света.

Цель работы. Целью работы являлось исследование влияния структуры ГФК (пористости и диаметра глобул) на его оптические характеристики: эффективный коэффициент преломления, коэффициенты отражения и пропускания в зависимости от длины волны света, что даст возможность предсказывать отражательную способность кристаллов.

Постановка задачи:

1. Провести моделирование сечения ячейки ГФК с гранецентрированной кристаллической решеткой в направлениях <111>, <100>, <110>.
2. Вывести зависимости коэффициента отражения и пропускания от пористости и диаметра глобулы ГФК.
3. Разработать экспериментальную установку и провести опытное исследование оптических характеристик ГФК.

4. Сравнить результаты экспериментов с результатами, предсказанными на основе математического моделирования.

Содержание работы:

1 этап. Моделирование сечения ячейки ГФК с гранецентрированной кристаллической решеткой в направлениях <111>, <100>, <110>.

Обычно, в качестве глобулярных фотонных кристаллов используются матрицы искусственных опалов, состоящие из плотноупакованных глобул аморфного кремнезёма диаметром около 200 нм [3]. Структура природного опала представляет собой гранецентрированную кристаллическую решетку (далее — ГЦК решетка), образованную близкими по диаметру глобулами кремнезема (SiO_2).

В соответствии со строением ГЦК решетки были выделены 3 сечения. Это сечения в плоскостях <111>, <100>, <110>.

В направлении <111> обычно проводится заполнение опаловой матрицы различными нановключениями для получения новых свойств, например: сегнетоэлектрических, ферромагнических, инверсной заселенности.

Для визуализации трехмерной модели ячейки ГФК и выбранных сечений использовалась программная система трехмерной графики Autodesk 3ds Max. Сначала была реализована модель ячейки и ее сечений в трехмерном виде (рис. 1).

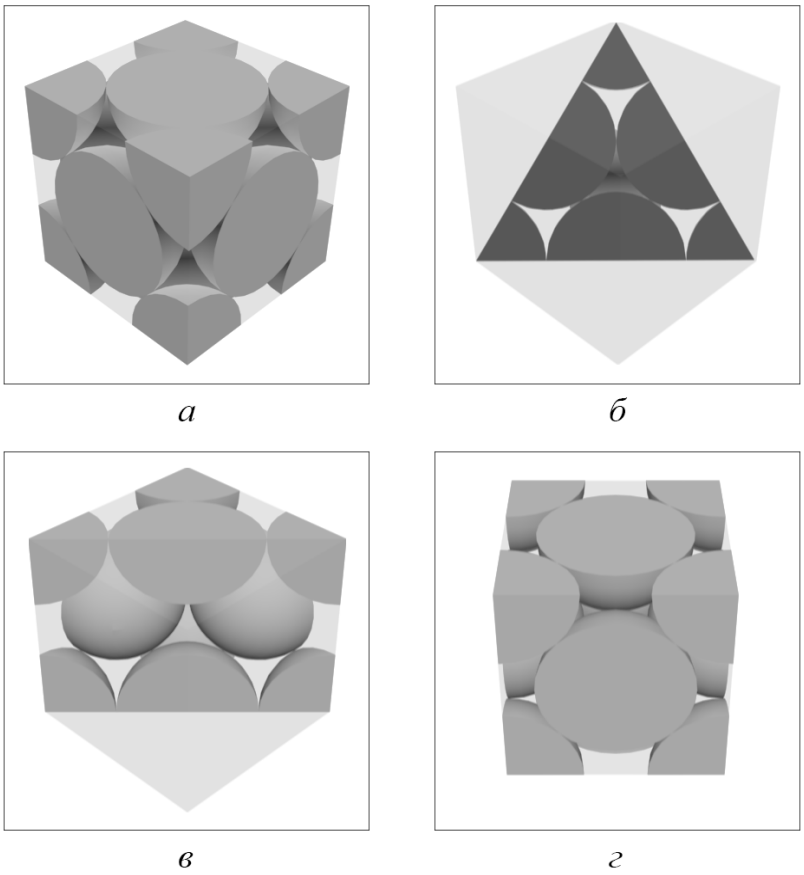


Рис. 1. Основные сечения элементарной ячейки (а) в плоскостях: <111> (б); <110> (в); <100> (г), полученные в редакторе трехмерной графики Autodesk 3ds Max.

На основе анализа полученных сечений были построены их математические модели в системе компьютерной алгебры Maple. Результаты моделирования для всех трех сечений представлены на рис. 2.

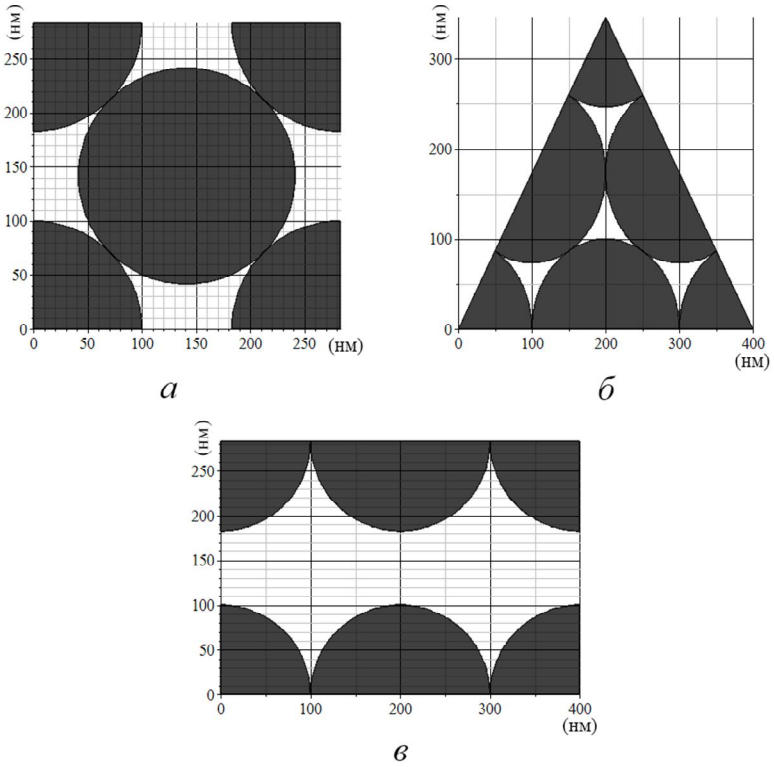


Рис. 2. Рассчитанные сечения в плоскостях: 100 (а); 111 (б); 110 (в). Единицы измерения – нанометры.

2 этап. Вывод зависимости коэффициента отражения и пропускания от пористости и диаметра глобулы ГФК.

Коэффициент преломления воздуха (n_1) принимается за единицу [4]. Сначала были получены графики зависимости коэффициента преломления света в среде ГФК от разных значений пористости. Минимальное значение пористости (η_0)

приблизительно равно 0.26 (кубическая плотная упаковка), если считать глобулы сплошными [5]. На самом деле истинная пористость выше, так как глобулы тоже являются структурами с ГЦК решеткой. Таким образом, настоящее значение пористости (η_{max}) можно высчитать по следующей формуле:

$$\eta_{max} = \eta_0\left(1 - \eta_0\right) + \eta_0 \approx 0.45 \qquad (1)$$

Коэффициент преломления ГФК (n_{eff}) зависит от относительной диэлектрической проницаемости (ε_{eff}):

$$\varepsilon_{eff} = n_{eff}^{2} \qquad (2)$$

С учетом коэффициента преломления оксида кремния n_{SiO2}:

$$n_{eff} = \sqrt{\varepsilon_{eff}} = \sqrt{n_{SiO2}^{2} \cdot \left(1 - \eta_0 - \Delta\eta\right) + \left(\eta_0 + \Delta\eta\right)} \qquad \Delta\eta \in \left[\eta_0, \eta_{max}\right] \qquad (3)$$

График этой функции приведен на рис. 3 (n_{SiO2} = 1.47 (x)).

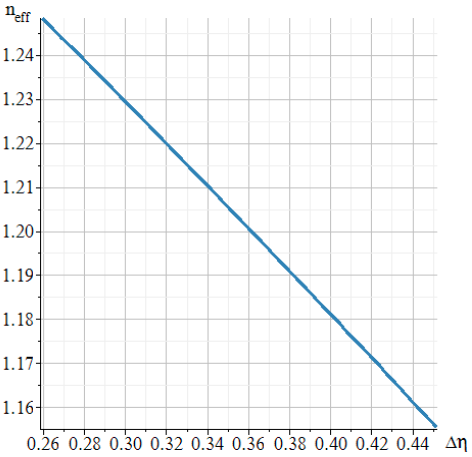


Рис. 3. Зависимость коэффициента преломления (n_{eff}) от пористости ($\Delta\eta$) ГФК.

В первом приближении коэффициенты отражения (R) и пропускания (T) рассчитываются для ГФК, как однородной среды, то есть без учета внутренней структуры кристалла. При нормальном падении света расчет производится по формуле Френеля:

$$R = \left| \frac{n_{eff} - n_1}{n_{eff} + n_1} \right|^2 = \left| \frac{n_{eff} - 1}{n_{eff} + 1} \right|^2 \qquad (4)$$

С учетом формулы (3) получим зависимость коэффициента отражения от пористости ГФК:

$$R = \left| \frac{\sqrt{n_{SiO2}{}^2 \cdot (1 - \eta_0 - \Delta\eta) + (\eta_0 + \Delta\eta)} - 1}{\sqrt{n_{SiO2}{}^2 \cdot (1 - \eta_0 - \Delta\eta) + (\eta_0 + \Delta\eta)} + 1} \right|^2 \qquad (5)$$

$$\Delta\eta \in [\eta_0, \eta_{max}]$$

График, отражающий эту зависимость, проведен на рис. 4.

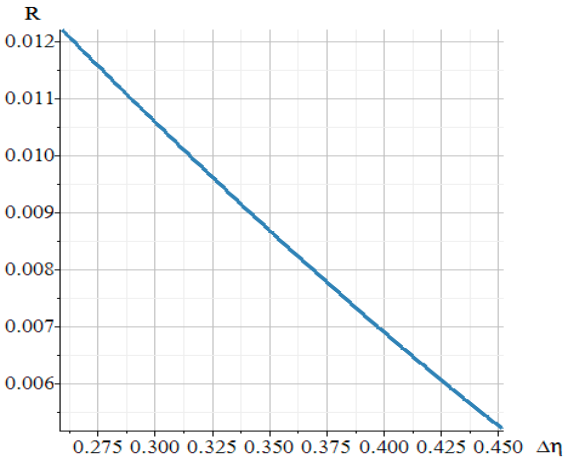


Рис. 4. Зависимость коэффициента отражения (R) от пористости ($\Delta\eta$) ГФК.

Коэффициент пропускания можно высчитать по следующей формуле:

$$T = 1 - R \qquad (6)$$

График, отражающий эту зависимость, проведен на рис. 5.

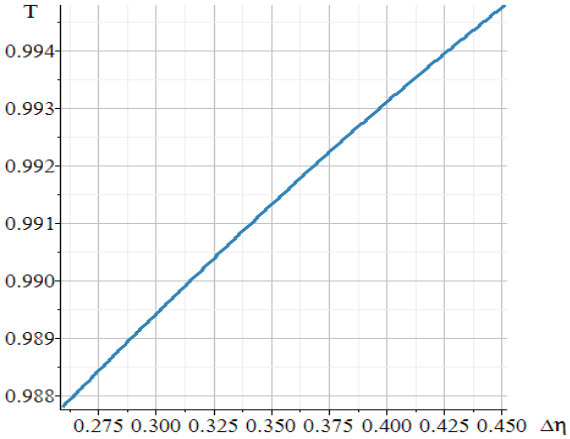


Рис. 5. Зависимость коэффициента пропускания (T) от пористости (Δη) ГФК.

Во втором приближении в математической модели были дополнительно учтены диаметр глобулы (D) и длина волны (λ) согласно работе [7]. Коэффициент отражения зависит от промежуточных коэффициентов (r_1 и r_2).

$$r = r_1 + \frac{r_2 \left(1 - r_1\right)^2 e^{i\alpha}}{1 - r_1 r_2 e^{i\alpha}}, \qquad (7)$$

$$\text{где } \alpha = 4\pi \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{n_{eff} \cdot D}{\lambda}$$

Множитель $\left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{1}{2}}$ учитывает межплоскостное расстояние в направлении <111>. В итоге квадрат модуля r, т.е.

$$R = |r|^2 = r\,r^*, \qquad (8)$$

где $r^* = r_1 + \dfrac{r_2\left(1 - r_1\right)^2 e^{i\alpha}}{1 - r_1 r_2 e^{i\alpha}}$,

был рассчитан в системе компьютерной алгебры Maple.

Результаты числового расчета R приведены на графиках (рис. 6,7). Они отражают зависимость коэффициента отражения от длины волны, пористости и диаметра глобул.

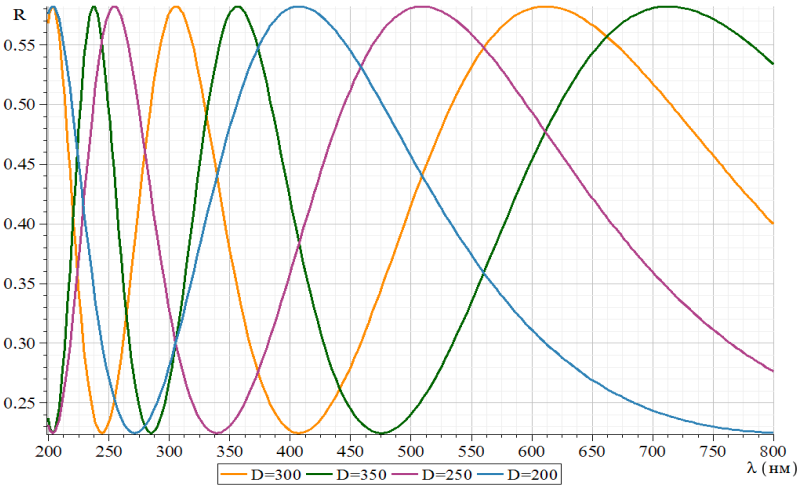


Рис. 6. Зависимость коэффициента отражения (R) от длины волны (λ) и диаметра глобул (D) для идеального ГФК ($\Delta\eta = 0.26$).

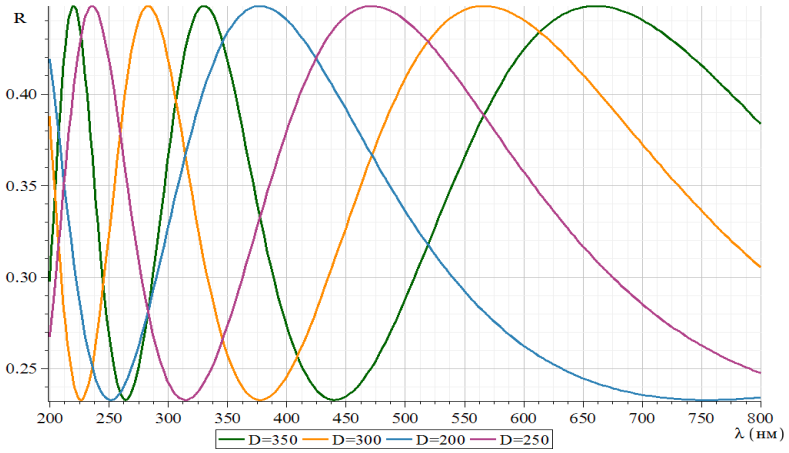


Рис. 7. Зависимость коэффициента отражения (R) от длины волны (λ) и диаметра глобул (D) для ГФК с учетом пористости глобул ($\Delta\eta = 0.45$).

Графики аналогичных зависимостей коэффициента пропускания толстого ГФК приведены на рис. 8,9.

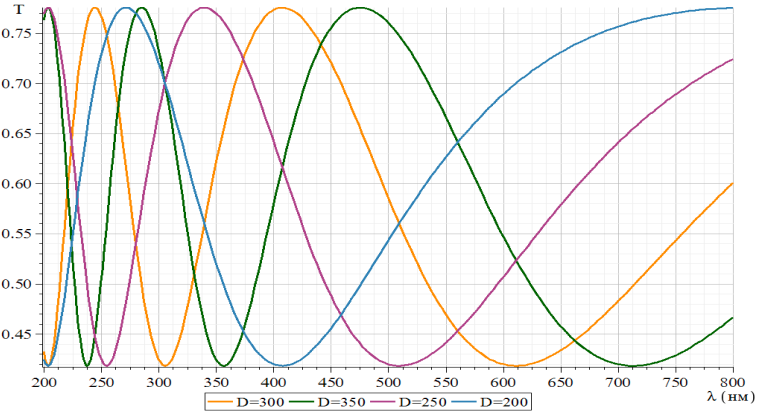


Рис. 8. Зависимость коэффициента пропускания (T) от длины волны (λ) и диаметра глобул (D) для идеального ГФК (Δη = 0.26).

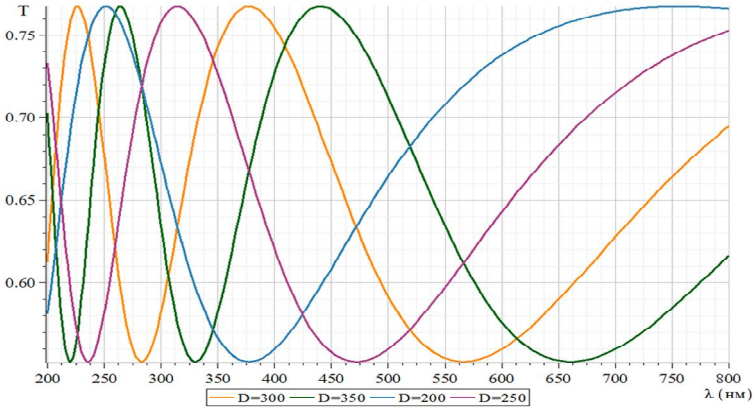


Рис. 9. Зависимость коэффициента пропускания (T) от длины волны (λ) и диаметра глобул (D) для ГФК с учетом пористости глобул (Δη = 0.45).

3 этап. Разработка экспериментальной установки и проведение практических исследований оптических характеристик ГФК.

Для проверки полученных на этапе математического моделирования зависимостей коэффициента отражения и пропускания от пористости, длины волны и диаметра глобул ГФК была разработана экспериментальная установка. Принципиальная схема приведена на рис. 10.

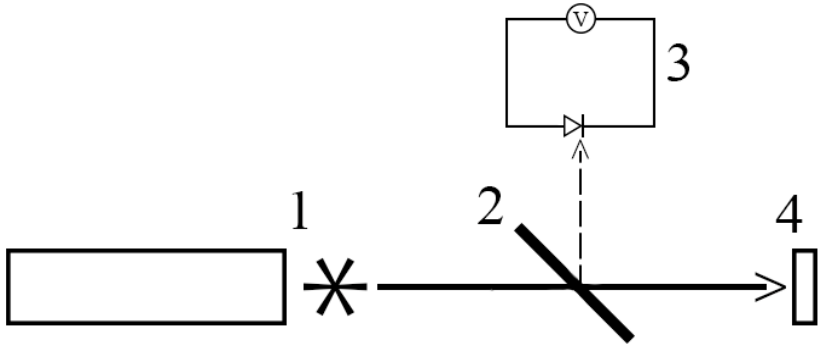


Рис. 10. Схема установки для замера коэффициента отражения света:
1 – источник монохроматического излучения (лазер); 2 – стеклянная пластина; 3 – фотодетектор; 4 – исследуемый образец ГФК.

Использованное оборудование: лазеры (1) Green Dragon 500mW (500мВ, 532нм) и Red Dragon 2000 (2000мВ, 650нм); стеклянная пластина (2), расположенная таким образом, что угол падения (α) луча лазера составляет 45°; устройство для регистрации фотонов (3) на основе вентильного фотоэффекта; образец (4) ГФК на опаловой основе с диаметром глобул 290нм и пористостью 0.26 (изготовитель: ЦНИТИ “Техномаш”).

Фотография установки приведена на рис. 11.

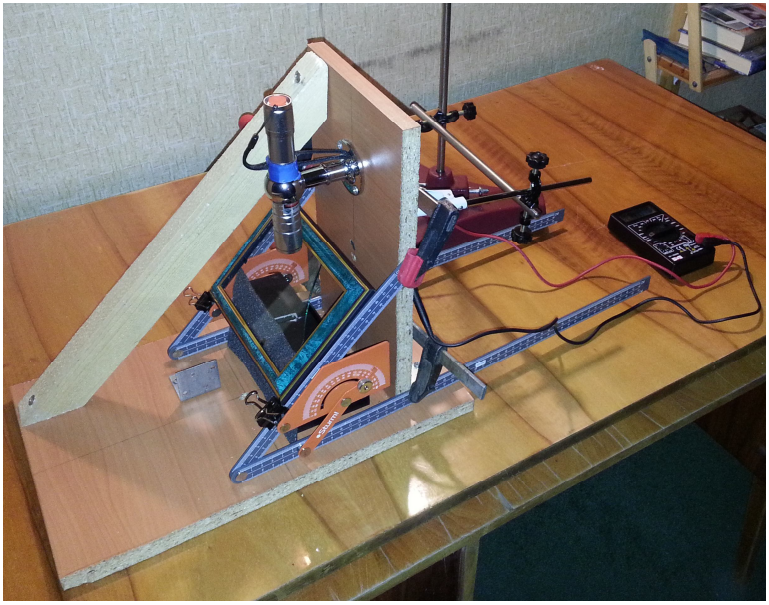


Рис. 11. Экспериментальная установка.

Данные для расчета коэффициента преломления (n_c) стеклянной пластины были установлены экспериментально и с использованием закона Снеллиуса рассчитаны по формуле:

$$n_c = \sqrt{1 + \left(\frac{d}{b}\right)^2}\,\sin(\alpha), \qquad (9)$$

где d – толщина стеклянной пластины (1.2мм ± 0.5мм); b – расстояние между нормалью, проведенной в место входа луча в пластину, и нормалью, проведенной в место выхода луча из

пластины (1.5мм ± 0.5мм); α – угол падения луча лазера на стеклянную пластинку ($80^{\circ} \pm 1^{\circ}$). В итоге была получена следующая оценка для показателя преломления:

$$n_c \approx 1.57 \pm 0.01$$

Для расчета экспериментального коэффициента отражения образца ($R_э$) ГФК необходимо знать коэффициент отражения стекла (R_c). Он выводится с использованием формул Френеля для s- и p-поляризаций света при угле падения луча лазера на стеклянную пластинку в 45°:

$$r_s := \frac{\sqrt{1.5^2 - \sin^2\left(\frac{\pi}{4}\right)} - \cos^2\left(\frac{\pi}{4}\right)}{\sqrt{1.5^2 - \sin^2\left(\frac{\pi}{4}\right)} + \cos^2\left(\frac{\pi}{4}\right)} \qquad (10)$$

$$r_p := r_s \frac{\cos\left(\frac{\pi}{4}\right)\sqrt{1.5^2 - \sin^2\left(\frac{\pi}{4}\right)} - \sin^2\left(\frac{\pi}{4}\right)}{\cos\left(\frac{\pi}{4}\right)\sqrt{1.5^2 - \sin^2\left(\frac{\pi}{4}\right)} + \sin^2\left(\frac{\pi}{4}\right)}$$

В результате, коэффициент отражения может быть найден как корень квадратный из суммы амплитудных коэффициентов в четвертой степени:

$$R_c = \sqrt{|r_s|^4 + |r_p|^4} \approx 0.20 \qquad (11)$$

В ходе экспериментов были проведены замеры уровня освещенности на месте нахождения образца ГФК (E_{v1}) и отраженного от него света (E_{v2}) для разной длины волны (532 и 650 нм). Таким образом, коэффициент отражения образца ($R_э$) по следующей формуле:

$$R_э = \frac{E_{v2}}{E_{v1} \cdot R_c} \qquad (12)$$

Расчет среднего значения $R_э$ на основе экспериментальных данных приведен в таблице 1.

