

**Автомобиль высокой проходимости для эксплуатации в  
Заполярье.**

## **Вступление.**

В последнее время многие эксперты всё больше обращают внимание на то, что идёт повышение средней температуры на Земле, что приведёт к тому, что в ближайшее десятилетие произойдёт значительное сокращение ледяного покрова Северного ледовитого океана. В настоящее время этот процесс уже наблюдается, как в Гренландии, так и в Антарктиде. Подобное происходит и в нашем Заполярье, и в Северном ледовитом океане. При создании опорных пунктов на побережье Северного ледовитого океана открывается широкая перспектива использования этого морского пути для сообщения между Европой и Азией. Кроме этого, потепление приведёт к уменьшению площади вечной мерзлоты на территории России, что позволит проводить геологоразведочные работы в тех районах, которые раньше были заняты вечной мерзлотой. По предварительным данным, в этих районах существуют значительные залежи природных богатств.

Проведению разведки природных ископаемых, развёртыванию населённых пунктов, и тем более, производству мешало, в том числе, отсутствие постоянного сообщения на больших территориях, охваченных вечной мерзлотой. Более или менее, нормальное сообщение, было возможно только в зимний период, по «зимникам». В летний период такое сообщение осуществлялось только по рекам.

Для решения вышеизложенных задач необходимо использовать специальные транспортные средства повышенной проходимости, способные эффективно функционировать круглый год в условиях Заполярья.

## **Характеристика местности и климатических условий районов Крайнего Севера.**

Зима за полярным кругом длится в среднем 220–240 дней. Погода переходит на зимний режим уже в конце сентября – начале октября. Среднегодовая температура воздуха на всей территории округа отрицательная, от  $-1^{\circ}\text{C}$  на юго–западе до  $-9^{\circ}\text{C}$  на северо–востоке. Средняя температура января до  $-22^{\circ}\text{C}$ . Впрочем, в отдельные годы температура воздуха зимой понижается до  $-40^{\circ}\text{C}$  и ниже. Показатели относительной влажности колеблются от 70 до 90 %. Зимой в районах Крайнего Севера часто дуют ветры, скорость которых достигает 40 м/с.

Большую часть года автомобилю повышенной проходимости в Заполярье придется передвигаться по снежному покрову, наибольшая толщина которого составляет 200 см. Средняя плотность снега =  $0,2-0,4 \text{ г/см}^3$ .

Более того, местность районов Крайнего Севера характеризуется наличием большого количества заболоченных участков вследствие водонепроницаемости слоя вечной мерзлоты.

Постоянные изменения микрорельефа тундры (образование бугров, пучения, проталин, оползней, грунтовых наледей) приводят к разрушению полотна дороги.

Описанная выше специфика местности и климатических условий значительно влияет на условия работы и влечет за собой определенные эксплуатационные и конструктивные особенности ТС, о которых позже пойдет речь.

Для определения технических характеристик транспортных средств, способных функционировать в подобных условиях необходимо провести анализ существующих и перспективных проектов подобных вездеходов.

### **Преимущества и недостатки существующих транспортных средств, используемых в Заполярье.**

#### **I. Многоцелевое судно на воздушной подушке серии «Славир»:**



#### **Недостатки:**

- 1) Отсутствие надежных систем тормозов.
- 2) Уязвимость воздушной подушки для повреждений острыми формами рельефа.
- 3) Сильный порыв ветра может сбить транспортное средство с курса ввиду слабого наличия контакта с землёй.
- 4) Сильно ограниченная грузоподъемность.

### **Преимущества:**

- 1) Относительно высокая топливная эффективность.
- 2) Высокая скорость, способность двигаться по мелководью и выезжать на необорудованный берег.
- 3) Навигационный период данного вида флота полностью неограничен — суда могут ходить и в летнее, и в зимнее времена года

## **II. Двухзвенный гусеничный снегоболотоход ГАЗ-3344:**



### **Недостатки:**

- 1) Вследствие особенностей гусеничного движения уничтожаются хрупкие экосистемы Крайнего Севера.
- 2) Неповоротливость и низкая маневренность.
- 3) ТС на гусеницах чаще ломаются и требуют большего ухода по сравнению с колесными агрегатами.