Таблица 1. Расчет среднего значения экспериментального коэффициента отражения $R_э$.

	λ = 532 нм		λ = 650 нм	
№	**Ev1**	**Ev2**	**Ev1**	**Ev2**
1	457	0,4	434	5,80
2	461	0,3	431	7,2
3	467	0,4	411	6,1
4	473	0,3	406	6
5	485	0,4	401	6
Среднее	**468,6**	**0,36**	**416,6**	**6,22**
Rэ	**0,004**		**0,075**	

Погрешность расчета среднего значения $R_э$ составляет ±10%.

4 этап. Сопоставление результатов эксперимента с предсказаниями математического моделирования.

Ниже на рис. 12 представлено сравнение теоретических и экспериментальных результатов с помощью графических зависимостей:

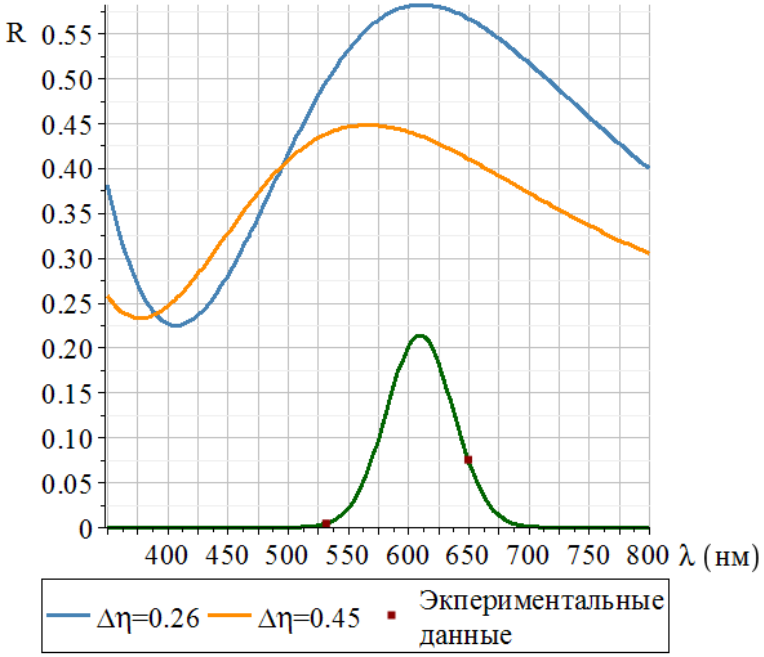


Рис. 12. Сравнение теории и эксперимента.

Экспериментальные точки нанесены на функцию Гаусса. На основании данных, отображенных на рис. 12, можно сделать следующие обобщения:

1. Положение максимума коэффициента отражения в теории и эксперименте наилучшим образом соответствует значению пористости, равному 0.26.
2. Коэффициент отражения в эксперименте оказался меньше расчетного. Это можно объяснить тем, что качество поверхности образца ГФК отличается от расчетного, и проведенное сравнение указывает на заметное количество поверхностных дефектов, которые размывают брэгговский резонанс (максимум отражения).
3. Внутренние поры глобул, по-видимому, не оказывают существенного влияния на брэгговское отражение.

Выводы:

1. Проведена трехмерная визуализация ячейки ГФК и выбранных сечений с помощью программной системы трехмерной графики Autodesk 3ds Max.
2. На основе анализа полученных сечений построены их математические модели в системе компьютерной алгебры Maple. На основе литературных данных построена программа для расчета зависимости коэффициента отражения от пористости, длины волны и диаметра глобулы при нормальном падении света:
3. Разработана экспериментальная установка для измерения коэффициента отражения ГФК и получены данные, подтверждающие выведенную теоретическую зависимость.

4. На основе сравнения расчета и эксперимента получена методика анализа качества поверхности реального ГФК через известный коэффициент отражения сплошной среды.

Перспективы дальнейших исследований.

Дальнейшим направлением исследований в этой области является тестирование образцов ГФК с различной структурой с целью оценки качества их поверхности и дополнительной проверки математической модели.

Комплексное решение поставленной задачи позволит с высокой точностью рассчитывать значения коэффициентов отражения и пропускания для получения ГФК с необходимыми параметрами. Это обеспечит получение монохроматического излучения с меньшей шириной спектра излучения в системах со светодиодами и позволит создавать зеркала с избирательным отражением света.

Литература:

1. E. Yablonovitch, «Inhibited Spontaneous Emission in Solid-State Physics and Electronics,» *Phys. Rev. Lett.,* т. 58, № 20, pp. 2059-2062, 18 Май 1987.
2. E. Yalonovitch и T. J. Gmitter, «Photonic Band Structure: The Face-Centered-Cubic Case Employing Nonspherical Atoms,» *Phys. Rev. Lett.,* т. 67, № 17, pp. 2295-2298, 21 Октябрь 1991.

3 В. С. Горелик, «Оптика глобулярных фотонных кристаллов,» *Квантовая Электроника,* т. 37, № 5, p. 410, Май 2007.

4 Ю. Я. Голубь, В. С. Горелик, Л. Злобина, В. Моисеенко и П. Свербиль, Необратимые процессы в природе и технике, А. Морозов и В. Горелик, Ред., Москва: ФИАН, 2005.

5 Г. Мякишев и А. Синяков, Физика. Оптика. Квантовая физика. 11класс., 2 ред., Дрофа, 2002, p. 56.

6 Л. Д. Ландау, А. И. Ахиезер и Е. М. Лившиц, Курс общей физики. Механика и молекулярная физика, КДУ, 2009, p. 126.

7 Н. И. Юрасов и И. И. Юрасова, «Влияние углеродной пленочной наноструктуры на коэффициент отражения от фотонного кристалла из искусственного опала,» *Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана,* № 44, pp. 30-35, 2012.

СЕКЦИЯ XII. Конструкторская секция

Модернизация узла управления элеронами

ПЕТРОВА Анастасия Николаевна
г. Москва, ГБОУ Лицей №1568 им. Пабло Неруды, 11 класс

Научный руководитель:
Маркарова Маргарита Борисовна, преподаватель черчения, ГБОУ Лицей №1568 им. Пабло Неруды, г. Москва

Введение.

В современном мире с развитием новых технологий и получением новых знаний в различных областях науки, происходит постоянное совершенствование техники. Одной из значимых областей науки является аэрокосмическая промышленность, важной проблемой которой является обеспечение надежности и эффективности управления бортовыми устройствами путем улучшения системы управления летательных аппаратов. В данной работе представлена модернизация системы управления элеронами самолета и предложены варианты применения пьезоэлектрических двигателей в различных узлах самолета.

Поскольку процесс управления самолетом осуществляется пилотом, находящимся в кабине, а элероны и рули направления и высоты находятся на крыльях и хвостовом оперении, между этими участками должна иметься конструктивная связь. Она должна

обеспечить высокую надежность, легкость и эффективность управления положением самолета.

В системе управления элеронами самолета используется механизм триммерного эффекта, обеспечивающий снятие с командных рычагов летчика (при длительном неизменном их положении) балансировочных усилий загрузочных механизмов. Механизм триммерного эффекта (МТЭ) триммирует усилия на рычагах управления в длительном установившемся полете в необратимую бустерную (гидравлическую) систему управления. Простейший МТЭ представляет собой электромеханическое устройство, управляемое электрическим сигналом, подаваемым на электромотор актуатора МТЭ посредством нажатия лётчиком кнопки триммирования на ручке управления самолетом.

При перемещения штока актуатора механизма триммерного эффекта достигается ослабление или натяжение пружины механизма загрузки и снятия усилия или загрузки рычагов управления самолетом. В настоящий момент применяются электромеханические (на основе электродвигателя) МТЭ.

Целью проекта является улучшение системы управления элеронами самолета путем замены электромеханического актуатора механизма триммерного эффекта на актуатор с пьезоэлектрическим двигателем. Указанная замена обеспечит более высокую скорость срабатывания, прецизионное позиционирование штока, меньшую стоимость технического обслуживания и увеличение надежности в связи с отсутствием электрической обмотки. Главным

преимуществом является простота конструктивного исполнения и возможность управления выходной мощностью двигателя, создание универсального двигателя с возможностью выбора требуемой угловой частоты вращения и осевого момента выходного вала без применения редуктора.

Задачей проекта является исследование возможности применения пьезоэлектрического двигателя в актуаторе механизма триммерного эффекта. В работе предлагается замена электродвигателя электромеханизма типа МП10С на пьезоэлектрический двигатель, работающий на основе обратного пьезоэлектрического эффекта.

Преобразование в пьезоэлектрическом двигателе электрической энергии в механическую энергию вращательного движения происходит благодаря эффекту возникновения в пьезоэлектрических элементах двигателя механических деформаций при воздействии на них пульсирующих электрических полей. Принцип вращения пьезоэлектрического двигателя основан на приведении в движение ротора силами трения, создающимися при взаимодействии рабочего тела (РТ) с ротором. Траектория РТ задаётся набором пьезоэлектрических актюаторов. Деформация пьезоэлектрических актюаторов происходит в связи с подачей на пьезоэлектрические элементы напряжения, вызывающего продольную деформацию элементов. Ротор связан с валом шлицевым соединением. Преобразование вращательного движения в поступательное осуществляется при помощи передачи винт-

гайка. Таким образом, обеспечивается такой же принцип работы, как и в электромеханизме МП10С.

Объектом изучения является пьезоэлектрический двигатель, получивший широкое распространение в современной технике. Пьезоэлектрические двигатели обладают неоспоримыми преимуществами по сравнению с традиционными двигателями.

Актуальность работы обусловлена фактом возрастания интереса к использованию пьезоэлектрических двигателей в современной технике.

Цели:

- Приобретение опыта самостоятельного выполнения чертежей сборочных единиц, проектирования инженерных конструкций и использования программы «КОМПАС 3D».
- Совершенствование конструкторской подготовки, приобщение к инженерному творчеству.
- Исследование возможности замены гидравлических и электромеханических приводов (на основе электродвигателя) на пьезоэлектрические актуаторы.

Задачи:

- Исследование принципа обратного пьезоэлектрического эффекта и принципа работы двигателей на его основе.
- Проектирование сборочного чертежа актуатора с пьезоэлектрическим двигателем.

- Выполнение сборочных чертежей пьезоэлектрического актуатора
- Анализ конструкций и возможностей применения пьезоэлектрических двигателей в различных узлах самолета

Гипотеза:

Указанная замена обеспечит более высокую скорость срабатывания, упрощение конструктивного исполнения механизма триммерного эффекта, прецизионное позиционирование штока, меньшую стоимость технического обслуживания и увеличение надежности в связи с отсутствием электрической обмотки. Обеспечивается создание универсального двигателя с возможностью выбора требуемой угловой частоты вращения и осевого момента выходного вала без применения промежуточных механических звеньев (редуктора).

Теория управления самолётом.

Для скоростных сверхзвуковых самолетов большая разница между максимальными и минимальными скоростями полета затрудняет создание системы управления, эффективной на всех режимах полета. При приближении к скоростям полета, соответствующим скорости звука, резко уменьшается эффективность рулей [13].

На рисунке 1 показано изменение распределения аэродинамической нагрузки по хорде стабилизатора при отклонении руля высоты на угол $\delta_р$ при дозвуковой скорости полета. Видно, что отклонение руля высоты приводит не только к

увеличению полной аэродинамической $\vec{R}_p$ силы на руле, но и к увеличению полной аэродинамической силы $\vec{R}_{ст}$ на стабилизаторе, и полная сила $\vec{R}=\vec{R}_p+\vec{R}_{ст}$ на горизонтальном оперении при отклонении руля существенно возрастает.

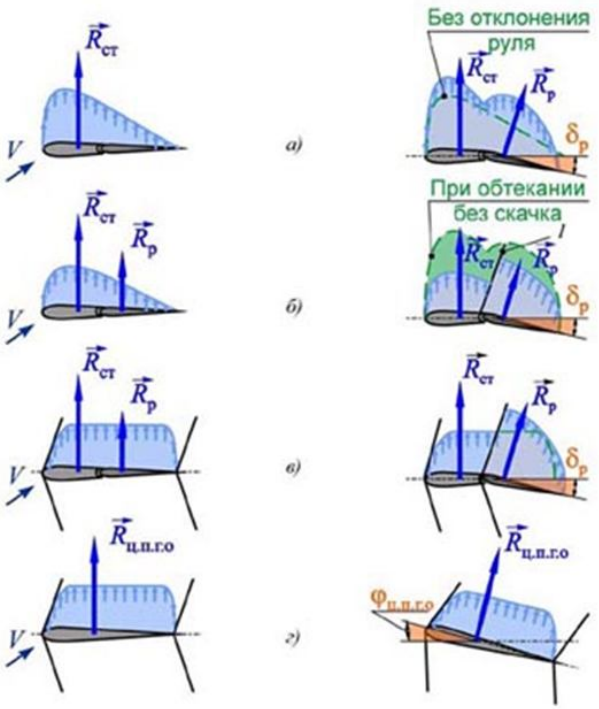


Рис. 1. Распределение аэродинамической нагрузки по хорде стабилизатора.

Увеличение скорости полета приводит к появлению местных скоростей обтекания, равных скорости звука. В зоне передней кромки руля развивается местная сверхзвуковая зона течения, заканчивающаяся скачком уплотнения 1. Левый столбец рисунков

иллюстрирует обтекание, когда рулевая поверхность находится в нейтральном положении, правый - при отклоненной рулевой поверхности.

При наличии скачка аэродинамические силы $\vec{R}_{р}$, вызванные отклонением руля, изменяются на рулевой поверхности, но не изменяют распределение и значение аэродинамической силы на расположенной впереди руля поверхности стабилизатора и полная сила на горизонтальном оперении $\vec{R}=\vec{R}_{р}+\vec{R}_{ст}$ существенно меньше, чем в случае чисто дозвукового обтекания (рис. 1,а).

На сверхзвуковой скорости полета (рис. 1,в) при наличии скачков уплотнения на передней и задней кромках профиля стабилизатора из-за развивающихся срывов потока на обтекаемой поверхности эпюра распределения давления по хорде близка к прямоугольнику. Полная аэродинамическая сила на горизонтальном оперении $\vec{R}_{ЦП.Г.О.}$ уменьшается по сравнению с дозвуковым режимом полета. В этом случае отклонение руля высоты также не изменяет аэродинамическую силу на расположенной впереди руля поверхности обтекания. Эффективность рулевой поверхности резко уменьшается.

Получить необходимые для маневра управляющие силы на сверхзвуковых режимах полета позволяет применение цельноповоротного горизонтального оперения (ц.п.г.о.) (рис. 1,г).

Однако. применение ц.п.г.о. приводит к изменению усилий на ручке управления в таких широких пределах, что непосредственное управление ц.п.г.о. становится невозможным. Так, если поместить ось вращения ц.п.г.о. в точке 1 (рис. 2), являющейся центром давления ц.п.г.о. на дозвуковых режимах полета, то в этом случае летчик не будет ощущать усилий на ручке, в то время как на сверхзвуковых режимах полета (центр давления ц.п.г.о. находится в точке 3) усилия будут непомерно велики.

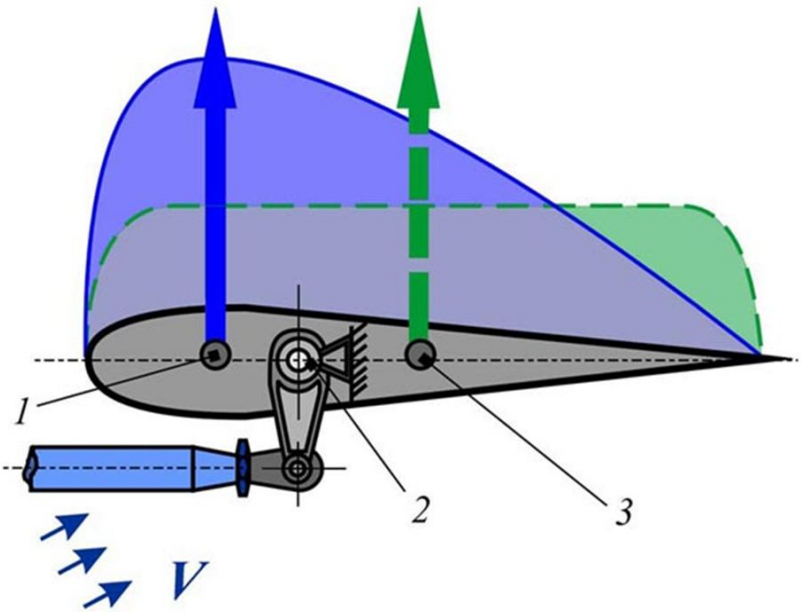


Рис. 2. Размещение оси вращения ц.п.г.о.

Точно так же нецелесообразно размещать ось вращения ц.п.г.о. в точке 3. В этом случае летчик не будет ощущать усилий на ручке на сверхзвуковых режимах полета, в то время как на дозвуковых режимах полета на рычагах управления возникают усилия обратного знака (самолет как бы сам "ведет" рычаги в направлении, потребном для маневра), что делает управление самолетом практически невозможным.

Размещение оси вращения ц.п.г.о. в точке 2 требует одинаковых усилий при управлении на дозвуковых и сверхзвуковых режимах полета, но это приводит к перемене знака усилий на ручке управления при переходе от дозвукового к сверхзвуковому полету, что совершенно недопустимо с точки зрения летчика.

Следовательно, для сверхзвуковых самолетов необходимо создание системы управления, способной преодолеть большой шарнирный момент и быть нечувствительной к изменению его знака.

Преодолеть большие усилия, возникающие при управлении ц.п.г.о., можно с помощью дополнительного источника энергии. В настоящее время чаще всего в качестве такого источника энергии используется гидравлическая система, которая питает вспомогательное устройство для привода ц.п.г.о. - гидроусилитель, или бустер (англ. booster, от boost - поднимать, повышать давление, напряжение).

Гидроусилитель (рис. 3) представляет собой силовой цилиндр, корпус 1 которого неподвижно закреплен на элементе конструкции планера самолета 2 (балке, силовом шпангоуте, силовой нервюре и т. д.).

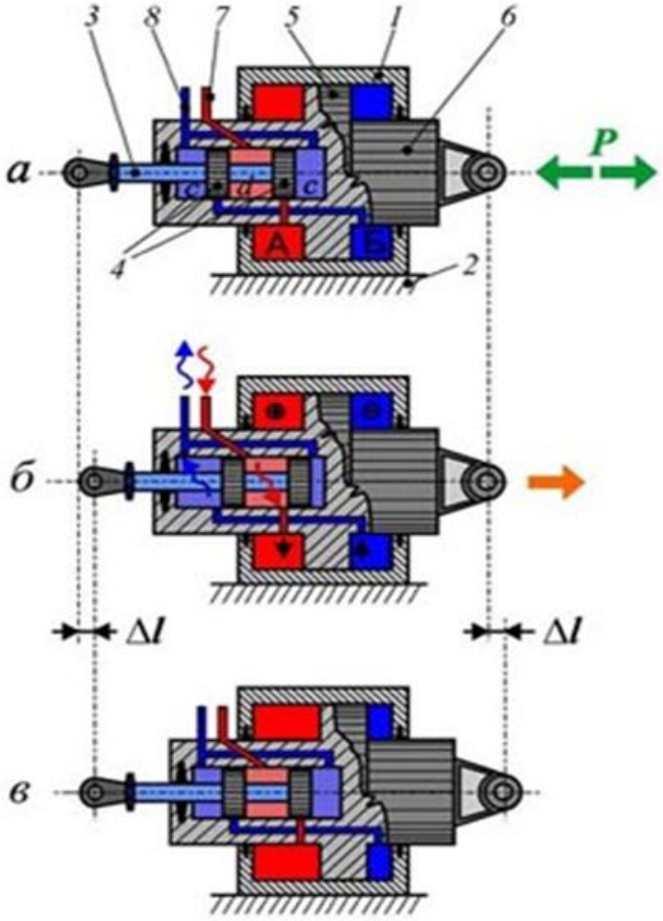


Рис. 3. Устройство гидроусилителя.

При нейтральном положении (рис. 3,а) управляющего штока гидроусилителя (золотника) 3 цилиндрические пояски 4 золотника перекрывают каналы, соединяющие полости А и Б силового цилиндра, разделенные поршнем 5 исполнительного штока 6 гидроцилиндра, с полостями с и d золотниковой камеры.

Полость d золотниковой камеры соединена с напорной (питающей) магистралью 7, а полости с - со сливной магистралью 8 гидросистемы самолета. В таком положении шток гидроусилителя 6 неподвижен и надежно зафиксирован несжимаемой рабочей жидкостью гидросистемы, запертой золотником в полостях А и Б силового цилиндра.

Сила Р, действующая на шток 6 гидроцилиндра со стороны ц.п.г.о. самолета, воспринимается силовым элементом 2 конструкции самолета.

При перемещении (рис. 3,б) золотника 3 (по рисунку - вправо на расстояние Δl) полость А силового цилиндра сообщается с напорной магистралью 7, а полость Б - со сливной магистралью 8 гидросистемы, и из-за разности давлений, действующих на поршень 5, исполнительный шток 6 гидроцилиндра начнет двигаться вправо.

При движении исполнительного штока относительно неподвижного корпуса 1 и золотника 3 произойдет (рис. 3,в) перекрытие каналов, соединяющих полости А и Б с полостями с и d золотниковой камеры и, соответственно, магистралями гидросистемы. Исполнительный шток 6 гидроусилителя

остановится, переместившись вправо на расстояние Δl, и золотник 3 снова окажется в нейтральном положении.

Поскольку рабочий ход золотника, необходимый для перепуска жидкости, измеряется несколькими миллиметрами, исполнительный шток гидроусилителя перемещается практически одновременно с перемещением золотника ("отслеживает" его движение).

Гидроусилитель, таким образом, является следящей системой, на вход которой (на золотник) подаются незначительные усилия (несколько ньютонов), потребные для преодоления сил трения в проводке управления и в золотниковой камере, в то время как на выходе (при движении исполнительного штока) можно получить большие потребные для преодоления шарнирного момента ц.п.г.о. силы P = Fp, где F - площадь поршня 5, p - давление в гидросистеме самолета.

Здесь необходимо отметить, что так же, как мы уже делали это раньше, для объяснения работы гидроусилителя под нагрузкой, мы воспользовались упрощенной схемой уравновешивания, имеющей сугубо иллюстративный характер.

В действительности механизм уравновешивания значительно сложнее - весь силовой "баланс" происходит на весьма малых (микронных) ходах золотника, когда даже при остановке бустера под нагрузкой и нейтральном положении золотника (рис. 4,а) есть перетекание жидкости из напорной в сливную магистраль

гидросистемы через полости c и d золотниковой камеры и, соответственно, схема уравновешивания значительно сложнее.

Тем не менее, рис. 4 дает достаточно точное представление о принципе работы гидроусилителя как следящей системы.

С помощью гидроусилителя 1, установленного (рис. 4) на силовой продольной балке 2 фюзеляжа, осуществляется привод (управление) ц.п.г.о.