### **Преимущества:**

- 1) Повышенная проходимость.
- 2) Данное ТС не привередливо в балансировке.

- 3) Обеспечена большая поверхность сцепления, что снижает затраты на заправку.

### **III. Шнекороторный снегоболотоход вездеход ЗИЛ-2906:**



#### **Недостатки:**

- 1) полная неспособность шнекохода передвигаться по твердой поверхности (как следствие, невозможность существования шнекохода в качестве самостоятельной транспортной единицы)
- 2) крайне низкая скорость движения при высоких энергетических затратах

#### **Преимущества:**

- 1) Исключительная проходимость при передвижении по кашеобразной или жидкой субстанции.

### **IV. Шерп (вездеход):**

#### **Недостатки:**

- 1) Невысокий моторесурс (требуется ТО через 50 моточасов)
- 2) Низкая грузоподъемность (700 кг недостаточно для осуществления озвученных ранее задач).





Преимущества:

- 1) Высокая маневренность
- 2) Высокая проходимость
- 3) Высокая надежность конструкции
- 4) Плавность хода
- 5) Низкое давление на грунт

**Требования, предъявляемые к транспортному  
средству.**

- 1) Повышенная проходимость, необходимая в связи с крайне суровыми природными условиями, описанными раньше.
- 2) Отопительная система, справляющаяся с высокими перепадами температур.
- 3) Двигатель, обеспечивающий сохранность природы Заполярья (так как она отличается крайней хрупкостью).
- 4) Мощный двигатель с экономным расходом топлива (в условиях Крайнего Севера очень затруднительно

использовать альтернативные источники энергии из-за полярной ночи и многолетней мерзлоты)

5) Относительно высокая грузоподъемность.

### **Оценка эксплуатационных и конструктивных особенностей транспортного средства.**

Ввиду разнообразных факторов, описанных ранее, существует ряд конструктивных и эксплуатационных особенностей, который необходимо учесть:

- При низких температурах и сильном ветре усложняется запуск двигателя автомобиля, особенно после длительной стоянки, что влечет за собой необходимость наличия передвижных котлов с избыточным давлением  $0,4 - 0,5 \text{ кг/см}^2$  для его разогрева и увеличивает расход горючего.
- В условиях Крайнего Севера затруднительно использовать альтернативные источники энергии, вследствие чего необходим двигатель, работающий на легко перевозимом виде топлива (если возникнет ситуация, при которой обнаружится критическая нехватка топлива, то спасательный вертолет по воздуху должен будет доставить дополнительное топливо, что накладывает некоторые ограничения на род топлива, например, весьма проблематично организовать доставку водородного топлива).
- Ввиду уже упомянутых экологических соображений в качестве движителя выбраны колеса.



- Для успешной эксплуатации ТС необходимы 2 водителя, один из которых (а лучше – оба) является механиком, ведь при суровых температурных условиях увеличивается износ различных конструктивных элементов.
- С целью обеспечения лучших условий работы аккумуляторные батареи необходимо утеплять (на каждый градус понижения температуры электролита в зимних условиях емкость батареи уменьшается примерно на 1,2%). Для этого они устанавливаются в деревянные ящики или защищаются войлочным чехлом. Более того, Для обеспечения нормальной работы аккумуляторных батарей рекомендуется применять электролит плотностью 1,31 г/см<sup>3</sup>.

**Описание принципиальной схемы и элементов, входящих в состав транспортного средства и его характеристики.**

**Характеристики.**

- 1) Максимальная скорость = 50 км/ч
- 2) Грузоподъемность = 3.5 тонны (буровая установка, необходимая для геологических исследований – 1800 кг, 2 специалиста для обслуживания ТС и 6 геологов – 800 кг, весь дополнительный груз, например: продовольствие, спальные мешки и т.д. – 900 кг)
- 3) Полная масса (с учетом полной загрузки) = 7 тонн
- 4) Компоновка: 1-2 (данный параметр подразумевает размещение осей).

- 5) Движитель: электрические мотор-колеса, с индивидуальным управлением момента на каждом колесе (для обеспечения повышенной маневренности).
- 6) Шины сверхнизкого давления.
- 7) Двигатель внутреннего сгорания, работающий на бензине (выбор топлива связан с тем, что бензин более устойчив к холоду, нежели дизель). Тем более, что есть специальные добавки, понижающие порог загустевания и замерзания бензина (ДВС будет раскручивать генератор, вследствие чего будут работать электрические двигатели (п.5)).
- 8) Система отопления: радиатор, работающий от ДВС + передвижной котел (передвижной котел – запасной вариант в случае выхода из строя других элементов системы отопления, радиатор поможет обогреть салон и охладить ДВС)
- 9) Навигационная система Garmin , необходимая из-за погодных явлений, ухудшающих видимость (метель, пурга и т.д.).
- 10) Для того, чтобы ТС могло передвигаться воде, необходим шноркель. К тому же конструкция должна быть герметичной.
- 11) На случай, если поблизости нет других ТС, а автомобиль повышенной проходимости не может самостоятельно выехать из оврага (или какой-нибудь другой формы рельефа), нужна электрическая лебёдка.
- 12) Необходим насос для подкачки шин.
- 13) Для удобства проведения исследовательской деятельности машине нужны прожектора.

14) В лобовых стеклах необходимо использовать специальный проводящий слой серебра, который легко проводит электрический ток, в результате чего слой нагревается и передает тепло по всей поверхности стекла.

### Расчетная часть.

Двигатель (электрический):

Необходимо произвести некоторые расчеты, исходя из уже известных параметров ТС.

Для начала произведем оценку мощности, необходимой для поддержания максимальной скорости:

$$P_{e_{max}}^V = \frac{M_a \cdot g \cdot f_k \cdot V_{max} + 0,5 \cdot c_x \cdot \rho_v \cdot A \cdot V_{max}^3}{\eta_{mp4} \cdot K_p}$$

Где  $M_a$  – полная масса ТС,  $f_k$  – сопротивление качению шины при максимальной скорости автомобиля,  $V_{max}$  – максимальная скорость,  $c_x$  – коэффициент аэродинамического сопротивления,

$A$  – площадь миделева сечения (площадь продольной проекции автомобиля на вертикальный экран),  $\eta_{mp}$  – КПД для режима полного нагружения трансмиссии на максимальной скорости (стоит заметить, что данный параметр был взят из справочных данных, так как выбранный двигатель является электрическим),  $K_p$  – коэффициент коррекции мощности,  $\rho_v$  – плотность воздуха.

$M_a=7000$  кг;  $c_x=0,50$ ; для того, чтобы двигатель легче было подобрать по мощности, условимся, что  $V_{max}$

корректна для дороги в удовлетворительном состоянии, тогда для рыхлого снега возьмем  $V_{max1}=30$  км/ч=8.3 м/с, которую и будем использовать для расчетов) ;  $n_{mp}=0,93$ ;

$$f_k = f_0 \cdot (1 + A_f \cdot V^2).$$

коэффициент сопротивления качению  $f_0 = 0,3$  (с учетом того, что ТС придется двигаться по снегу); коэффициент влияния скорости  $A_f=5,5 \cdot 10^{-4} \text{ с}^2/\text{м}^2$ ;  $p_B=1,202 \text{ кг/м}^3$ ;  $K_p=0,95$ ;

$A=N_r \cdot B_k$ , где  $N_r$ =габаритная высота,  $B_k$ -наибольшая колея автомобиля.

Таким образом:

$$f_k = 0,3 \cdot (1 + 5,5 \cdot 10^{-4} \cdot 8,3^2) = 0,31;$$

$$A = 2,7 \cdot 2,15 = 5,8 \text{ м}^2;$$

$$P^v_{E_{max}} =$$

$$(7000 \cdot 9,81 \cdot 0,31 \cdot 8,3 + 0,5 \cdot 0,5 \cdot 1,202 \cdot 5,8 \cdot 8,3^3) / 0,93 / 0,95 = 201\,113 \text{ Вт} = 273 \text{ л.с.}$$

Далее рассчитаем крутящий момент :

$$M = N \cdot R / (n \cdot V) = 2624 \text{ Н/м (для 1 колеса).}$$

$$15744 \text{ Н/м (для 6 колес).}$$

Далее необходимо по крутящему моменту и максимальной мощности произвести первичный отбор подходящих двигателей.

В проекте рассмотрены три агрегата от компании Emrah ввиду наличия у фирмы подробной технической документации, описывающей ее продукты.