Рычаг ("кабанчик") управления 3 соединен с общей осью 4 консолей 5 ц.п.г.о., вращающейся в подшипниках 6, установленных на усиленном шпангоуте 7 фюзеляжа.

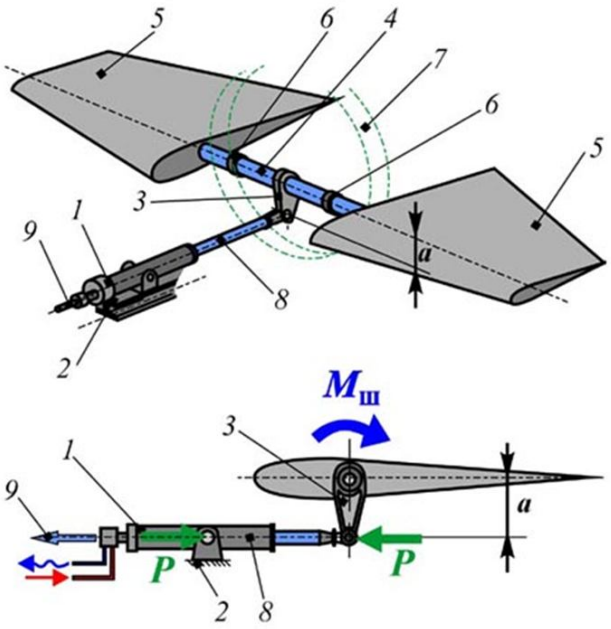


Рис. 4. Установка гидроусилителя для привода ц.п.г.о.

Шарнирный момент Мш ц.п.г.о. через рычаг 3 силой Р

$$P = Мш/a$$

воздействует на исполнительный шток 8 гидроусилителя и уравновешивается в узле установки гидроусилителя.

Для управления ц.п.г.о. достаточно незначительных усилий на ручке и в проводке управления, соединенной с управляющим штоком (золотником) 9 гидроусилителя. В этом случае величина и знак (направление) шарнирного момента управляемой поверхности не оказывают никакого влияния на усилия в проводке и на ручке управления, поскольку при наличии обратной связи по перемещениям между отклонением ручки и угловым отклонением ц.п.г.о. отсутствует обратная связь по усилиям на исполнительном и управляющем штоках гидроусилителя.

Система управления, в которой гидроусилитель установлен таким образом (без обратной связи по усилиям), называется необратимой.

Однако наличие обратной связи по усилиям является необходимым условием обеспечения приемлемых для летчика показателей управляемости. Поэтому обратную связь по усилиям приходится создавать искусственно, вводя в необратимую систему механизмы загрузки (МЗ). Простейший механизм загрузки (рис. 5) представляет собой пружину, которую летчик сжимает при отклонении ручки управления. Нейтральное (ненагруженное) состояние механизма загрузки отмечено на чертеже точкой 0.

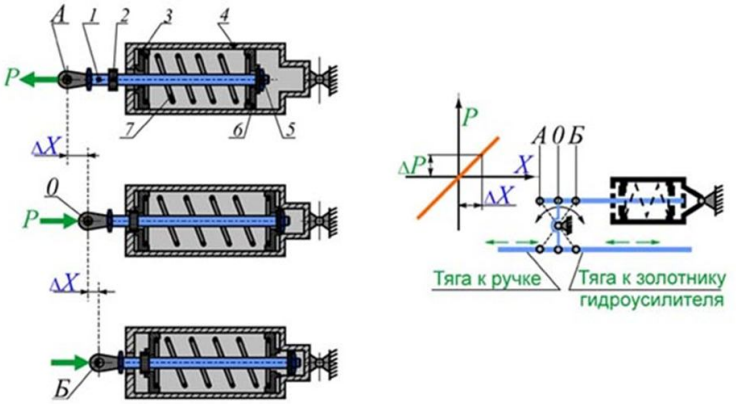


Рис. 5. Устройство механизма загрузки.

При перемещении штока 1 (по чертежу - справа налево; законцовка штока перемещается из точки 0 в точку А) упор 2 выходит из контакта с шайбой 3, которая оперта на корпус 4. Упор 5 сдвигает (по чертежу - влево) шайбу 6. Происходит сжатие пружины 7.

Для перемещения штока требуется приложить силу Р, значение которой зависит от жесткости пружины и перемещения штока ΔХ. Большему отклонению ручки (ходу проводки управления Х) соответствует большее усилие в проводке управления (усилие сжатия Р пружины механизма загрузки), что соответствует характеру усилий в системе прямого (непосредственного) управления рулевыми поверхностями.

Такой вид загрузки не может удовлетворить летчика, поскольку усилия на ручке управления должны изменяться с изменением высоты и скорости полета (увеличиваться с ростом

скорости и уменьшением высоты, и наоборот). И в то же время для получения одной и той же перегрузки на различных скоростях и высотах полета требуются разные отклонения рулевой поверхности (меньшие на больших скоростях и малых высотах полета и большие на малых скоростях и больших высотах полета).

Напомним, что аэродинамические силы $Ra=CR(\rho V2/2)S$ растут как с увеличением скорости полета V, так и с уменьшением высоты полета (т. е. с увеличением плотности воздуха ρ).

Следовательно, в системах управления, где усилия на рычагах управления имитируются с помощью механизма загрузки, необходимо в соответствии с режимом полета изменить не только усилие пружин МЗ, но и коэффициент кинематической передачи, т. е. плечи рычагов и качалок в проводке управления.

Для обеспечения желаемых характеристик управляемости, т. е. согласования усилий на рычагах управления и потребных отклонений рулевых поверхностей с высотой и скоростью полета, в необратимую бустерную систему управления вводят автомат регулирования управления (АРУ).

Простейший автомат регулирования управления (рис. 6) представляет собой качалку, плечи которой автоматически изменяют свою длину с изменением режима полета.

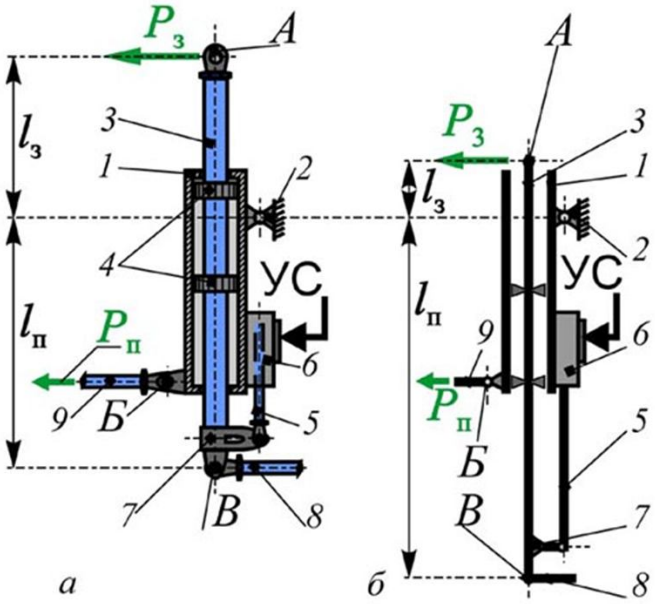


Рис. 6. Устройство автомата регулирования управления.

Исполнительный механизм АРУ представляет собой телескопическую качалку, корпус 1 которой шарнирно крепится к кронштейну 2, установленному на усиленном элементе конструкции планера самолета. Внутри корпуса 1 передвигается шток 3, опираясь на пояски 4. Привод (перемещение) штока 3 (по чертежу - вверх или вниз) осуществляет шток 5 электромеханического устройства 6, связанный со штоком 3 при помощи кронштейна 7.

В электромеханическом устройстве 6 в зависимости от электрического управляющего сигнала (УС) вращательное движение электродвигателя при помощи встроенного редуктора

преобразуется в поступательное (по чертежу - вверх или вниз) движение штока 5.

Через точку А на шток 3 передается усилие Р3 механизма загрузки. В точке В штока шарнирно крепится тяга управления 8, идущая к управляющему штоку гидроусилителя.

К корпусу 1 в точке Б шарнирно крепится тяга 9, идущая к рычагу управления в кабине летчика.

В зависимости от режима полета автоматические бортовые устройства вырабатывают определенный управляющий сигнал УС = f(V, H), который в виде электрического сигнала поступает в электромеханизм 6.

При больших скоростях полета и, соответственно, небольших потребных для маневра отклонениях рулевой поверхности автоматически устанавливается малое плечо lп (рис. 6,а). В этом случае малому перемещению тяги 9, идущей от рычага управления, соответствует малое перемещение тяги 8 и, как следствие, малое отклонение рулевой поверхности. В то же время на рычаг управления действуют большие усилия Рп от механизма загрузки. Их величина зависит от силы Рз механизма загрузки и плеча lз.

При малых скоростях полета и, соответственно, больших потребных для маневра отклонениях рулевой поверхности автоматически устанавливается большее плечо lп (рис. 6,б) и, соответственно, меньшее плечо lз. Возрастают перемещения тяги 8 и углы отклонения рулевой поверхности и уменьшаются усилия на рычаге управления Рп.

Точно так же автомат регулирования управления отслеживает изменение высоты полета. Таким образом, в необратимой бустерной системе управления обеспечивается характер управления, аналогичный управлению самолетом с системами прямого (непосредственного) управления.

Чтобы обеспечить возможность триммирования усилий на рычагах управления в длительном установившемся полете, в необратимую бустерную систему управления вводят механизм триммерного эффекта (МТЭ). Простейший механизм триммерного эффекта (рис. 7) представляет собой электромеханическое устройство, аналогичное применяемому в автомате регулирования управления, которое позволяет летчику нажатием кнопки на ручке (штурвале) управления (как и в системе прямого управления) подать электрический управляющий сигнал (УС) триммирования на электромотор МТЭ.

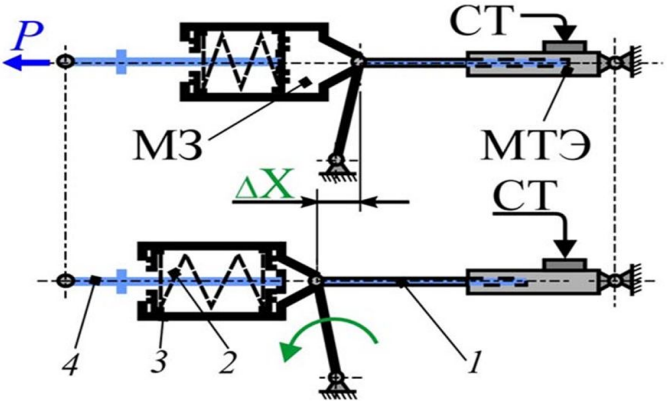


Рис. 7. Устройство механизма триммерного эффекта.

За счет перемещения штока 1 механизма триммерного эффекта перемещается корпус 3 при неподвижном штоке 4 и ослабляется пружина 2 механизма загрузки. Таким способом уменьшаются усилия на рычагах управления.

Принципиальная схема необратимой бустерной системы управления цельно-поворотным горизонтальным оперением показана на рис. 8. Включенная в состав системы управления раздвижная тяга (РТ - устройство, аналогичное МТЭ) позволяет непосредственно, без участия летчика воздействовать на управляющий золотник гидроусилителя в соответствии с управляющими сигналами, сформированными бортовым комплексом цифровых вычислительных и аналоговых машин с целью автоматического пилотирования или реализации в полете различных концепций техники активного управления.

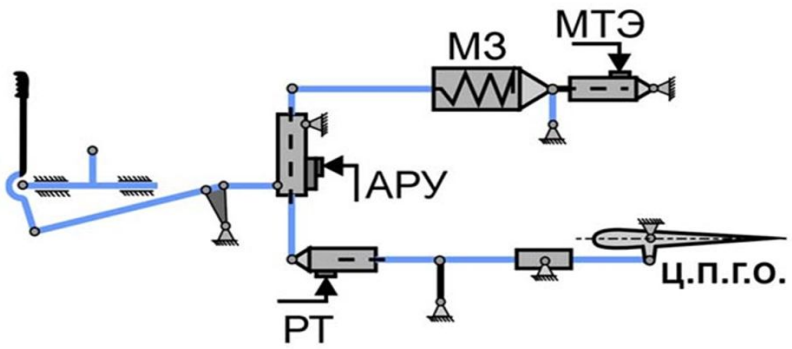


Рис. 8. Принципиальная схема необратимой бустерной системы управления.

Как уже упоминалось, для передачи управляющих сигналов в системах автоматизированного управления используется электро- или волоконно-оптическая проводка. Использование такой проводки взамен механической для передачи управляющих сигналов от рычагов на органы управления позволяет значительно уменьшить массу и облегчить компоновку проводки в весьма насыщенном компоновочном пространстве современного самолета. В этом случае механические перемещения командного рычага (педалей, рукоятки или штурвала) преобразуются в электрические или световые сигналы, передаваемые по проводам на раздвижную тягу, где они преобразуются в механическое перемещение золотника гидроусилителя, отклоняющего орган управления. Для обеспечения обратных связей по перемещениям и усилиям загрузка командных рычагов осуществляется так же, как описано выше. Аналогично рассмотренному здесь каналу тангажа формируются бустерные системы управления в каналах крена и рыскания.

Необратимые бустерные системы управления применяются в настоящее время и на дозвуковых самолетах, поскольку можно провести полную отработку таких систем в наземных условиях с помощью полноразмерных стендов, позволяющих производить полунатурное моделирование реального полета с введением нештатных ситуаций (отказов и т. п.), и пилотажно-динамических стендов с участием летчика.

Это дает возможность выбрать необходимое резервирование элементов системы и учесть все пожелания летчика для формирования надежной системы управления с оптимальными показателями управляемости на всех режимах полета.

Выбор и обоснование пьезоэлектрического двигателя. Патентно-реферативный поиск.

Пьезоэлектрический эффект.

Пьезоэлектрический эффект — эффект возникновения поляризации диэлектрика под действием механических напряжений (прямой пьезоэлектрический эффект). Существует и обратный пьезоэлектрический эффект — возникновение механических деформаций под действием электрического поля.

При прямом пьезоэффекте деформация пьезоэлектрического образца приводит к возникновению электрического напряжения между поверхностями деформируемого твердого тела, при обратном пьезоэффекте приложение напряжения к телу вызывает его деформацию.

Пьезоэлектрические вещества всегда обладают одновременно и прямым и обратным пьезоэффектом. Необязательно, чтобы вещество было монокристаллом. Эффект наблюдается и в поликристаллических веществах, предварительно поляризованных сильным электрическим полем во время кристаллизации, или при фазовом переходе в точке температуры Кюри при охлаждении для сегнетоэлектриков (например, керамические пьезоэлектрические материалы на основе

цирконата-титаната свинца) при наложенном внешнем электрическом поле.

Прямой эффект был открыт братьями Жаком и Пьером Кюри в 1880 году. Обратный эффект был предугадан в 1881 году Липпманом исходя из термодинамических соображений. В том же году экспериментально открыт братьями Кюри.

Исследования пьезоэффекта показали, что он объясняется свойством элементарной ячейки структуры материала. Так как элементарная ячейка является наименьшей симметричной единицей материала, путем ее многократного повторения можно получить микроскопический кристалл. Необходимой предпосылкой для появления пьезоэффекта является отсутствие центра симметрии в элементарной ячейке.

Пьезоэлектрический двигатель.

В 1947 году были получены первые керамические образцы титаната бария и, начиная с этого времени, производство пьезоэлектрических моторов стало теоретически возможным. Но первый такой мотор появился лишь спустя 20 лет. Изучая пьезоэлектрические трансформаторы в силовых режимах, сотрудник Киевского политехнического института В.В.Лавриненко обнаружил вращение одного из них в держателе. Разобравшись в причине этого явления, он в 1964 году создаёт первый пьезоэлектрический мотор вращения, а вслед за ним и линейный мотор для привода реле. За первым мотором с прямым

фрикционным контактом он создаёт группы нереверсивных моторов с механической связью пьезоэлемента с ротором через толкатели. На этой основе он предлагает десятки конструкций нереверсивных моторов, перекрывающих диапазон скоростей от 0 до 10 000об/мин и диапазон моментов вращения от 0 до 100Нм. Используя два нереверсивных мотора, В.В.Лавриненко оригинально решает проблему реверса. Интегрально на валу одного мотора он устанавливает второй мотор. Проблему ресурса мотора он решает, возбуждая крутильные колебания в пьезоэлементе.

На десятилетия опережая подобные работы в стране и за рубежом, В.В.Лавриненко разработал практически все основные принципы построения пьезоэлектрических моторов, не исключив при этом возможность работы их в режиме генераторов электрической энергии.

Учитывая перспективность разработки, В.В.Лавриненко совместно с соавторами, помогавшими ему реализовать его предложения, он защищает многочисленными авторскими свидетельствами и патентами. В Киевском Политехническом институте создается отраслевая лаборатория пьезоэлектрических моторов под руководством В.В.Лавриненко, организуется первое в мире серийное производство пьезомоторов для видеомагнитофона «Электроника-552». В последующем, серийно производятся моторы для диапроекторов «Днепр-2», кинокамер, приводов шаровых кранов и др. В 1980 году издательство «Энергия» печатает

первую книгу по пьезоэлектрическим моторам, к ним появляется интерес. Начинаются активные разработки пьезомоторов в Каунасском политехническом институте под руководством проф. Рагульскиса К. М.

Вишневский В. С., в прошлом аспирант В.В.Лавриненко, выезжает в Германию, где продолжает работу по внедрению линейных пьезоэлектрических моторов на фирме PHyzical Instryment. Постепенное изучение и разработка пьезоэлектрических моторов выходят за пределы СССР. В Японии и Китае активно разрабатываются и внедряются волновые двигатели, в Америке — сверхминиатюрные двигатели вращения.

Ультразвуковой двигатель имеет значительно меньшие габариты и массу по сравнению с аналогичным по силовым характеристикам электромагнитным двигателем. Отсутствие обмоток, пропитанных склеивающими составами, делает его пригодным для использования в условиях вакуума. Ультразвуковой двигатель обладает значительным моментом самоторможения (до 50% от величины максимального крутящего момента) при отсутствии питающего напряжения за счёт своих конструктивных особенностей. Это позволяет обеспечивать очень малые дискретные угловые перемещения (от единиц угловых секунд) без применения каких-либо специальных мер. Это свойство связано с квазинепрерывным характером работы пьезодвигателя. Действительно, пьезоэлемент, который

преобразует электрические колебания в механические, питается не постоянным, а переменным напряжением резонансной частоты.

При подаче одного или двух импульсов можно получить очень маленькое угловое перемещение ротора. Например, некоторые образцы ультразвуковых двигателей, имеющие резонансную частоту 2 МГц и рабочую частоту вращения 0,2-6 об/сек, при подаче одиночного импульса на обкладки пьезоэлемента дадут в идеальном случае угловое перемещение ротора в 1/9.900.000-1/330.000 от величины окружности, то есть 0,13-3,9 угловых секунд.

На «гибкий» статор (тонкая биморфная пластина, чем тоньше пластина, тем больше амплитуда колебаний и тем ниже частота резонанса) «подается» переменное напряжение высокой частоты, которое вынуждает его производить ультразвуковые колебания, формирующие механическую бегущую волну, которая и толкает (зацепляет) расположенный рядом ротор. При движении влево толкатель расклинивает, при движении вправо — заклинивает. На этом принципе работают все пьезоэлектрические моторы с толкателями. Следовательно, увеличивая число толкателей можно создавать моторы с огромными пусковыми моментами.

Одним из серьёзных недостатков такого двигателя является значительная чувствительность к попаданию в него твёрдых веществ (например, песка). С другой стороны, пьезодвигатели могут работать в жидкой среде, например, в воде или в масле.

В основе работы пьезоэлектрических двигателей вращения лежит принцип, согласно которому все точки пьезоэлемента, входящие в контакт с ротором, должны двигаться по траекториям близким к эллиптическим. Для этого в пьезоэлементе одновременно возбуждают два типа взаимно ортогональных колебаний. Это может быть любое сочетание взаимно поперечных, продольных, изгибных, сдвиговых и крутильных колебаний. Важным является лишь то, что эти колебания не должны быть механически связанными, то есть энергия с одного колебания не должна переходить в другое колебание: в квадратной пластине возбуждение продольных колебаний по её одной стороне приведёт к возбуждению продольных колебаний по другой стороне, что является примером связанности колебаний. Если колебания механически не связанны, то между ними можно получить любой сдвиг фазы. В простейшем моторе в пьезоэлементе электрически возбуждены продольные по длине волны, а поперечные волны - изгибные - возбуждаются при движении конца пьезоэлемента по поверхности ротора. Размеры пьезоэлемента подбираются так, чтобы был механический резонанс и продольных и поперечных колебаний. Тогда коэффициент полезного действия может превышать 80%. Для таких моторов фрикционный контакт между ротором и статором происходит по линии, что снижает их ресурс. Возбуждая одними электродами в пьезоэлементе крутильные колебания, а другими электродами — продольные колебания можно создать мотор с

плоским фрикционным контактом. Проблему ресурса В.В.Лавриненко решает следующим способом. Он использует свойство наклонённой и прижатой к гладкой поверхности пластины изменять усилие прижима при движении в одну сторону и в противоположную сторону.

Патентно-реферативный поиск.

В рамках данной работы был проведен патентно-реферативный поиск по признаку «Пьезоэлектрический двигатель». Результаты этого поиска сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Список патентов.

№ Патента	Наименование	Страна	Принцип работы
2225671	Пьезоэлектрический тепломеханический двигатель-генератор	Россия	Зацепление (контактная точка)
2181522	Пьезоэлектрический линейный шаговый двигатель	Россия	Шаговый (составной)
2278461	Пьезоэлектрический двигатель	Россия	Волновой
2286002	Пьезоэлектрический двигатель	Россия	Смешанный (составной биморфный)
2205494	Полупроводниковый пьезоэлектрический свч-двигатель	Россия	Расширение - сжатие рабочего тела

			(пьезоэлемента)
2368061	Пьезоэлектрический реверсивный двигатель	Россия	Зацепление (контактная точка)
2390090	Линейный пьезоэлектрический двигатель	Россия	Расширение-сжатие рабочего тела (пьезоэлемента)
2286001	Пьезоэлектрический двигатель	Россия	Смешанный (составной)
2278462	Пьезоэлектрический волновой двигатель	Россия	Волновой
2179363	Пьезоэлектрический привод или двигатель, способ приведения его в действие и способ его изготовления	Россия	-
2279562	Пьезоэлектрический волновой двигатель	Россия	Волновой
EP1500183A2	Piezomotor	Германия	Зацепление (контактная точка)

EP2112759A2	Piezoelektrischer motor	Германия	Смешанный (составной)
US3748503	Piezo electric motor	США	Смешанный (составной биморфный)
US4947076	Piezo electric motor	США	Шаговый
US5233257	Piezo electric motor	США	Волновой
US6373170B1	Piezo electric motor	США	Зацепление (контактная точка)

Анализ выше указанных патентов показывает многообразие видов пьезоэлектрических моторов и их конструктивного исполнения.

Ниже приводится проектирование составного пьезоэлектрического двигателя, принцип работы которого аналогичен работе, описанной в патенте EP2112759A2.

Пьезоэлектрические двигатели высокой мощности для тормозных приводов проекта PIBRAC.

Пьезоэлектрические двигатели являются хорошими кандидатами для замены гидравлики в приводах систем воздушного судна. Проект PICAB ставит перед собой цель перенесения этой технологии в реальное устройство – тормозной привод самолетов.

Этот документ показывает, как эта технология позволяет по-новому взглянуть на некоторые решения.

Последнее поколение самолетов таких, как Airbus A380, объединило новые разработки, которые позволили сделать самолеты более безопасными, сократили денежные расходы на их управление и снизили текущие затраты на их техническое обслуживание.