## Технические характеристики автомобиля

**Габариты:**      **Масса:**      **Трансмиссия:**

$L_T := 5.7$	$m_c := 3500$	$\eta_{тр} := 0.93$
$B_T := 2.3$	$m_{п} := 7000$	
$H_T := 2.7$		$U_{к.р.} := 6.5$
$B_K := 2.15$		
$L_б := 3.3$		
$F_{л} := 5.8$		
$c_w := 0.8$		
$g := 9.81$		

**Параметры колес (Шина Бел-44 28,1R26):**

$r_{ст} := 0.65$
$r_k := r_{ст}$
$J_{ш} := 25.03$
$J_k := 1.15 \cdot J_{ш} = 28.784$
$f := 0.018$

Где  $L_T$  - длина ТС,  $B_T$  - ширина ТС,  $H_T$  - высота ТС,  $B_K$  - ширина колеи,  $L_б$  - база автомобиля колесная,  $F_{л}$  - площадь лобовая ( $B_K \cdot H_T$ ),  $C_w$  - коэффициент сопротивления воздуха,  $f$  - сопротивление качению.  $m_c$  - масса снаряженная,  $m_{п}$  - масса полная,  $\eta_{тр}$  - КПД трансмиссии,  $U_{к.р.}$  - передаточное отношение колесного редуктора.

$r_{ст}$  - радиус колеса статический,  $r_k$  - радиус колеса кинематический,

$J_{ш}$  - момент инерции шины,  $J_k$  - момент инерции колеса в сборе.

Особое внимание обращу на передаточное отношение колесного редуктора. Оптимальное значение параметра подбиралось уже в ходе расчета (параметр влияет на динамический фактор).

**Emrax 348.**

### Двигатель etrax 348:

$$N_{\max} := 200$$

$$M_{\max} := 500$$

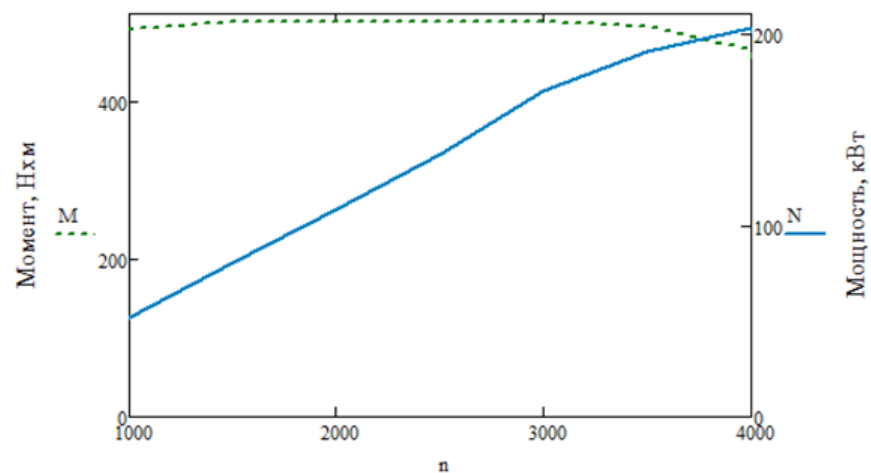
$$n_M := 1800$$

$$n_N := 4000$$

$$J_{\text{дв}} := 1.24$$

$$k_{\text{chN}} := 0.95$$

$n$	$M$	$N$
500	450	25
1000	490	52
1500	500	80
2000	500	108
2500	500	137
3000	500	170
3500	495	190
4000	465	203



$N_{\max}$  - максимальная мощность,  $M_{\max}$  - максимальный момент,  $n_M$  - обороты при максимальном моменте,  $n_N$  - обороты при максимальной мощности,  $J_{\text{дв}}$  - инерция вращающихся частей двигателя,  $k_{\text{chN}}$  - КПД передачи силы от двигателя (сцепление).