Другим важным аспектом является уменьшение их влияния на окружающую среду, так как расход топлива на одного пассажира на каждый километр будет понижен в связи с большей грузоподъёмностью и улучшенными двигателями.

Основой революции, которая приносит эти улучшения, является разработка нового проекта-концепции «Более электрический самолет» (MEA – More Electrical Aircraft). Одним из важных ожидаемых изменений является замена частей гидравлических систем на комбинированную систему приводов с электрическим двигателем для того, чтобы обеспечить лучшее дистанционное управление и обеспечить улучшение тормозной системы.

Гидравлические системы начали широко использоваться после того как оказалось, что силы пилота были слишком слабы для управления воздушными судами в связи с тем, что самолеты стали больше и мощнее. Эта технология оказалась не только подходящей, востребованной как устройство, способное создавать большой крутящий момент или силу за малое перемещение, но, в то же

время, оказалась очень надежной. Но, все-таки, есть недостатки, связанные с использованием в тормозных системах гидравлических жидкостей, представляющих собой систему труб, разветвленную во всем самолете. Меры техники безопасности отразились на опасности возгорания и стоимости технического обслуживания, возросшей из-за необходимости кругового обращения после каждого ремонта даже любого незначительного гидравлического элемента системы.

В связи с данными аспектами, первые улучшения будут заключаться в замене гидравлического привода на гальвано (электро)-гидростатический привод (EHA). Эти устройства, снабженные силовым двигателем, представляют собой небольших размеров гидропоршневые насосы с резервуарами, преобразующие электрическую энергию в гидравлическую силу. Часть системы труб была заменена на систему проводов, что экономит вес и повышает безопасность. Эти устройства, хорошо тестированные фирмами контроля дистанционного управления, будут использоваться в самолетах A380 в качестве тормозных приводов для управления полетом и тормозов.

Конечная цель проекта состоит в ликвидации всех гидравлических компонентов, замене их на новые, использующие электромеханические актюаторы (EMA). Это устройство, рассмотренное на продолжении нескольких лет, приводит в действие тормоза самолетов. Осуществление разработки конструкции данного устройства дает возможность его

эксплуатации в новых воздушных судах, и самолет Боинг 787 станет первым авиалайнером, оснащенным данной электрической тормозной системой.

Среди ожидаемых выгод наиболее важными являются следующие:

– улучшение системы мер безопасности (путем устранения риска утечки тормозной жидкости и связанной с вызванной ею опасностью возгорания);

– сокращение стоимости технического обслуживания и денежных затрат на эксплуатацию самолетов;

– улучшение эффективности системы тормозов.

Однако, EMA (электромеханический привод) оснащен стандартным магнитоэлектрическим двигателем и редукторами, увеличивающими вес и требующими большое потребление энергии. Значительная часть этой энергии расходуется в качестве кинетической энергии высокой инерции роторов двигателя и редукторов в связи с высокой частотой, повторяемостью команд актюатора в течение противоскользящей операции. EMA будет рассмотрен как первый шаг к замене гидравлических систем.

Возникающие высокие мощности, пьезоэлектрические вибрации двигателей являются многообещающей альтернативой, так как они имеют потенциал для воплощения в себе многих преимуществ новых достижений гидравлики и технологий электромеханический приводов.

Пьезоэлектрические двигатели уже нашли для себя множество различных возможностей применения, позволяющих обеспечить использование миниатюризированных приводов малой мощности в таких коммерческих продуктах, как элемент перемещения линзы - фокусировки камер или топливные форсунки для легковых машин. Они стали широко использоваться в технике, потому что пьезоэлектрические двигатели обладают значительными преимуществами по сравнению со стандартными электромагнитными двигателями, а именно имеют:

- высокий крутящий момент при низкой скорости вращения без механической передачи;
- низкую инерцию, сводящуюся к сокращению времени реакции всей системы;
- высокое удержание большого крутящего момента при отключении питания;
- хорошее соотношение веса и мощности.

На рис. 9 представлена зависимость мощности от веса гидравлических, электромагнитных и пьезоэлектрических двигателей в сравнении с их достигаемой максимальной мощностью. Принцип вращения пьезоэлектрического двигателя основан на приведении в движение ротора силами трения, создающимися на статоре. Деформация статора, происходящая в связи с усилением давления на пьезоэлектрические элементы, может быть реализована различными решениями. Все они ведут к созданию набегающей волны деформации на поверхности статора.

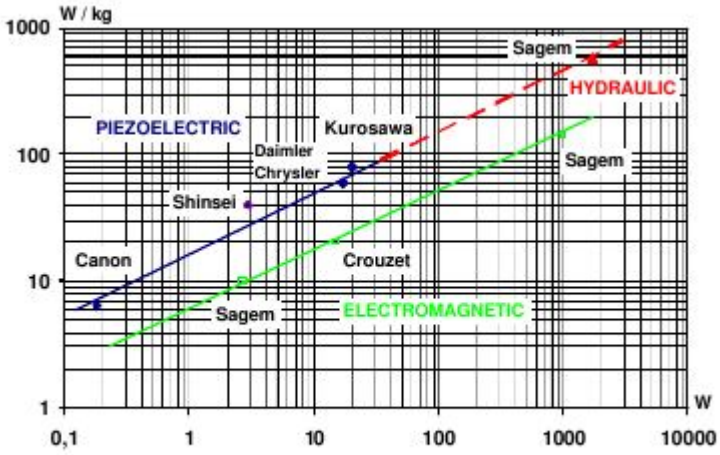


Fig 1 Power density comparison of actuation solutions

Рис. 9. Зависимость мощности от веса гидравлических, электромагнитных и пьезоэлектрических двигателей в сравнении с их достигаемой максимальной мощностью.

На рис. 10 показан пример реализации этого процесса, разработанный by Shinsei и впервые выпущенный в 1986 году.

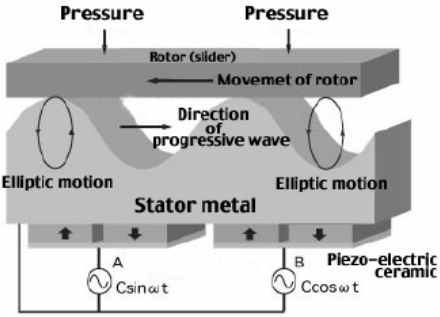


Fig 2 Principle of a progressive wave piezoelectric motor (Shinsei)

Рис. 10. Пример реализации процесса, разработанного by Shinsei.

Диапазон механической мощности, достигаемой данным типом двигателя, является довольно низким в отношении самолетов. Для справки, USR60, разработанный Shinsei, предлагает крутящий момент только в пределах до 1Н*м, максимальную скорость до 150об/с и 5Вт потребляемой мощности.

В наши дни промышленно развитые пьезоэлектрические двигатели не существуют в диапазоне мощности в 1кВт и выше. Однако использовать пьезоэлектрический двигатель целесообразно в диапазоне мощности, выраженной в кВт, что и достигнуто было в ходе проекта PAMELA (рис. 11) в рамках европейских стандартов EUREKA. Следующим шагом стала разработка методов реализации использования данного принципа в реальном устройстве. И эта цель представления возможностей интеграции пьезоэлектрических приводов (актюаторов) для тормозных систем самолетов и рассматривается в рамках проекта PIBRAC.

Проект PIBRAC

Совет высококвалифицированных ученых был собран для изучения, разработки и тестирования нового типа пьезоэлектрического тормозного линейного привода и его управляющей электроники. Консорциум PIBRAC работает под руководством SAGEM DS, состоящего из 11 партнеров, 4 больших промышленных кампаний (SAGEM, BUGATTI, SKODA), 2 исследовательских центров (BAM, INEGI), 4 средних размеров кампаний (ABRITO, IMMG, NOLIAC, SAMTECH) и 1 университета (PADERBORN). Эта команда сосредоточена на доказательстве

преимуществ использования пьезоэлектрических технологий над технологиями EMA (электромеханических приводов), на развитии тормозного привода и требующего для его управления устройства.

Как правило, в самолетах средних размеров поршень тормозного привода передвигается над зазором, имея ход около 3мм при очень высокой скорости, но без нагрузки, прежде чем контактирует с тормозными дисками и потом около 2мм при сжатии дисков, оказывая максимальную силу на диски около 150-250кН. Такой тормозной привод работает в широком диапазоне высоких температур от 55°C, достигаемой при посадке самолета после долгого полета на больших высотах, и до 200°C на земле, держащейся до одного часа после приземления. Кроме того, требования к системе тормозных приводов очень высоки, когда действует противоскольжение в частотах до 12Гц.

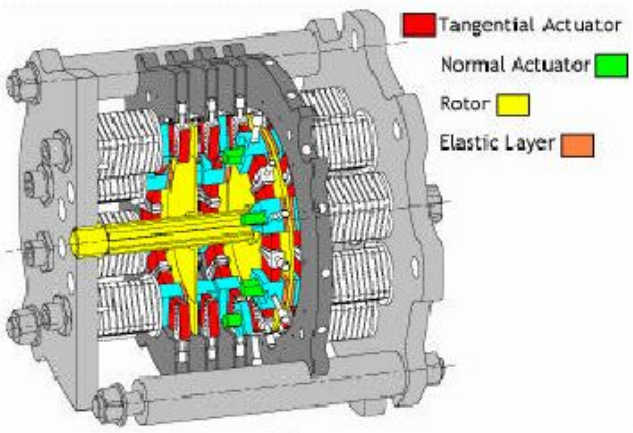
Пьезоэлектрический тормозной привод должен не только проявлять хорошие летно-технические качества, уже достигнутые тормозными электромеханическими приводами EMA, но также должен содержать улучшения в соотношении веса и потребления электроэнергии. Конечно, переход от гидравлических систем к системе электромеханических приводов (EMA) уже приносит множество преимуществ, таких как улучшение безопасности и снижение цен на техническое обслуживание, но все эти достижения происходят в ущерб весу и потребляемой мощности.

Проект PIBRAC наследует преимущества результатов проекта PAMELA, которые привели к разработке коллекторного двигателя

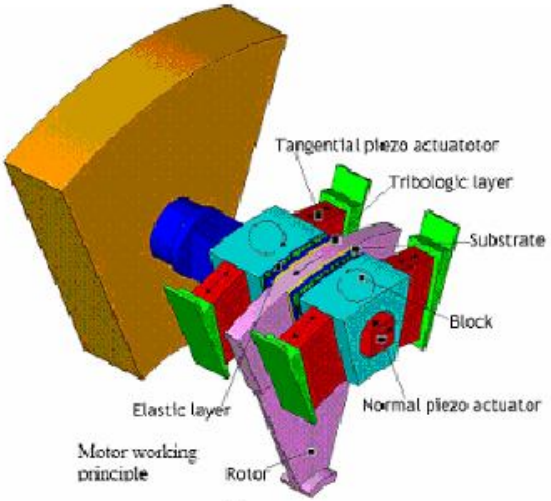
высокой мощности. Частью работы является адаптация концепта пьезоэлектрического двигателя к устройствам тормозных линейных приводов. Принцип линейной работы приводов также исследован, но только путем моделирования и письменных расчетов, так как это очень инновационное введение, развитие данных проблем которого не входит в рамки проекта PIBRAC.

Проект PIBRAC разделен на 5 рабочих пакетов, включающих спецификации и критерии оценки, исследования различных функций, связанных с пьезоэлектрическими компонентами и их характеристиками, технологию внедрения, анализ и технологию управления, а также пути развития их использования в технике.

Среди проблем данного проекта выделяется вопрос конструкции пьезоэлектрического двигателя, выполняющего требования тормозной системы, и разработка энергообеспечения, сильно отличающихся от использующихся в электромагнитных двигателях.



a)



b)

Fig 3 Pamela motor a) structure b) detail of vibration to rotational motion conversion system

Рис. 11. Схема PAMELA мотора.

Коллекторный двигатель

Разработка коллекторного двигателя произведена на основе структуры двигателя PAMELA, состоящего из 4 статорных колец, сдавливающих два ротора, связанных с валом электродвигателя. Статоры состоят из нескольких металлических блоков, чередующихся с пьезоэлектрическими приводами.

Эти металлические блоки могут двигаться вперед-назад, как по кругу (тангенциальный режим), так и в осевом направлении (нормальный режим). Осевой режим совершается под действием пьезоэлектрических приводов, придающих усилие металлическим блокам в направлении, параллельном валу двигателя. Комбинация двух направлений приводит к совершению эллиптического движения на контактирующей поверхности статора и роторов, которые приводят в движение вал благодаря силам трения между ротором и статором.

Основной принцип тот же (трение побуждает движение ротора), как и для набегающей волны электродвигателя, но эта концепция позволяет расширить диапазон мощности до 1кВт, который выше чем 100Вт мощности, достигаемой классическим пьезоэлектрическим двигателем. В основном это осуществляется благодаря большой контактирующей поверхности, обеспечивающей превращение вибраций в движение ротора при большем уровне достигаемой мощности.

Однако реализация оказывается на практике довольно сложной. Высокая механическая сила достигается, если

превращения механических вибраций эффективно преобразуются в движение ротора. Это означает совершенный контроль тангенциального и осевого режимов. Конструкция двигателя должна приводить к механическому резонансу одинаковой частоты в двух направлениях. Также соответствующие блоки питания осевых и тангенциальных пьезоэлектрических приводов должны быть идеально настроены на получение точного движения металлических блоков. Второй важной особенностью, оказывающей сильное влияние на эффективность преобразования — это динамическое воздействие между статором и ротором. Передающаяся мощность связана с общей поверхностью контакта и коэффициентом трения между материалами, из которых изготовлены ротор и статор.

Регулятор мощности

Мощная электроника преобразует электрические сигналы с источника питания самолетов в соответствии с определенным уровнем напряжения, измеряемого в пределах сверхзвуковых частот (270VAC~40kHz). Это осуществляется через PWM инвертор (преобразователь переменного тока) с последующей эффективной фильтрацией. Две разделенные линии электропередачи подают энергию на тангенциальные и осевые пьезоэлектрические приводы в определенных фазовых соотношениях для получения эффективного движения РТ. Емкостный характер пьезоэлектрических приводов и электрические свойства сильно частотно зависимы от механической емкости, взаимосвязь которых

вызывает необходимость в устройстве системы управления на двигательном уровне. Схема управления операционной системой учитывает функциональные возможности, необходимые для управления системой тормозов.

Выбор топологии трансформатора (преобразователя мощности) происходит в условиях характеристик веса и эффективности. Специальные меры предпринимаются по конструкции фильтра, который должен обеспечить помимо эффективной фильтрации гармонического состава электрической энергии, подводимой к пьезоэлектрическому приводу через широкий диапазон температур, еще и разумный индуктивный вес (рис. 12).

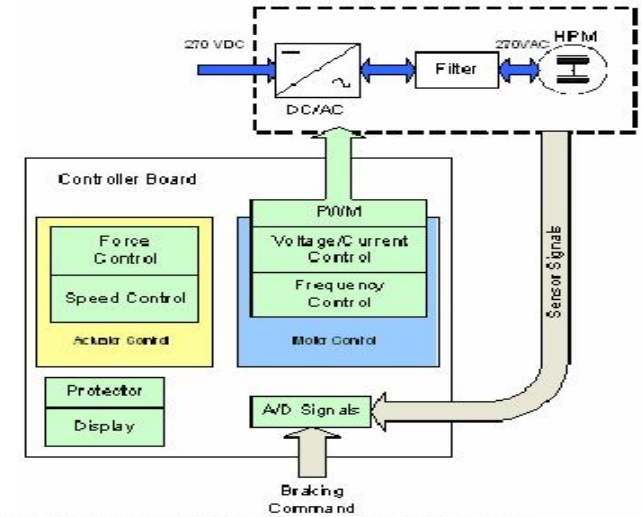


Fig 4 Power converter with motor control scheme

Рис. 12. Схема устройства.

Материалы для изучения

Включение тормозов происходит несколько раз в течение полета, т. е. в течение посадки, выруливания, остановки. Учитывая, что каждый самолет в течение своего жизненного цикла совершает до 50000 полетов, можно посчитать, что за это время число циклов РТ возрастает до числа порядка 10^{11}. Частями двигателя, подвергающимися высокой нагрузке являются межфазные материалы пьезоэлектрических приводов - ротор/статор. Время эксплуатации двигателя может повлиять на выносливость пьезоэлектрического привода или уровень изнашивания межфазных материалов.

Так как исследования в данных областях науки ограничены, то часть работы посвящена исследованию свойств выносливости различных пьезоэлектрических материалов, отбору наиболее перспективных из них. Более того, исследования проводятся на соответствующих материалах, которые должны иметь высокий коэффициент трения и одинаковое время противостояния износу.

Эти анализы требуют развития новых тестирующих устройств. Пьезоэлектрические материалы протестированы на выносливость на новых машинах, специально сконструированных для проекта PIBRAC. Эти устройства применяют большой уровень нагрузки (до 50 Мпа), работают в большом диапазоне температур (от -55°C to +200°C) и на частоте, близкой к механическому резонансу.

Материалы для поверхностей роторов/ статоров будут выбраны в зависимости от их трибологических свойств. Однако эти данные известны лишь для частот ниже 2кГц, когда они готовы для эксплуатации. Специальная машина для испытания трений была разработана для тестирования подходящих материалов при высоких частотах (до 40кГц). Свойства трения и выносливости материала будут отображены как функции зависимости уровня относительной влажность (от 2% до 98%) от температуры.

Свойства материалов имеют первостепенную важность при работе в условиях нагрузки, так как они влияют на работу двигателя и на его время эксплуатации. Результаты, полученные в ходе работы проекта PIBRAC, будут дорабатываться для дальнейшей интенсивной квалификации (рис. 13).

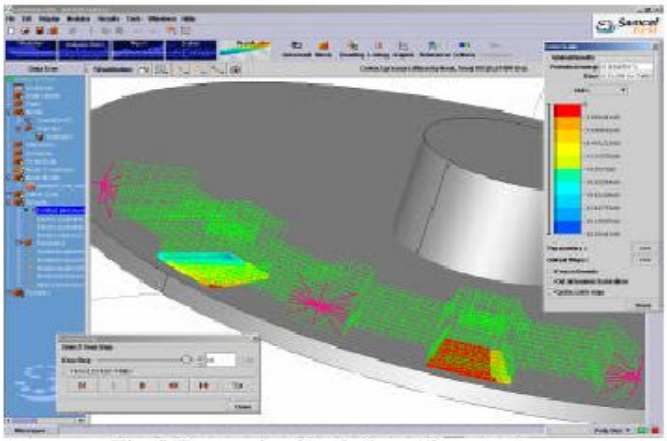


Fig 5 Dynamic simulation of contact pressure

Рис. 13. Динамическое моделирование контактного давления.

Механические функции.

Задача проекта PIBRAC - не только простая замена электромагнитного двигателя на пьезоэлектрический в тормозном приводе. Преобразование электрической энергии в механическую силу в нем приводит к разработке и развитию новых механических решений в системе тормозов. Во-первых, это может обеспечить высокий уровень вращающего момента при низкой угловой скорости, позволяющий осуществление замены тяжелого зубчатого редуктора коробки передач. Механическая энергия передаётся прямо на поршень через классический шарико-ходовой или роликовый винт. Следует заметить, что с использованием линейного пьезоэлектрического двигателя, эта функция уже больше становится ненужной, так как он работает как пружинный переключатель. Другой отличительной особенностью является способность оставаться заблокированным, когда отключено питание. Так, специальное устройство для стояночного торможения оказывается больше ненужным. Однако из-за этой характеристики, обратимость (реверсивность) тормоза не обеспечивается. Так как тормоз должен оставаться заблокированным по причине потери электропитания для избегания риска скольжения колес, то эта ситуация неприемлема. Поэтому в мерах безопасности устанавливается сцепление в кинематической связи между валом электродвигателя и поршня. Назначение этого компонента не просто, так как он должен переносить очень большой крутящий момент.

Моделирование.

При поддержке проектных деятельностей выполняется большая часть работ PIBRAC, посвященная выполнению моделирования на различных этапах проекта. Во-первых, конструкция двигателя определённых размеров, опирающаяся на результаты проектов PAMELA. Исследование влияния различных геометрических параметров двигателей (габаритные размеры, рабочее напряжение) на выходные характеристики осуществляется с помощью аналитической модели, принимающей в счет пределы пьезоэлектрических и трибологических материалов. Теоритический анализ основан на деталировании каждой детали (FEM), производимым для оптимизации конструкции. На этом этапе свойства тангенциального и осевого направлений оптимизируются для получения большего уровня механической энергии.

Эффективность механических преобразований путем высокочастотных электрических колебаний пьезоэлектрических приводов, вызывающих непрерывное движение ротора благодаря влиянию трения, также оптимизируется на примере использования нелинейной динамической модели. Планируется эффективность, превышающая 50%. Одновременно с механической конструкцией поставляемая мощность и системы контроля также исследуются путем моделирования с использованием равного по величине кругового обращения.

Когда проектные задачи будут выполнены, то мехатронный анализ целого тормозного актюатора, включая датчики двигателя и

систему управления приводом, будет отлажен и будет использоваться для осуществления настройки актюатора. Тогда и актюатор будет готов к эксплуатации.

Выбор, обоснование и расчёт актуатора.

В отечественной промышленности (ОАО «Электропривод») на замену электромеханизму триммерного эффекта МП-100 выпускаются следующие типы актуаторов для нужд авиации (табл. 2):

Таблица 2. Технические характеристики актуаторов выпускаемые ОАО «Электропривод».

Наименование	Напряжение питания, В	Осевое усилие на штоке		Скорость штока, мм/с	Статическая нагрузка на штоке		Рабочий ход штока, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, кг, не более
		Номинальное, Н (кгс)	Максимальное, Н (кгс)		Эксплуатационная Н (кгс)	Предельная, Н (кгс)			
МП10С 2,5А	27	980 (100)	1470 (150)	2,5	1960 (200)	3920 (400)	10…80	41х96х192	0,9
МП10С 1,5А14	27	980 (100)	1470 (150)	1,5	3920 (400)	9800 (1000)	10…80	41х96х192	0,9
МП10С 2,5А14	27	980 (100)	1470 (150)	2,5	3920 (400)	9800 (1000)	10…80	41х96х192	0,9

В актуаторах, приведённых в таблице 1, используются двигатели постоянного тока на +27В, ток потребления порядка 2А.

Таким образом, для подтверждения актуальности использования пьезоэлектрического двигателя необходимо спроектировать двигатель, имеющий характеристики не хуже, чем:

Осевое усилие - номинальное, Н(кгс)..……..……..980(100);

Осевое усилие - максимальное, Н(кгс)……..……1470(150);

Скорость штока, мм/с……..…….……..2,5;

Статическая нагрузка на штоке – эксплуатационная, Н(кгс)1960(200);

Статическая нагрузка на штоке – предельная, Н(кгс)….. 9800(1000);

Рабочий ход штока, мм…….……..10-80;

Масса, кг, не более…….....0,9;

Потребляемая мощность проектируемого пьезоэлектрического двигателя не должна превышать

$P_п=U_{пит}*I_п=27В*2А=54$ Вт.

Расчёт вала актуатора на устойчивость.

Проверим на устойчивость винт (шток) актуатора (узел передачи винт-гайка).

Способность бруса устойчиво сохранять прямолинейную форму в равновесии зависит от величины сжимающих сил (нагрузок). При некотором достаточно большом значении нагрузок нарушенная толчком прямолинейная форма равновесия бруса окажется утраченной им навсегда, брус не вернётся в

прямолинейное положение. Это значение нагрузки, при котором исходная прямолинейная форма равновесия перестает быть устойчивой (т. е. происходит потеря устойчивости), называется критическим значением нагрузки. Если нагрузки достигнут критического уровня, то брус потеряет устойчивость и будет разрушен.

Величина критической силы P_k для однопролётного стержня, нагруженного по концам центрально приложенными силами, вычисляют по формуле Эйлера:

$$P_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\min}}{(\mu \cdot l)^2},$$

где E - модуль продольной упругости материала штока, Мпа;

I_{min}-минимальный момент инерции площади поперечного сечения штока, $м^2$;

l- длина штока, м;

μ=2,0 – коэффициент приведения учитывающий способ закрепления концов штока.

Минимальная допустимая гибкость определяется как:

$$\lambda_{пред} \geq \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_n}},$$

где $\sigma_п$-предел пропорциональности материала, Мпа.

$\sigma_п$ - это такое напряжение, меньше которого в материале после снятия нагрузки не остаётся деформаций:

$$\sigma_п < \sigma_Т \leq \sigma_в,$$

σ_T-напряжение смятия; $\sigma_в$ – предел прочности материала.

Исходные данные:

Сила действующая на торец штока $F_т$, Н(кгс)… ... 9800(1000);

Внутренний диаметр резьбы винта $d_ш$, мм(м)..… 26,56(0,02656);

Максимальная длина штока $l_ш$, мм(м)……..…….100 (0,1);

Модуль продольной упругости $E_ш$ (сплав ВТ5), ГПа… ..200;

Требуемый коэффициент запаса устойчивости $[n_y]$, отн.ед…..…..3.

Рассчитаем момент инерции круглого сечения (ось проходит через центр тяжести сечения):

$$I = \frac{\pi \cdot d_ш^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 497,6365 \cdot 10^{-9}}{64} = 24,415293 \cdot 10^{-9} \approx 24,42 \cdot 10^{-9} м^4$$

Рассчитаем площадь поперечного сечения штока:

$$S_ш = \frac{\pi \cdot d_ш^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,02656^2}{4} = 0,553765 \cdot 10^{-3} м^2 \approx 0,554 \cdot 10^{-3} м^2$$

Рассчитаем минимальный радиус сечения:

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{S_ш}}; I_{\min} = I; i_{\min} = 0,0066392 м$$

Рассчитаем гибкость винта:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i_{\min}}; \lambda = \frac{2 \cdot 0,07}{0,0066392} = 21$$

Определим критическую силу. Так как гибкость винта выше предельной, следовательно, критическую силу нужно определять по формуле Эйлера:

$$P_k = \frac{\pi^2 \cdot 200 \cdot 10^9 \cdot 24,42 \cdot 10^{-9}}{(2 \cdot 0,1)^2} = 63202H$$

Определим запас устойчивости:

$$n_y = \frac{P_k}{P} \geq [n_y]; n_y = \frac{63202}{9800} = 6,4492 \geq 3$$

Условие выполняется, что в свою очередь означает - устойчивость винта больше трёхкратного запаса и достаточна.

Выбор актюатора.

В отечественной промышленности работает ряд организаций, производящих пьезоэлектрические элементы и устройства из них. Наиболее известной организацией работающей в этой области является ОАО "НИИ "Элпа". ОАО "НИИ "Элпа" предоставляет услуги по производству пьезоматериалов и изделий из них с широчайшим выбором характеристик, а также устройств на их основе. Краткие характеристики многослойных актюаторов приведены ниже (табл. 3):

Таблица 3. Типы актюаторов выпускаемые ОАО "НИИ "Элпа".

Параметр	Тип актюатора			
	АПМ-2-7; АПМ-2-7-М	АПМ-2-11; АПМ-2-11-М	АПМ-2-15; АПМ-2-15-М	АПМ-2-22; АПМ-2-22-М
Масса, г,	6,5	9,6	12,7	18,8

не более				
Кол-во элементов, N *	7	11	15	22
Длина L, мм	20	31	41	61
Максимальное перемещение при напряжении 100В, мкм	14±15%	22±15%	30±15%	44±15%
Статическая ёмкость, мкФ	3,0±20%	6,0±20%	7,0±20%	10,0±20%
Сопротивление изоляции, МОм, не менее	5,0	2,0	1,5	1,0
Тангенс угла диэлектрических потерь, отн. ед., не более	0,04	0,04	0,04	0,04
Воздействие внешних факторов				
Рабочий диапазон температур, ºС	от минус 30 до +85			
Изменение температуры среды, ºС	от минус 40 до +85			
Синусоидальная вибрация	Диапазон частот: 1-200 Гц; Амплитуда ускорения: 50(5)м/с2			
Механический одиночный удар	Длительность действия ударного ускорения: 5-10 мс;			

На рисунке 14 и 15 приведены габаритные чертежи актюаторов.

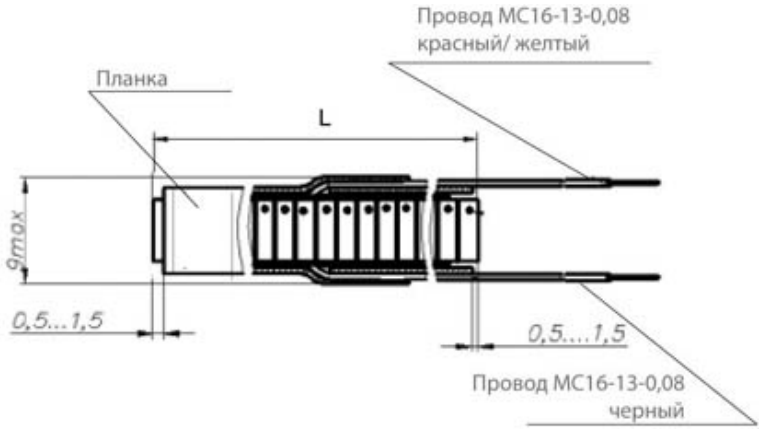


Рис. 14. Актюатор. Конструкторское исполнение АПМ-2-N.

Рис. 15. Актюатор. Конструкторское исполнение АПМ-2-N-M.

Так как необходимо создать пьезодвигатель с максимальным осевым усилием P_{max} = 1470Н, актюатор типа АПМ-2 имеет малое расчётное значение блокирующего усилия $P_{АПМ}$≥1200Н, присутствуют ограничения по габаритам проектируемого пьезодвигателя, то в данной работе был применён многослойный

актюатор линейного расширения типа АПМ-2 с заданными характеристиками. Имеется возможность изготовления актюатора типа АПМ-2 по параметрам заказчика в ОАО «НИИ «Элпа».

Исходные данные:

Масса, г, не более ……..15

Кол-во элементов, N ……..7

Длина L, мм…….. 20

Максимальное перемещение при напряжении 100В, мкм …..14±15%

Статическая ёмкость, мкФ ……3,0±20%

Сопротивление изоляции, МОм, не менее ……5,0

Тангенс угла диэлектрических потерь, отн. ед., не более ……0,04

Дополнительные данные:

- Резонансная частота актюаторов при креплении к жесткому основанию более 10 кГц.
- Расчетное значение блокирующего усилия актюаторов ≥3000 Н.
- Перемещение торца актюатора при изменении напряжения характеризуется петлей гистерезиса, составляющей ~ 20% от максимального значения величины перемещения.
- Актюаторы рекомендуется использовать в условиях предварительного поджатия силой не менее 350 Н (35 кгс).

Расчёт демпфирующей пружины.

Для упрощения проектирования в данной работе приведены расчётные данные (табл. 3) демпфирующей пружины (номинальное усилие 30 кгс = 300Н), рассчитанной в программе, взятые на сайте [2].

Таблица 3. Расчётные данные пружины.

Наименование параметра	**Значение параметра**
Диаметр проволоки d_w, мм	2,5
Наружный диаметр пружины D_{0d} , мм	10
Свободная высота H_0, мм	11,6
Полное число витков пружины c_2	4
Высота пружины при рабочей деформации H_2 ,мм	10,2
Модуль сдвига материала G_w , кгс/см^2	820000
Плотность материала проволоки ρ_w, г/см^3	7,9
Сила пружины при рабочей деформации $F_2=F_{cs}$, кгс	21
Сила пружины при максимальной деформации F_{3max}, кгс	42,7
Рабочее касательное напряжение пружины τ_{3max}, кг/см^2	8250
Индекс пружины	3
Максимальная деформация одного витка f_3, мм	0,5
Жесткость пружины C_{cs}, кгс/мм	14,989
Коэффициент запаса по касательным τ_{3max}/ τ_2	2,036>1,11
Шаг навивки пружины t_{cs}, мм	4,6
Длина развёрнутой пружины L_{cs} , мм	96,7

Масса пружины m_{cs} , г	4
Отклонение от перпендикулярности e_1, мм	0,5

Принцип работы актуатора с пьезоэлектрическим двигателем.

Устройство спроектированного пьезоэлектрического двигателя.

Спроектированный пьезоэлектрический двигатель состоит из (рис. 16):

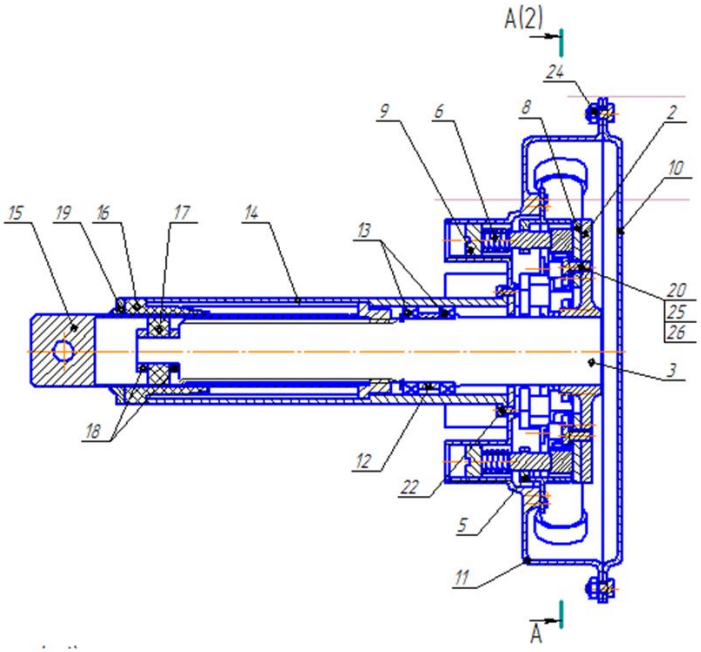
1. Пьезоэлектрический элемент (актюатор);
2. Ротор;
3. Вал со шлицами с одной стороны (соединение с ротором) и винтовым пазом с другой (передача винт-гайка);
4. РТ – рабочее тело;
5. Держатель для актюаторов;
6. Демпфирующие пружины с возможностью регулирования усилия натяжения;
7. Фиксатор;
8. Кольцо из материала ферродо (увеличение коэффициента трения между РТ и ротором до 0,5);
9. Регулировочный винт (задаёт натяжение демпфирующей пружине);
10. Крышка;
11. Корпус;
12. Втулка;
13. Шариковые подшипники;

14. Цилиндр с направляющими;

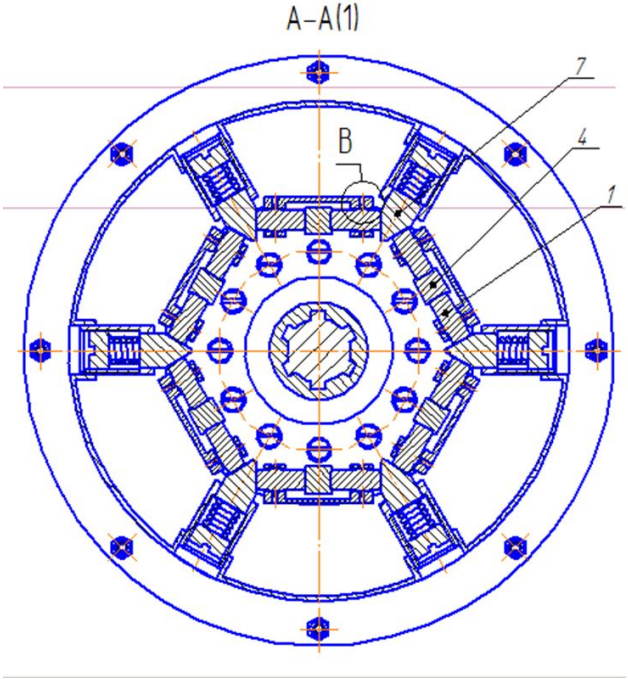
15. Шток;

16. Сальники и уплотнительные кольца (для герметичности);

и др. стандартных крепёжных элементов.



а) Фронтальный вид.



б) Сечение А-А.

Рис. 16. Сборочный чертёж пьезоэлектрического актуатора.

Принцип работы пьезоэлектрического двигателя.

В основе работы спроектированного пьезоэлектрического двигателя лежит принцип, согласно которому все точки рабочего тела (РТ) поз.4, входящих в контакт с ротором поз. 2 (рис. 16), должны двигаться по траекториям близким к эллиптическим [3]. Для этого на РТ поз. 4 воздействуют три пьезоактюатора поз.1, в которых возбуждаются продольные колебания по длине.

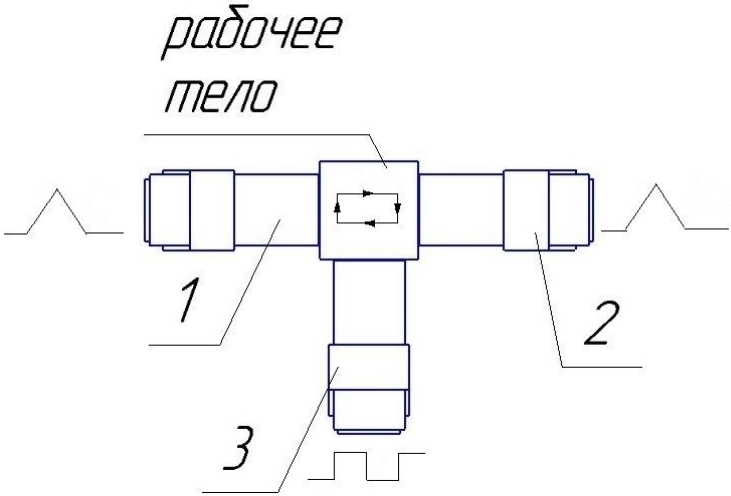


Рис. 17. Система из трёх пьезоактюаторов с рабочим телом.

Эти колебания должны быть механически связанными только с РТ, то есть энергия с РТ не должна переходить в другое колебание (не должна передаваться на корпус), для чего устанавливаются демпфирующие пружины поз.6. В соответствии с [3], коэффициент полезного действия может превышать 80%, когда угол наклона эллиптической траектории движения контактной точки к плоскости ротора минимален, или же в идеале траектория имеет форму прямоугольника (треугольника).

Для формирования траектории движения контактной точки в виде прямоугольника необходимо подать на актюаторы управляющее напряжение следующего характера (рис. 18) .

В начальный момент времени (t=0) ввиду отсутствия напряжения система будет находиться в покое, что соответствует положению контактной точки (КТ) точке 0. При подаче линейно изменяющегося напряжения на пьезоактюатор 2 в момент времени t_0 на пьезоактюаторе 2 будет максимальное напряжение, приводящая к увеличению до максимального значения длины пьезоактюатора, и положение КТ будет соответствовать точке 1. В тот же момент времени напряжение пьезоактюатора 3 резко увеличивается, и также будет находиться в максимально растянутом положении, а координаты КТ на поверхности РТ будут определяться точкой 2. В промежутке времени от t_0 до t_1 напряжение на актюаторе 2 будет понижаться, а на актюаторе 3 остаётся неизменным и максимальным. В момент времени t_1 напряжение на актюаторе 2 будет равно U_{m2}=0В, а на актюаторе 3 напряжение остаётся максимальным, и положение КТ будет определяться точкой 3. Дальнейшее перемещение КТ в промежутке времени от t_1 до t_2 определяется возрастанием напряжения на актюаторе 1 и в момент времени t_2 соответствует положению точки 4. В момент времени t_2 напряжение управления актюатором 3 резко падает и КТ перемещается в точку 5. Характер изменения напряжения (линейно уменьшается) на актюаторе 1 в промежутке времени от t_2 до t_3 характеризует замыкание траектории движения КТ и возвращение к первоначальному положению к точке 0. Такое управление системой из трёх актюаторов обеспечивает взаимодействие поверхности РТ с поверхностью ротора с

максимальной передачей энергии и коэффициентом полезного действия $\eta_{дв}$=0,8 (80%).

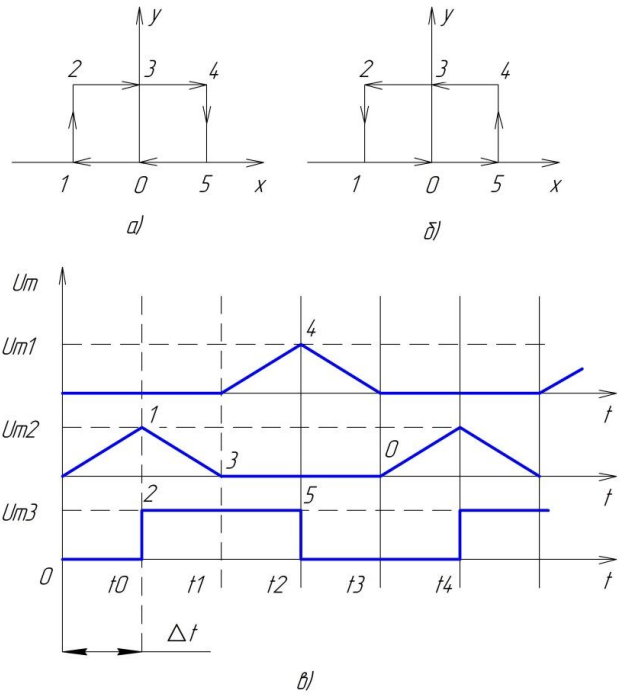


Рис. 18. Схема формирования траектории контактной точки. Циклограмма работы системы из трёх актюаторов: а) прямого хода, б) обратного хода (реверса); в) управляющие напряжения, подаваемые на актюаторы.

Очевидно, что при подаче номинального напряжения на актюаторы 1,2 перемещение КТ РТ на участке 2-3-4 составит $x_{КТ}$=(2*14)=28±15% мкм. Для осуществления реверса необходимо и достаточно сместить импульсное напряжение, подаваемое на актюатор 1, на 2*Δt влево, а пьезоактюатор 2 сместить на 2*Δt

вправо (рис. 18, в), и замкнутость - траектория (циклограмма) КТ - определиться точками 0-5-4-3-2-1-0.

Физическая модель разработанного пьезоэлектрического двигателя.

Основные понятия момента силы.

Момент силы — векторная физическая величина, равная векторному произведению радиус-вектора (проведённого от оси вращения к точке приложения силы — по определению) на вектор этой силы. Характеризует вращательное действие силы на твёрдое тело.

Крутящий момент — внутреннее усилие, возникающее в объекте под действием приложенных нагрузок.

Вращающий момент — внешнее усилие, прикладываемое к объекту.

Физическая модель.

На рисунке 19 приведено взаимодействие рабочей точки на поверхности РТ с ротором.

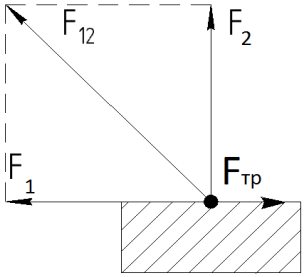


Рис. 19. Взаимодействие контактной точки с ротором.

Из принципа работы следует, что в момент касания КТ на поверхности РТ с поверхностью ротора образуется результирующая сила, обусловленная траекторией движения, и она складывается из двух сил F_1 и F_2 (рис. 20). Сила F_1=3000Н равна по величине силе воздействия на РТ актюатора 2. Сила F_2=500Н равна по величине силе воздействия на РТ актюатора 3. Кроме этого из-за специфики взаимодействия (см. п.п. 8.2) и конструктива будет возникать сила трения $F_{тр} \geq 350$Н, равная силе создающейся за счёт узла - актюатор-демпфирующая пружина (действие сил по нормали к поверхности РТ). Такое взаимодействие называется **фрикционным** (от англ. «Friction» - трение).

В спроектированном пьезоэлектрическом двигателе на ротор одновременно воздействуют силы в шести таких точках (рис. 21).

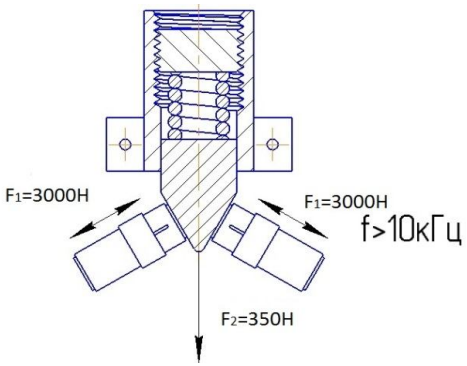


Рис. 20. Воздействие демпфирующей пружины на боковые актюаторы.

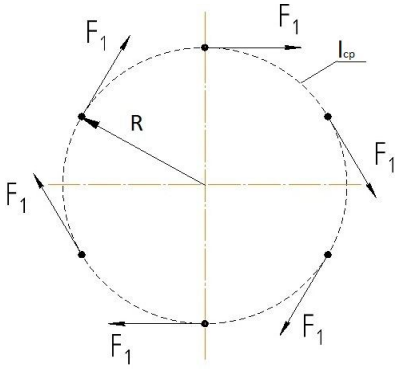


Рис. 21. Силы в точках взаимодействия между ротором и РТ по средней линии ротора.

Из рисунков 19 и 21 видно, что вращающий момент двигателя (момент на валу, поз. 3 рис. 17) будет складываться из суммы всех моментов образующихся за счёт сил F_1 фрикционного взаимодействия. Тогда формула определения выходного момента на валу двигателя определится как:

$$M_{дв} = R \cdot (n(F_1 + k_{тр} \cdot F_2) - k_{тр} \cdot F_{тр}),$$

где $к_{кт}$=0,5 – коэффициент трения между РТ и ротором с учётом свойств ферродо и материала РТ;

$M_{дв}$ – момент на выходном валу;

R=0,0525м – плечо приложения сил (радиус от средней линии контакта $l_{ср}$ до центра ротора);

n=6 - количество точек взаимодействия.

Подставляя значения, получим максимальное значение момента на выходном валу:

$$M_{дв}^{макс} = 0{,}0525 \cdot (6(3000 + 0{,}5 \cdot 3000) - 0{,}5 \cdot 3350) = 1329{,}5625 Н * м$$
$$= (132{,}29 \text{ кгс}).$$

С учётом КПД (коэффициент полезного действия) передачи винт-гайка не менее 80% получим:

$$M_{дв}^{макс} = 1329{,}5625 \cdot 0{,}8 = 1063{,}65 Н * м (108{,}53 кгс)$$

Так как мы производим замену МП10С, осевое усилие штока на выходе которого $P_{шт}$=100кгс=980Н, очевидно, что условие выполняется.

Со слов изготовителей актюаторов максимальная сила при максимальном напряжении, которую может развить актюатор типа АПМ-2-7 на мм^2 F_{1max}=F_{2max}=30Н. Таким образом, увеличивая размеры поперечного сечения актюаторов можно изменять максимальное значение момента на выходном валу вместо увеличения плеча R, ведущего к увеличению габаритов самого актюатора.

Скорость вращение ротора будет определяться частотой подаваемого напряжения на актюаторы, а также относительным удлинением самих актюаторов. Так как в данной работе спроектированный пьезоактюатор является аналогом МП10С, тогда скорость выдвижения штока будет равна V_2=2,5мм/с. Шаг резьбы соединения винт-гайка Н=2мм. Из этого следует, что вал (поз. 3, рис. 17), а ровным счётом и ротор (поз. 2, рис. 17) должен совершать $w_в$= V_2/ Н=1,25об/с.

Максимальное перемещение КТ (рис. 18) будет соответствовать двойному значению от максимального удлинения

актюаторов h=28мкм. Соответственно, за один такт от базовой частоты работы актюаторов ротор сдвинется по средней линии $l_{ср}=2\pi R=2*3,14*52,5=329,7$мм (рис. 21) на ту же величину h=28 мкм. Тогда величина частоты работы двигателя будет равна:

$$f_{дв}=\frac{l_{ср}\cdot w_{в}}{h}=\frac{329,7\cdot 1,25}{0,028}=14718,75Гц.$$

Постольку поскольку между РТ и ротором в первоначальный момент идёт упругое взаимодействие, а затем и основное неупругое взаимодействие, и при такой траектории РТ[3] коэффициент полезного действия $\eta\geq 80\%$, расчётная величина частоты рабочего напряжения определится как:

$$f_{дв}^{р}=\frac{f_{дв}}{0,8}=18398,4375Гц.$$

Тенденции к усовершенствованию актюатора.

Тенденцией к усовершенствованию актюатора с пьезоэлектрическим двигателем станет применение вместо передачи винт-гайка шарико-винтовой передачи. Данная замена позволит не только уменьшить габариты самого актюатора с пьезоэлектрическим двигателем, но и повысить КПД за счет достижения большего максимального значения момента на выходном валу из-за уменьшения сил трения, возникающих между составными деталями передачи.

Более того, по данным производителя актюаторов максимальная сила при максимальном напряжении, которую может

развить актюатор типа АПМ-2-7 на мм2 F1max=F2max=30Н. Таким образом, увеличивая размеры поперечного сечения актюаторов, можно изменять максимальное значение момента на выходном валу вместо увеличения плеча R, ведущего к увеличению габаритов самого актюатора.

Другим усовершенствованием актюатора может быть использование замкнутого цикла в передаче энергии. Избежать потери энергии в системе можно путем использования внутренней энергии, высвобождающейся при механическом воздействии пьезоактюатора 1 на РТ, жестко связанное с системой актюаторов 1,2 и передающее эту энергию пьезоактюатору 2. Т.е. при воздействии пьезоактюатора 1 на РТ на втором пьезоактюаторе напряжения нет, однако, так как РТ жестко связано с пьезоактюаторами 1 и 2, то энергия взаимодействия между пьезоактюатором 1 и РТ передаётся и второму пьезоактюатору. Данную энергию можно накапливать для дальнейшего использования в системе, электрическим путём перенаправляя обратно в систему. Таким образом достигается экономия в использовании энергии.

Другим нововведением может стать модернизация ротора путём подбора соответствующих материалов, создающих большую силу трения между РТ и ротором для обеспечения большего КПД актуатора. Также необходимо использовать компонентные (составные) материалы для уменьшения массогабаритных характеристик изделия.

Выводы

В ходе проделанной работы было достигнуто усовершенствование системы управления элеронами самолета путем замены электромеханического актюатора механизма триммерного эффекта на актюатор с пьезоэлектрическим двигателем, работающим на основе обратного пьезоэлектрического эффекта. Данное нововведение выполняет все необходимые требования для работы в механизме триммерного эффекта. Более того, указанная замена обеспечивает более эффективное управление элеронами самолета за счет преимуществ пьезоэлектрических двигателей над традиционными электродвигателями. В пьезоэлектрических двигателях достигается высокая скорость срабатывания, меньшая стоимость технического обслуживания за счет упрощения конструктивного исполнения механизма триммерного эффекта, более высокая точность позиционирования штока и увеличение надежности в связи с отсутствием электрической обмотки. Главным преимуществом является возможность управления выходной мощностью пьезоэлектрического двигателя. Таким образом, обеспечивается создание универсального двигателя с возможностью выбора требуемой угловой частоты вращения и осевого момента выходного вала без применения редуктора.

На основе собранной и изученной информации, исследовании литературы, изучения основ управления элеронами самолета, конструкции механизма триммерного эффекта и принципа работы

обратного пьезоэлектрического эффекта, была создана модель актюатора с пьезоэлектрическим двигателем, сделаны выводы о применения таких двигателей в современной технике.

Кроме разработки конструкции актюатора с пьезоэлектрическим двигателем значительная часть работы посвящена проведению технических расчетов штока актюатора пьезоэлектрического двигателя для достижения тех же технических характеристик, которыми обладает шток электромеханического актюатора механизма триммерного эффекта. Для осуществления данной замены был выбран тип актюатора МП10С, выпускающийся в отечественной промышленности (ОАО «Электропривод») для нужд авиации в качестве электромеханизма триммерного эффекта. Таким образом, с помощью моделирования актюатора с пьезоэлектрическим двигателем на основе проделанных расчетов обеспечивается полное сопряжение деталей системы механизма триммерного эффекта, позволяющее осуществить указанную замену. В ходе работы был осуществлен расчет штока актюатора на прочность и устойчивость; сила, действующая на торец штока; максимальная длина штока; величина критической силы, действующая на шток; вес штока. Для достижения оптимальной массы актюатора с пьезоэлектрическим двигателем были подобраны соответствующие материалы для изготовления деталей пьезоэлектрического двигателя. Из приведенных выше достоинств актюатора с пьезоэлектрическим двигателем видны перспективы его применения. Его отличительная черта – возможность

использования в различных режимах работы различных устройств и механизмов самолёта. Практически напрямую преобразующий вращательное движение ротора в поступательное движение штока актюатора, актюатор с пьезоэлектрическим двигателем может заменять любой электромеханический привод самолёта.

Также в данной работе было рассмотрено:

1. Теория управления дозвукового и сверхзвукового летательного аппарата;
2. Патентно-реферативный поиск;
3. Порядок проектирования пьезоэлектрических двигателей большой мощности;
4. Расчет и проектирование пьезоэлектрического актюатора взамен электромеханизма МП10С;
5. Принцип работы спроектированного пьезоактюатора;
6. Физическая модель спроектированного пьезоактюатора.

Заключение

В ходе проекта было достигнута модернизация узла управления элеронами путем замена части электромеханического актюатора (МП10С) с электромагнитным приводом на пьезоактюатор. Более продвинутым нововведением станет использование актюаторов, применяющих пьезоэлектрические технологии, что показывают европейские проекты PAMELA и PIBRAC. Их главные характеристики позволяют выполнить все необходимые требования электромагнитных приводов, так как они обладают высоким крутящим моментом при заданной

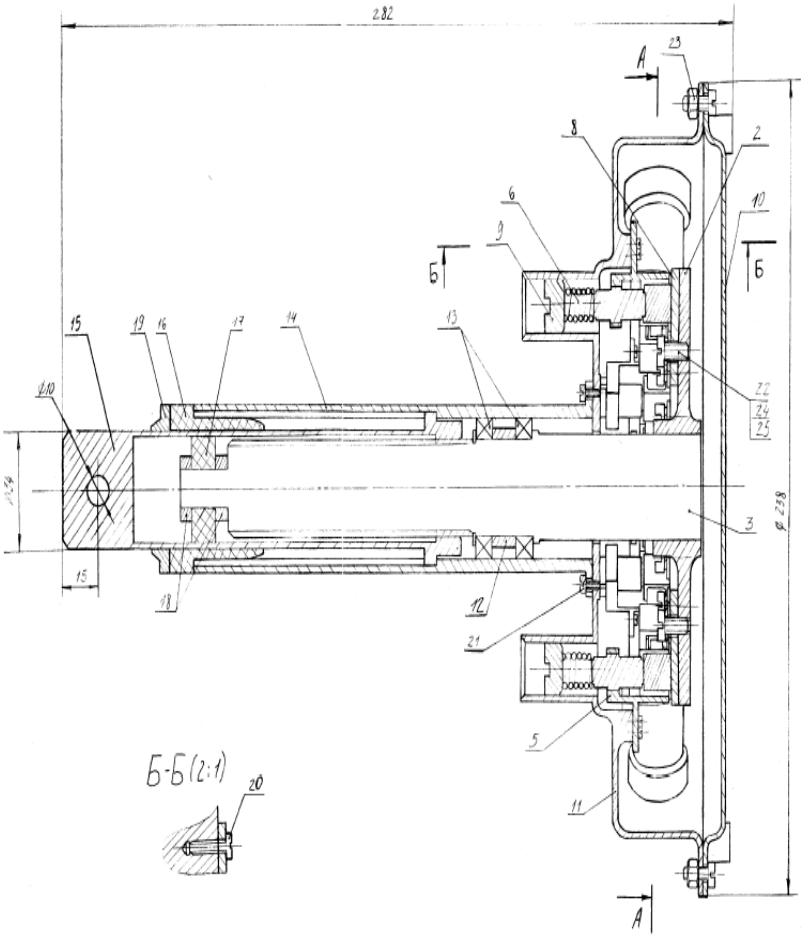
скорости; низкой инерцией, дающей быстрое время реакции; хорошим соотношением мощности и веса по сравнению с электромагнитными приводами. Для демонстрации преимуществ новой технологии это устройство было выбрано в качестве проекта аналогичного европейскому проекту PIBRAC. Кроме конструкции специального пьезоэлектрического двигателя, который имеет преимущества над европейским проектом PAMELA и PIBRAC, большая часть работы посвящена выбору принципа работы и расчёту конструктивных элементов пьезодвигателя, созданию физической модели. Все эти работы поддерживаются моделированием и достаточны для создания макетного образца.

Литература:

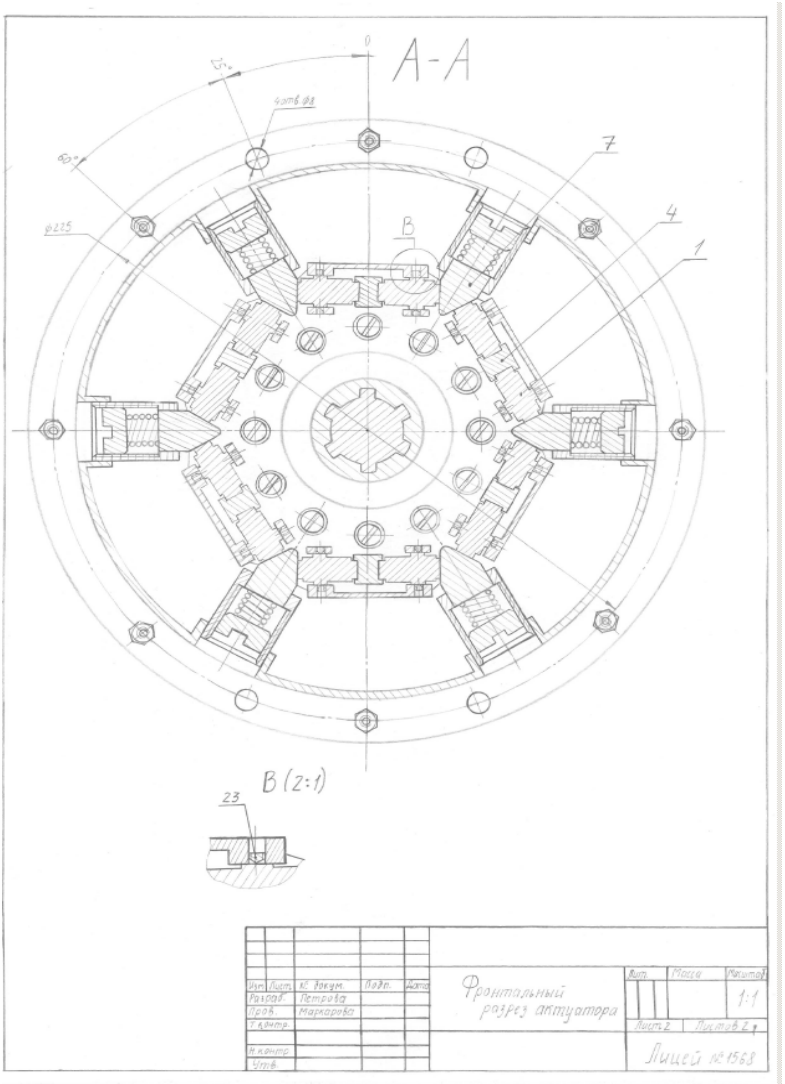
1. http://oat.mai.ru/index.htm
2. http://www.ogm.h11.ru/spring.html
3. Лавриненко «Пьезоэлектрические двигатели» Лавриненко В.В., Карташев И.А., Вишневский В.С, 1980.
4. Петренко С.Ф. «Пьезоэлектрический двигатель в приборостроении», 2002
5. Панич А. Е. «Пьезокерамические актюаторы», 2008
6. Потемки А. Твердотельное моделирование в системе КОМПАС 3D, 2004

7. Большаков В. П. Инженерная и компьютерная графика, 2004
8. Баталов Н. М. Технические основы машиностроительного черчения, 1962
9. http://oat.mai.ru/book/glava12/12_3/12_3.html
10. http://old.as-club.ru/kurs3/aero/html/kurs_1126_0.html
11. http://cnit.ssau.ru/virt_lab/su/su2_31.htm
12. https://docviewer.yandex.ru/?uid=89135016&url=ya-mail%3A%2F%2F25300000024156906 89%2F1.3&name=319.pdf&c=54ae65ea82a9
13. http://www.findpatent.ru
14. http://www.elpapiezo.ru/mnogo_piezo.shtml
15. http://www.elpapiezo.ru/Catalogs/Catalog_of_piezoceramic.pdf
16. Склянский Ф.И. «Управление сверхзвукового самолёта», 1964.

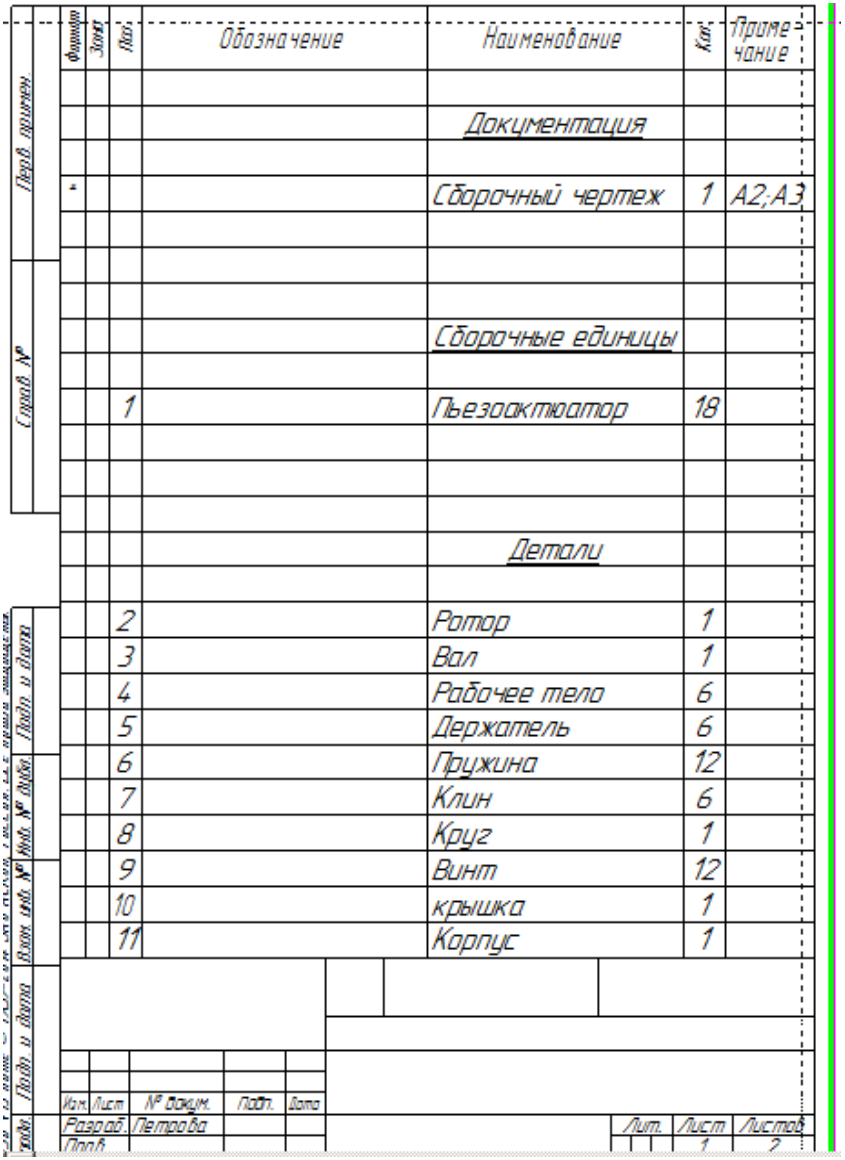
Приложение. Сборочный чертеж актюатора с пьезоэлектрическим двигателем



Фронтальный разрез актуатора с пьезоэлектрическим двигателем



Спецификация



Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документация		
А				Сборочный чертеж	1	А2;А3
				Сборочные единицы		
		1		Пьезоактюатор	18	
				Детали		
		2		Ротор	1	
		3		Вал	1	
		4		Рабочее тело	6	
		5		Держатель	6	
		6		Пружина	12	
		7		Клин	6	
		8		Круг	1	
		9		Винт	12	
		10		крышка	1	
		11		Корпус	1	

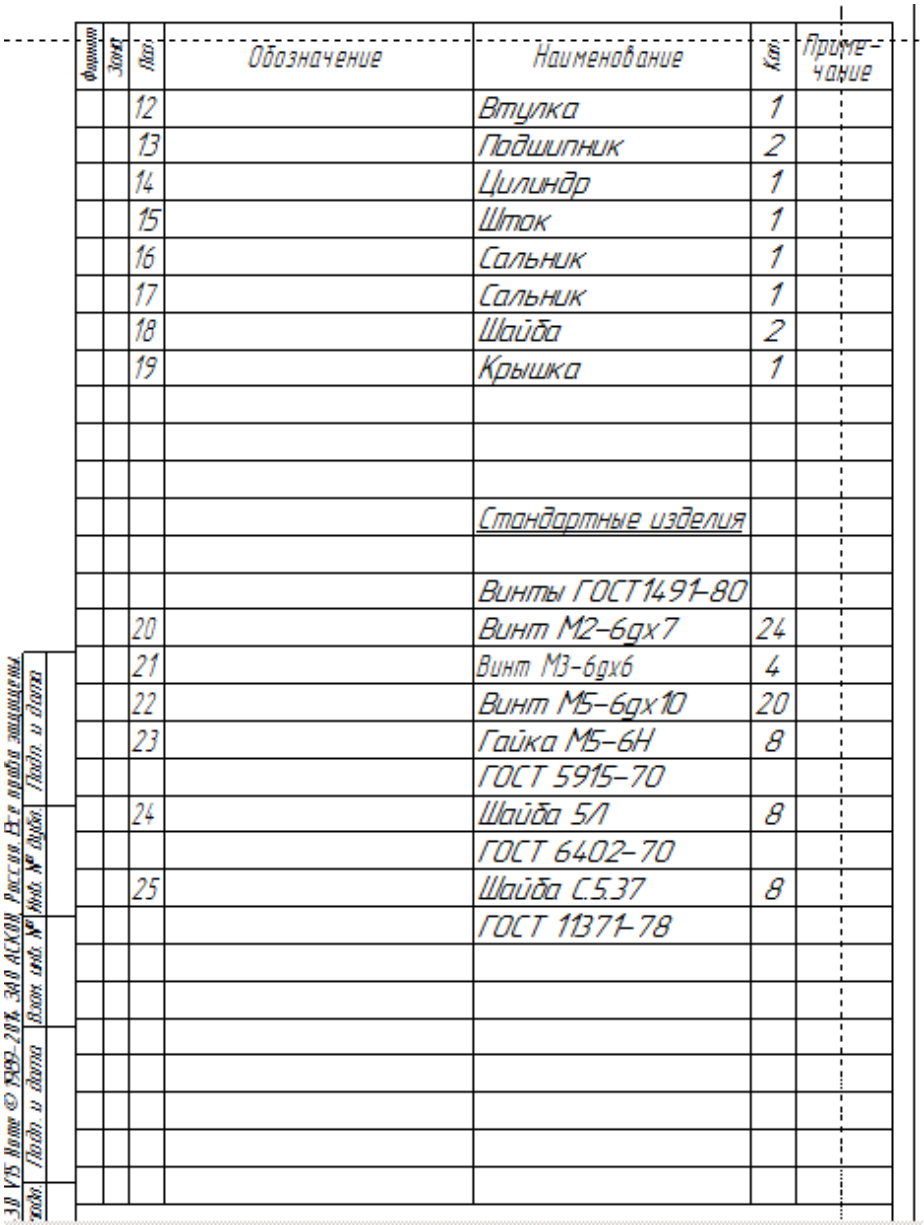
Перв. примен. | Справ. № | Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата

Изм. Лист № докум. Подп. Дата

Разраб. Петрова

Пров.

Лит. Лист 1 Листов 2



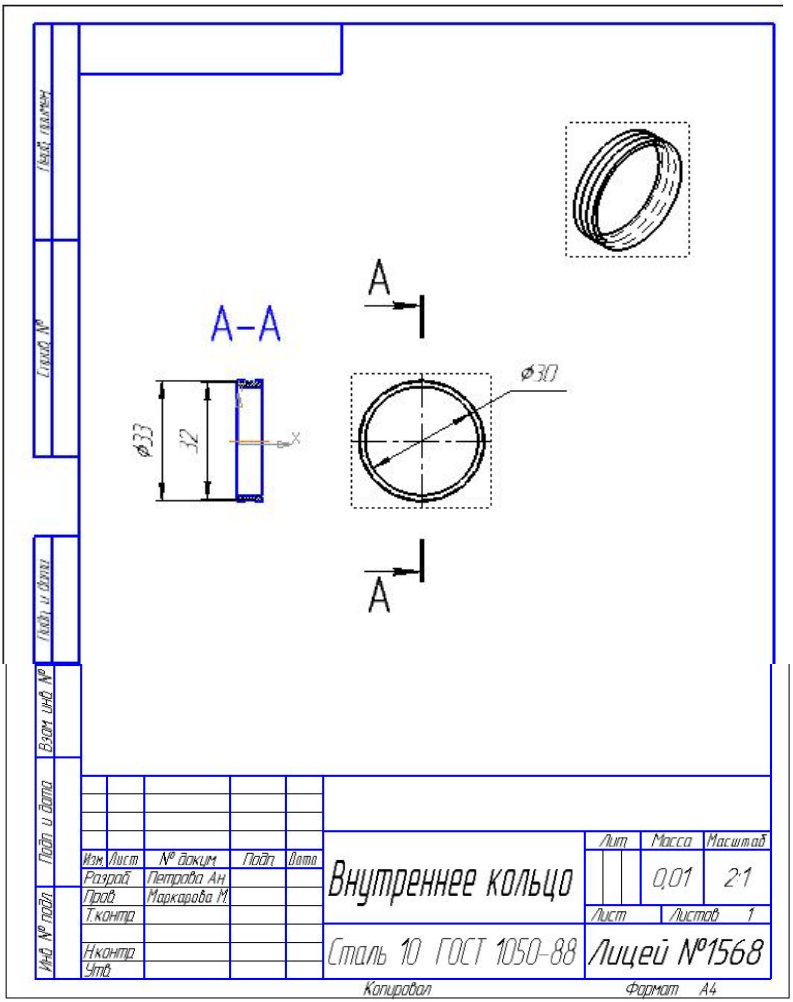
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
		12		Втулка	1	
		13		Подшипник	2	
		14		Цилиндр	1	
		15		Шток	1	
		16		Сальник	1	
		17		Сальник	1	
		18		Шайба	2	
		19		Крышка	1	
				Стандартные изделия		
				Винты ГОСТ1491-80		
		20		Винт М2-6gx7	24	
		21		Винт М3-6gx6	4	
		22		Винт М5-6gx10	20	
		23		Гайка М5-6Н	8	
				ГОСТ 5915-70		
		24		Шайба 5Л	8	
				ГОСТ 6402-70		
		25		Шайба С.5.37	8	
				ГОСТ 11371-78		

3D V15 Home © 1989-2014 ЗАО АСКОН Россия. Все права защищены.

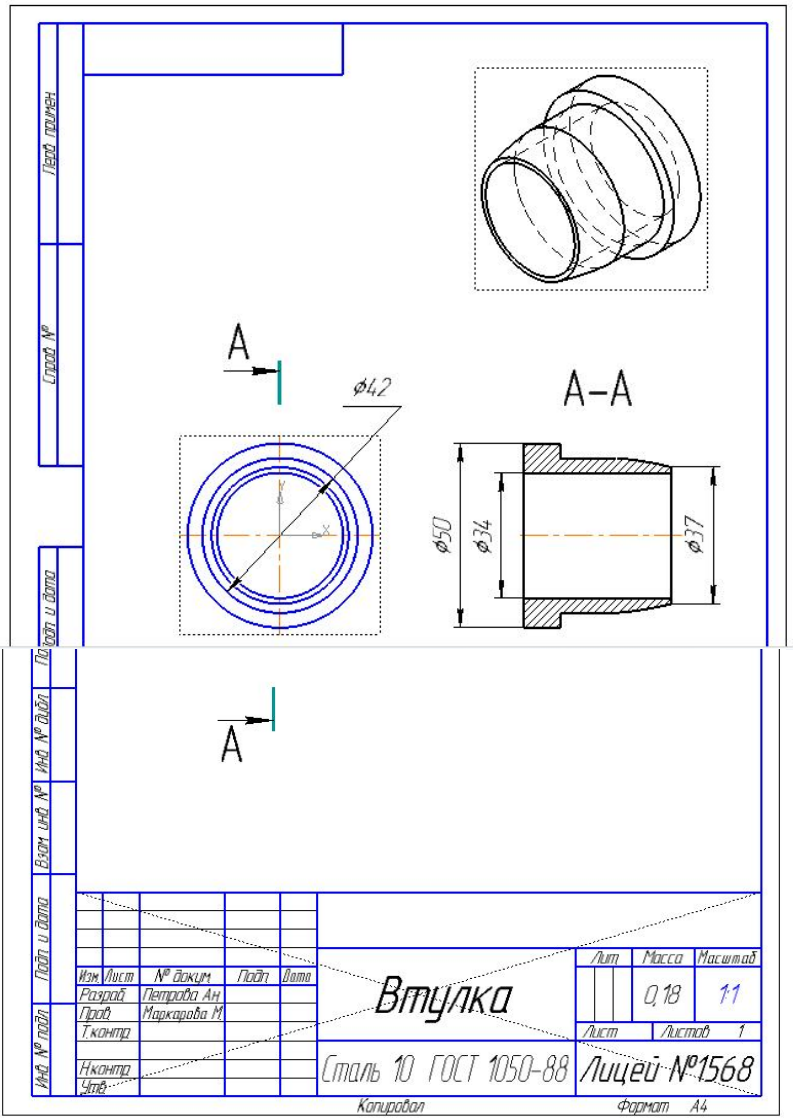
Подп.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Деталирование.

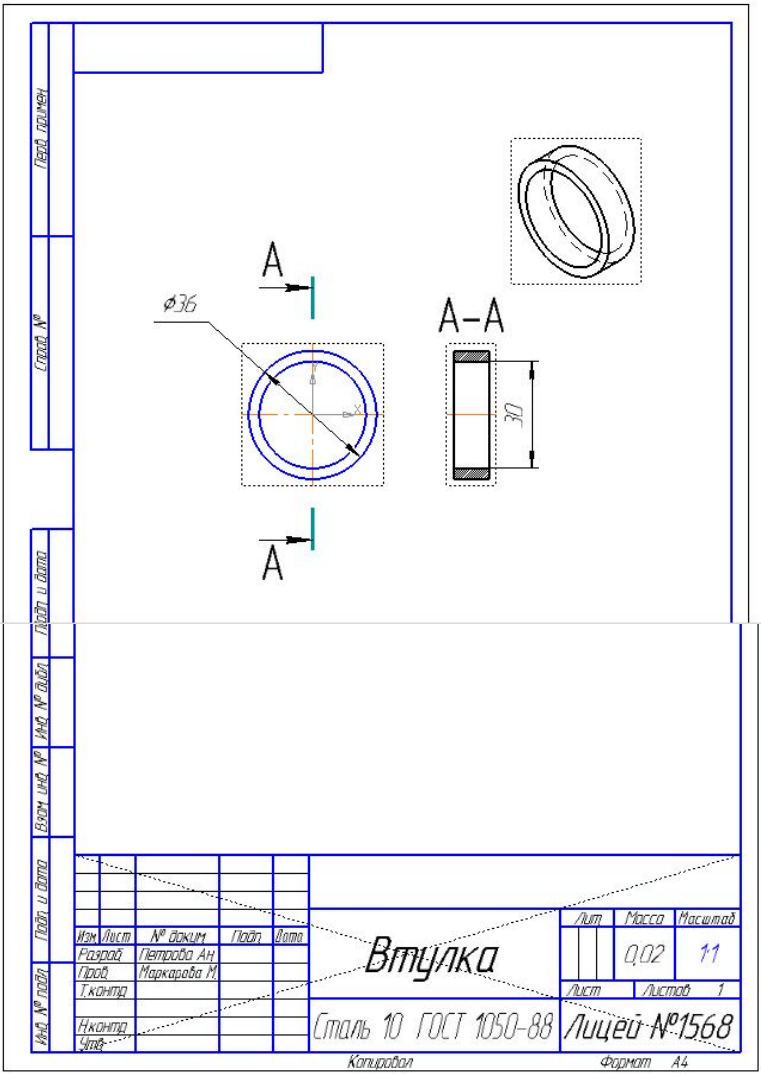
Внутреннее кольцо



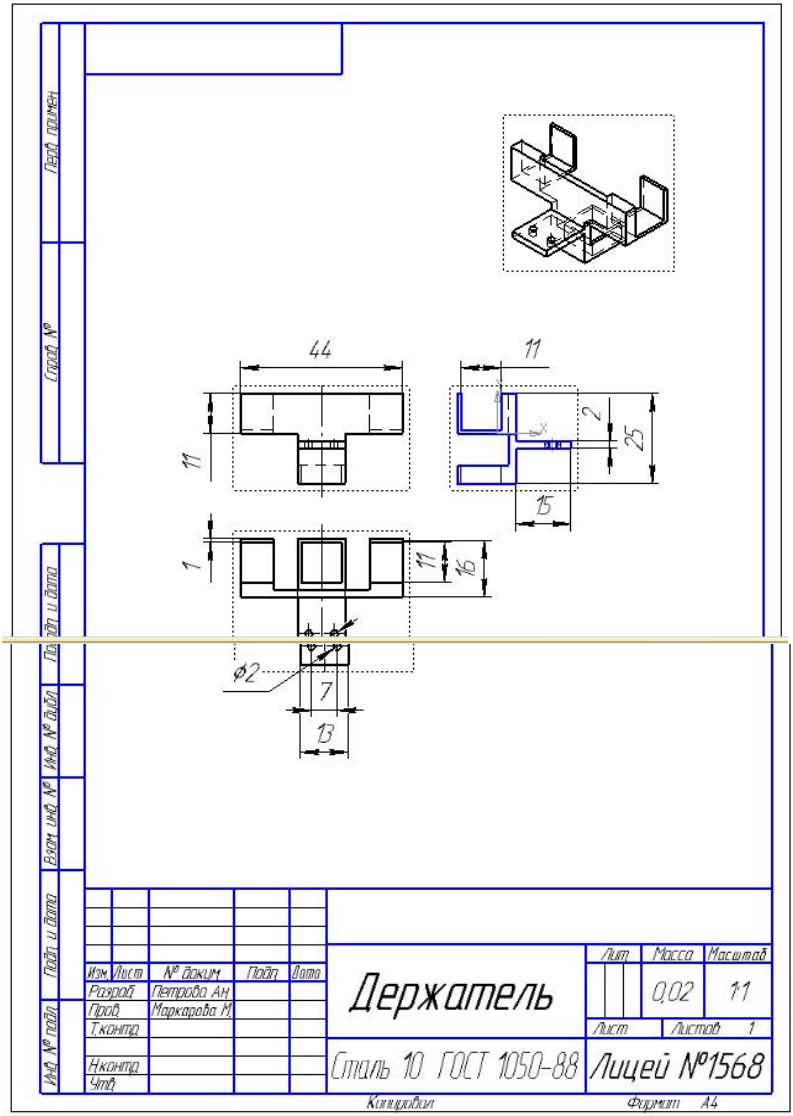
Втулка 1.


Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.
A
ϕ42
A–A
ϕ50
ϕ34
ϕ37
A
Изм. Лист
№ докум.
Подп.
Дата
Разраб.
Петрова Ан.
Пров.
Маркарова М.
Т.контр.
Н.контр.
Утв.
Втулка
Лит.
Масса
Масштаб
0,18
1:1
Лист
Листов 1
Сталь 10 ГОСТ 1050-88
Лицей №1568
Копировал
Формат А4

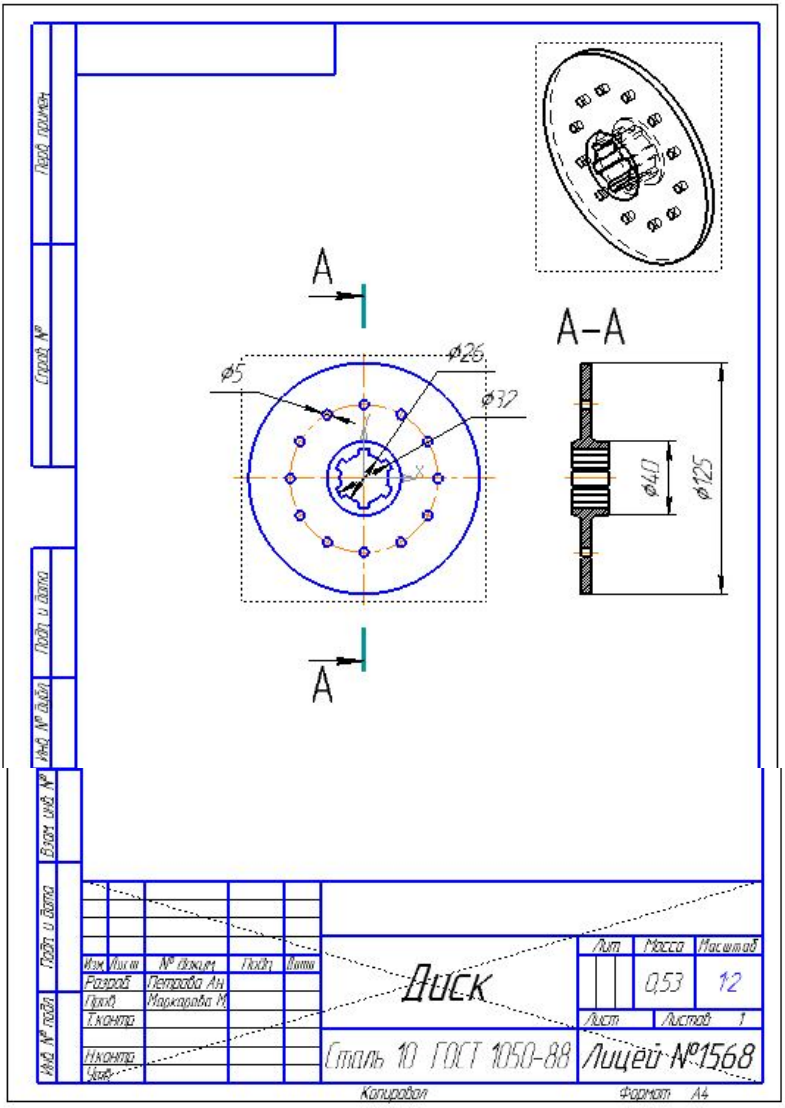
Втулка 2.


A
ϕ36
A
A–A
30
Втулка
Сталь 10 ГОСТ 1050-88
Лицей №1568
Масса
Масштаб
0,02
1:1
Лист
Листов 1
Копировал
Формат А4

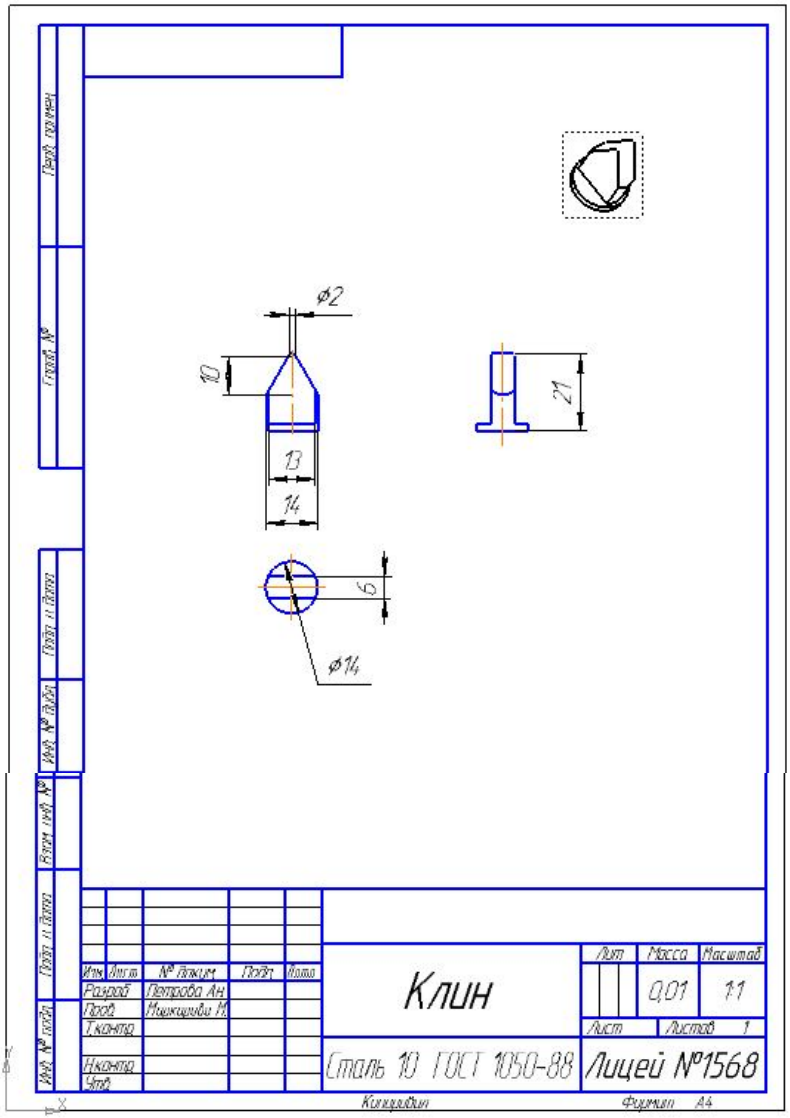
Держатель.


44
11
11
2
25
15
1
11
16
ϕ2
7
13
Держатель
Сталь 10 ГОСТ 1050-88
Лицей №1568
Масса
Масштаб
0,02
1:1
Лист
Листов 1
Копировал
Формат А4

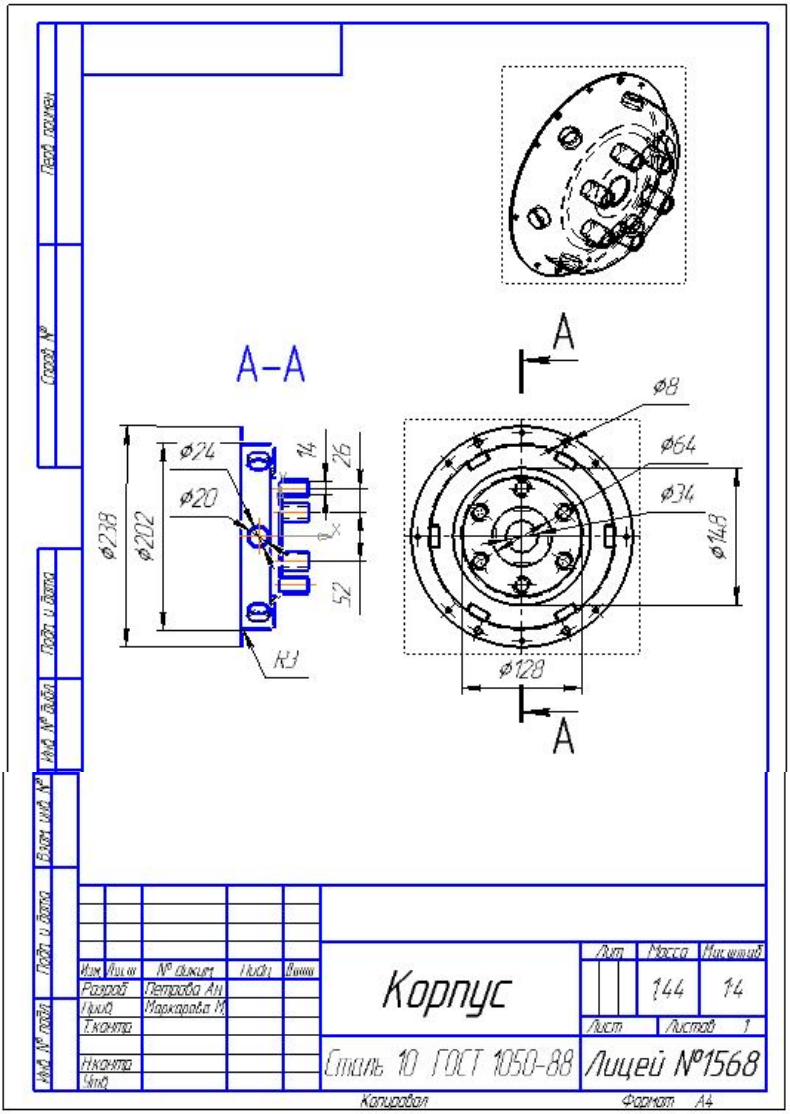
Диск.


A
A–A
ϕ5
ϕ26
ϕ32
ϕ40
ϕ125
Диск
Сталь 10 ГОСТ 1050-88
Лицей №1568
Масса
Масштаб
0,53
1:2
Лист
Листов 1
Копировал
Формат А4

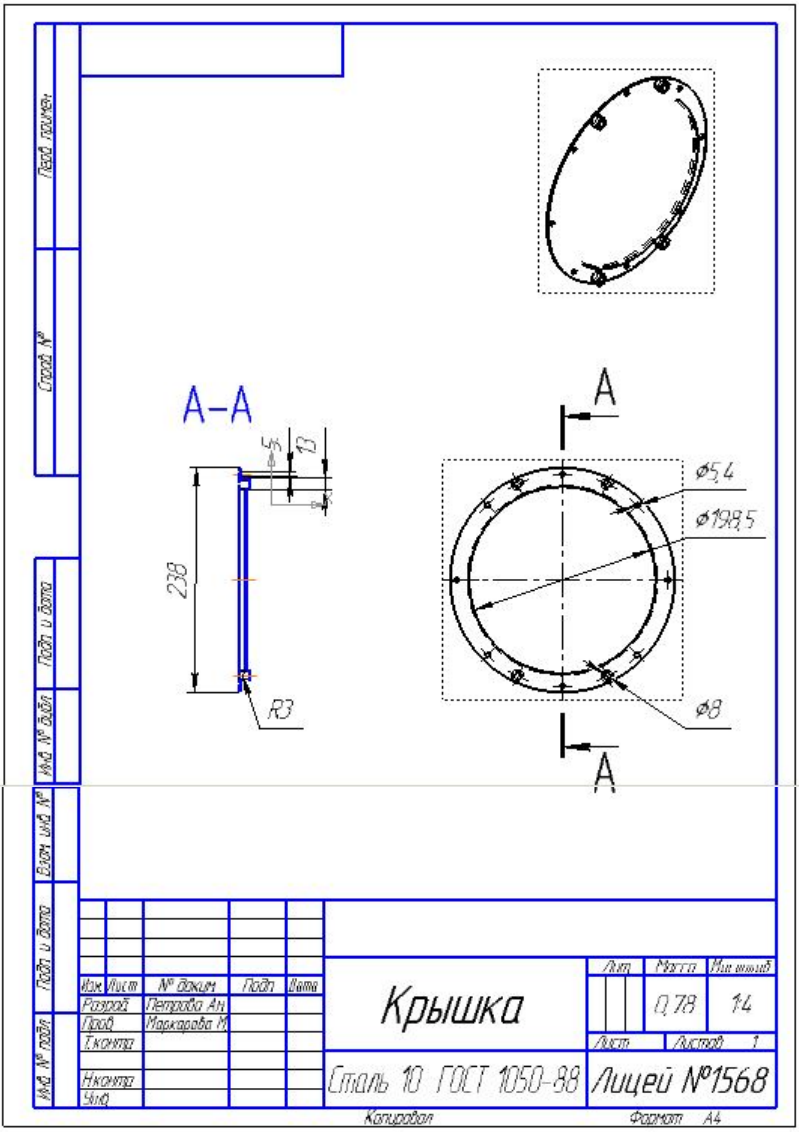
Клин.


ø2
10
21
13
14
6
ø14
Клин
Лит
Масса
Масштаб
0,01
1:1
Лист
Листов 1
Сталь 10 ГОСТ 1050-88
Лицей №1568
Разраб
Петрова Ан
Пров
Т.контр
Н.контр
Утв
Копировал
Формат А4

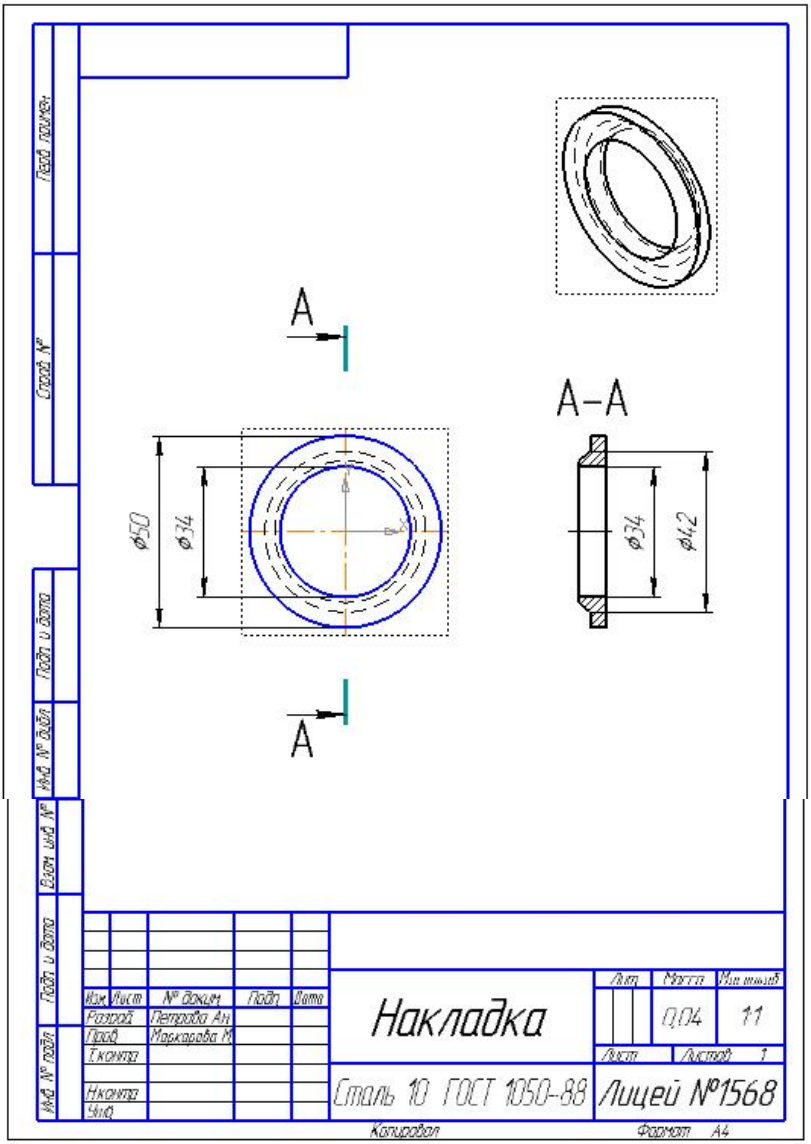
Корпус.


А–А
А
А
ø8
ø64
ø34
ø148
ø128
ø24
ø20
ø238
ø202
14
26
52
R3
Корпус
Сталь 10 ГОСТ 1050-88
Лицей №1568
Масса
1:4
Лист
Листов 1
Разраб
Петрова Ан
Маркарова М
Копировал
Формат А4

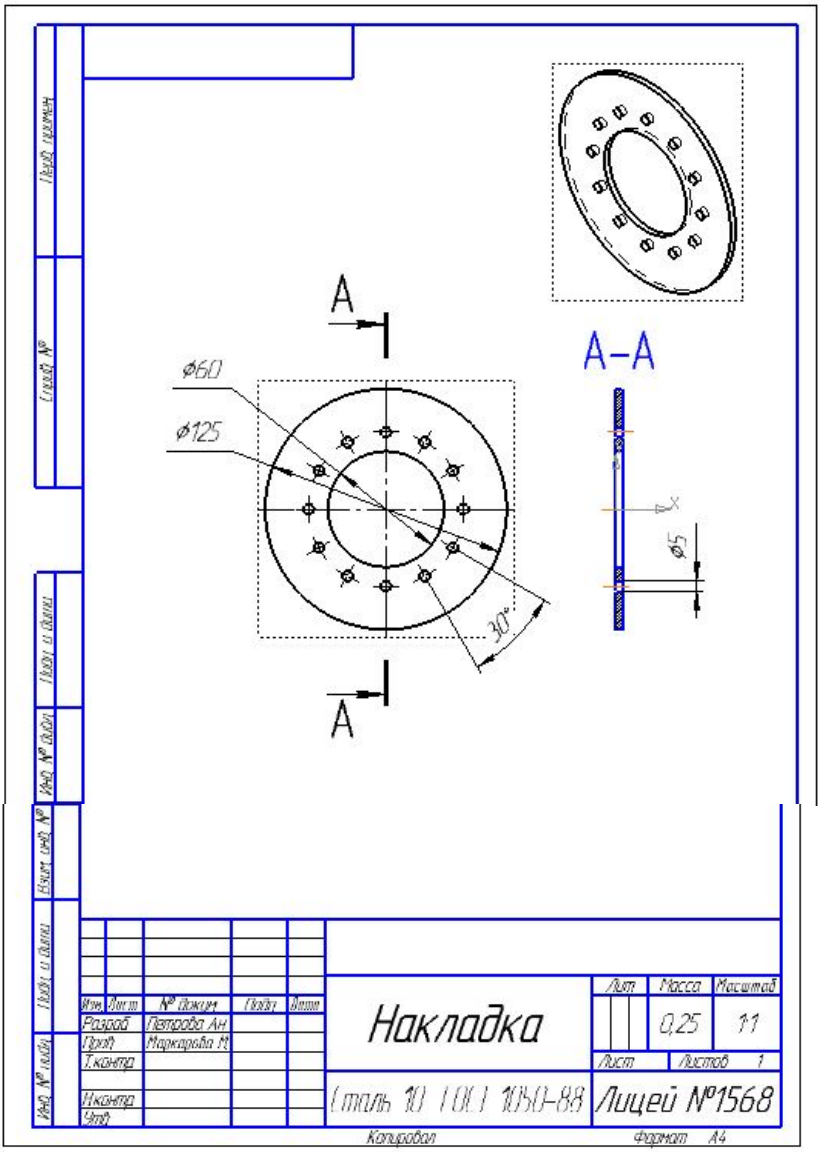
Крышка.


А–А
5
13
238
R3
А
А
ø5,4
ø198,5
ø8
Крышка
Сталь 10 ГОСТ 1050-88
Лицей №1568
Масса
Масштаб
0,78
1:4
Лист
Листов 1
Копировал
Формат А4

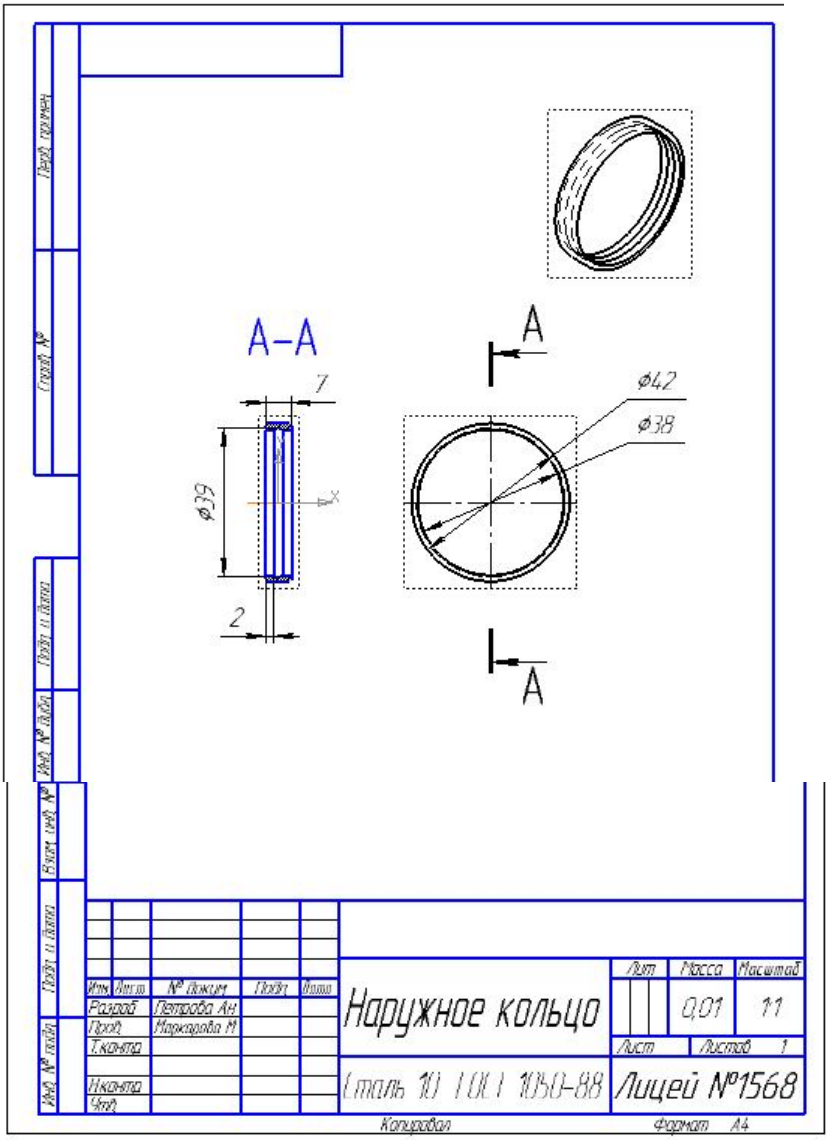
Накладка 1.


A
A–A
ø50
ø34
ø34
ø42
Накладка
Сталь 10 ГОСТ 1050-88
Лицей №1568
Копировал
Формат А4

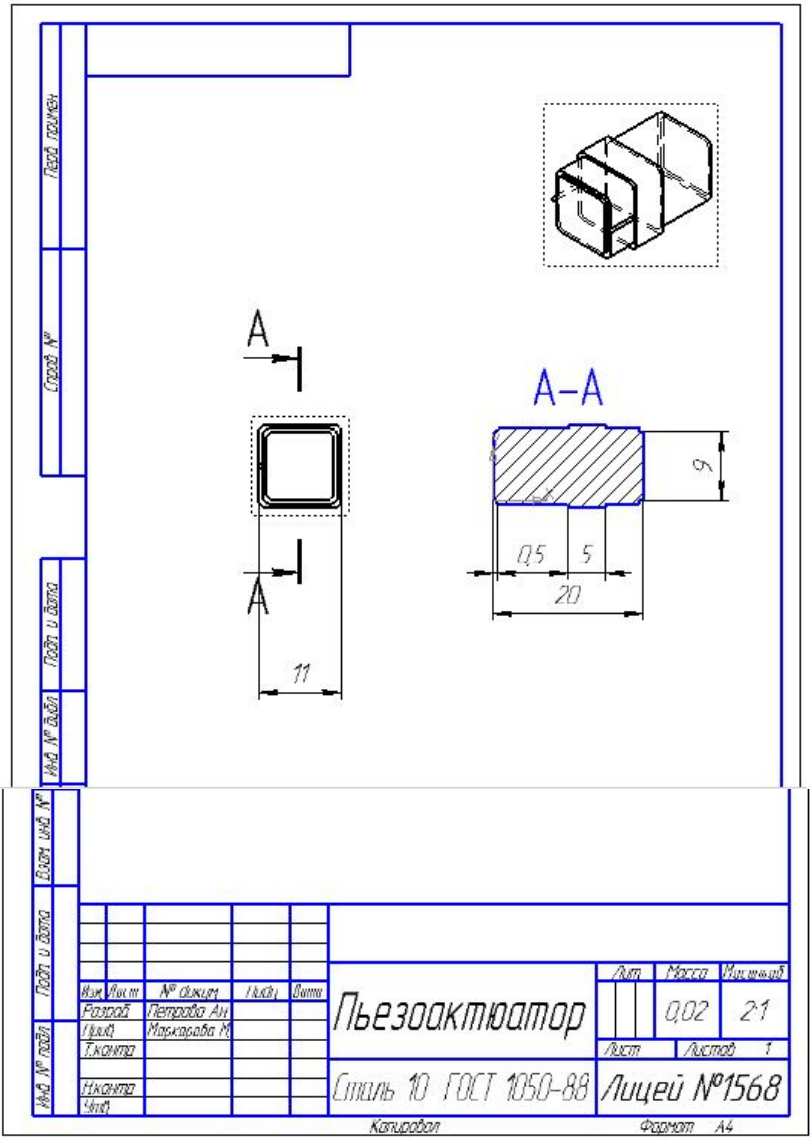
Накладка 2.


A
A–A
ø60
ø125
30°
ø5
Накладка
Масса
0,25
Масштаб
1:1
Лицей №1568
Копировал
Формат А4

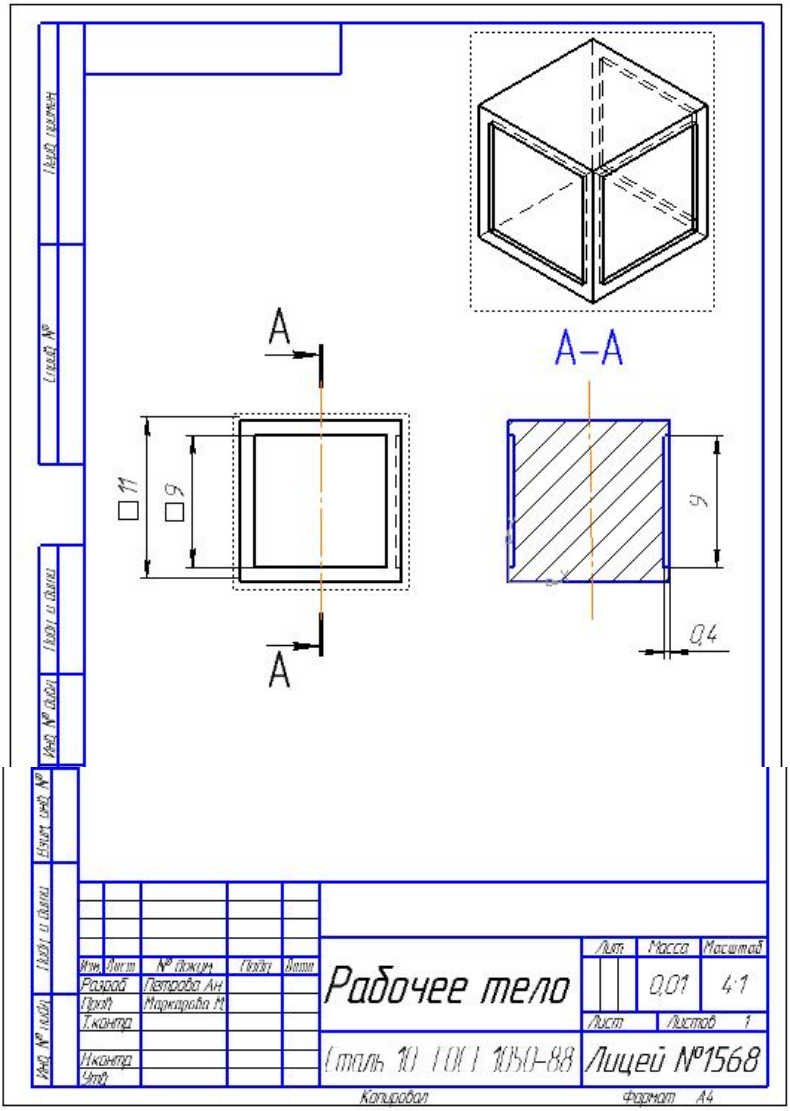
Наружное кольцо.



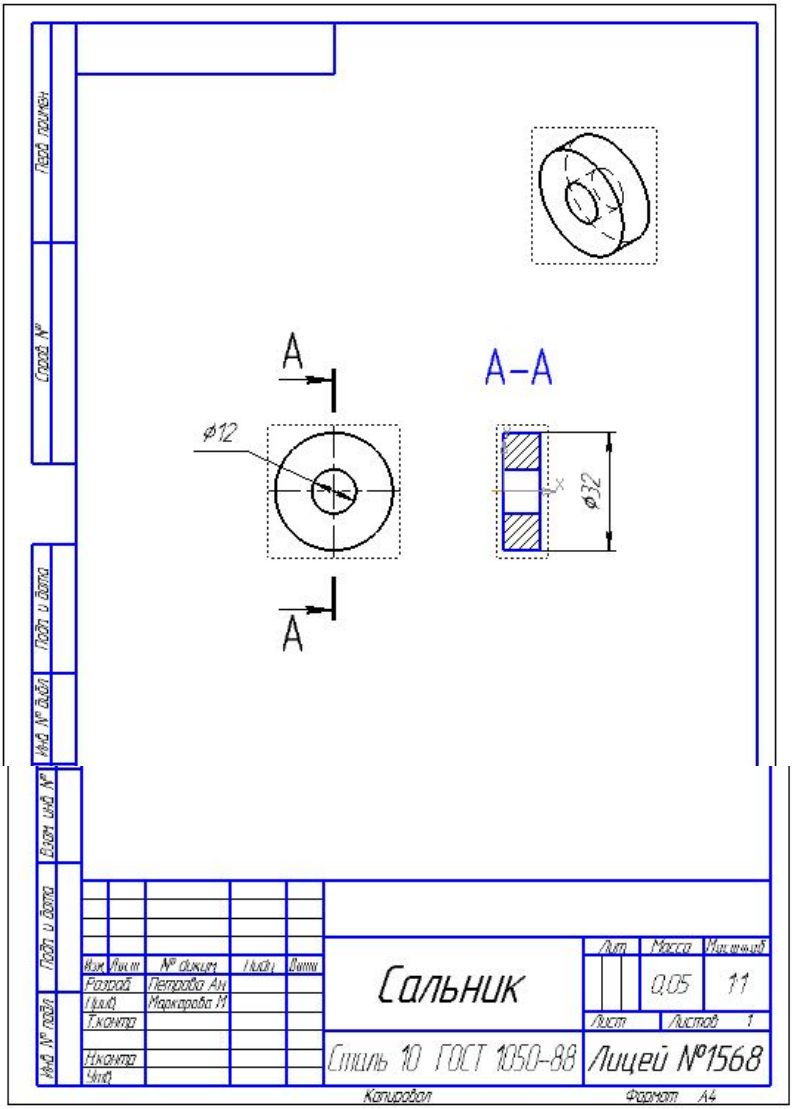
Пьезоактюатор.



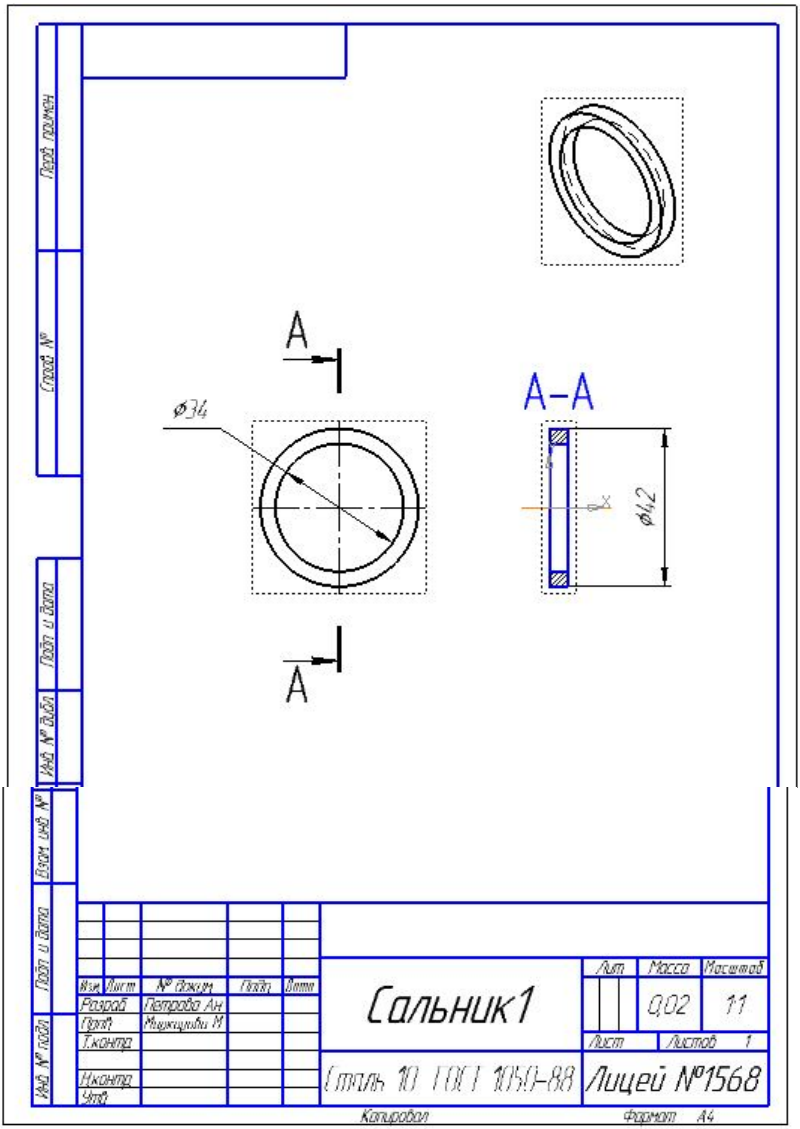
Рабочее тело.



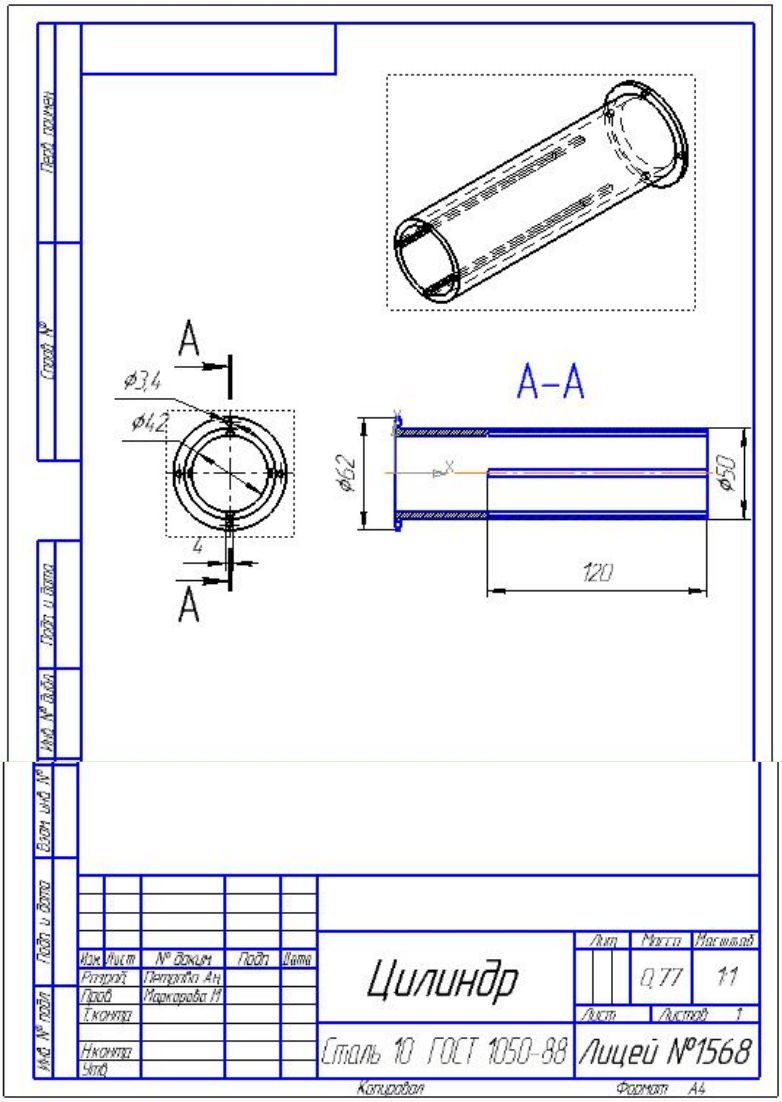
Сальник 1.


A
A–A
ø12
ø32
A
Сальник
Стиль 10 ГОСТ 1050-88
Лицей №1568
Масса
Масштаб
0,05
1:1
Лист
Листов 1
Копировал
Формат А4

Сальник 2.


A
ø34
A
A–A
ø42
Сальник1
Масса
Масштаб
0,02
1:1
Лист
Листов 1
Сталь 10 ГОСТ 1050-88
Лицей №1568
Разраб
Пров.
Т.контр.
Н.контр.
Утв.
Копировал
Формат А4

Цилиндр.


A
ф3,4
ф4,2
4
A
A–A
ф52
ф50
120
Цилиндр
Сталь 10 ГОСТ 1050-88
Лицей №1568
Масса
Масштаб
0,77
1:1
Лист
Листов 1
Копировал
Формат А4