### Расчет

Скорость КМ, м/с

$$v_{\text{эл}i,j} := 0.105 \cdot n_i \cdot \frac{r_k}{U_{\text{кр}}}$$

$$v_{\text{эл}} = \begin{pmatrix} 5.25 \\ 10.5 \\ 15.75 \\ 21 \\ 26.25 \\ 31.5 \\ 36.75 \\ 42 \end{pmatrix}$$

Сила сопротивления воздуха, Н

$$P_{w1,i,j} := 0.61 \cdot c_w \cdot F_A \cdot (v_{\text{эл}i,j})^2$$

Полная окружная сила КМ, Н

$$P_{\text{эл}i,j} := \frac{6 M_i \cdot k_{\text{chN}} \cdot U_{\text{кр}} \cdot \eta_{\text{тр}}}{r_k}$$

Вес КМ, Н

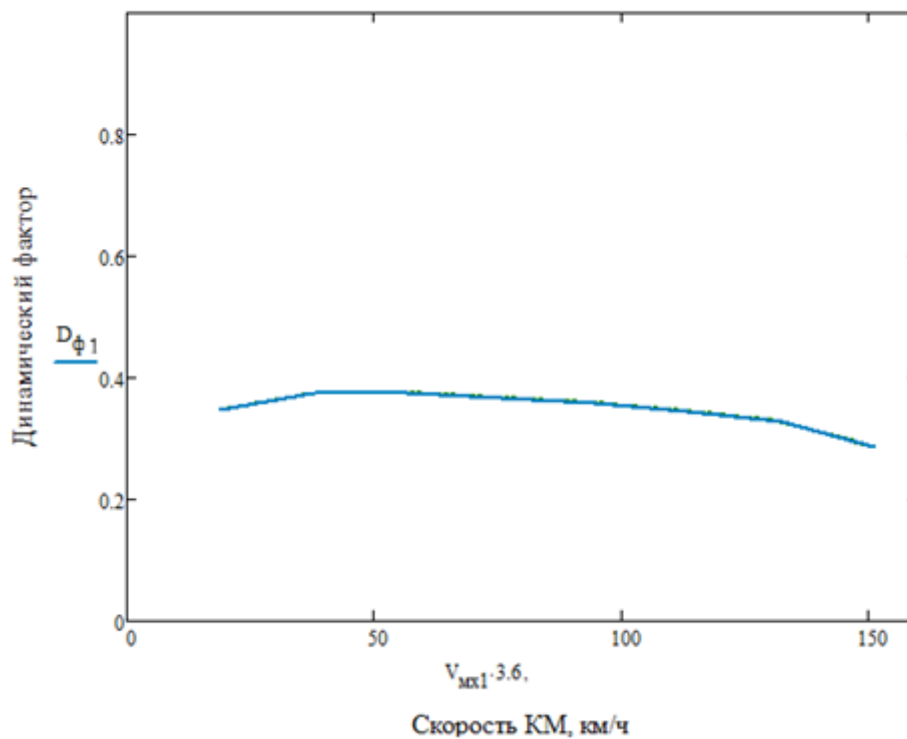
$$P_M := m_H \cdot g = 6.867 \times 10^4$$

### Динамический фактор КМ

$$D_{\Phi 1} := \frac{(P_{\text{км1}} - P_{w1})}{P_M}$$

$$P_{w1} = \begin{pmatrix} 78.01 \\ 312.05 \\ 702.12 \\ 1248.21 \\ 1950.32 \\ 2808.46 \\ 3822.63 \\ 4992.83 \end{pmatrix} \quad D_{\Phi 1} = \begin{pmatrix} 0.346 \\ 0.374 \\ 0.376 \\ 0.368 \\ 0.358 \\ 0.345 \\ 0.326 \\ 0.286 \end{pmatrix} \quad P_{\text{км1}} = \begin{pmatrix} 23854.5 \\ 25974.9 \\ 26505 \\ 26505 \\ 26505 \\ 26505 \\ 26239.95 \\ 24649.65 \end{pmatrix}$$

### Динамическая характеристика $D_{\Phi}(V_{\text{км}})$



Как видно из графика динамического фактора, двигатель обеспечивает скорость в 150 км/ч, что намного больше заявленной скорости в 50 км/ч. Более того, двигатель слишком мощный, так что данный агрегат не подойдет.

### Emrax 268.

(далее будут рассмотрены только отличающиеся от Emrax 348 параметры)



$$U_{к.р.} := 15$$

Двигатель etrax 268

$$N_{max} := 110$$

$$M_{max} := 250$$

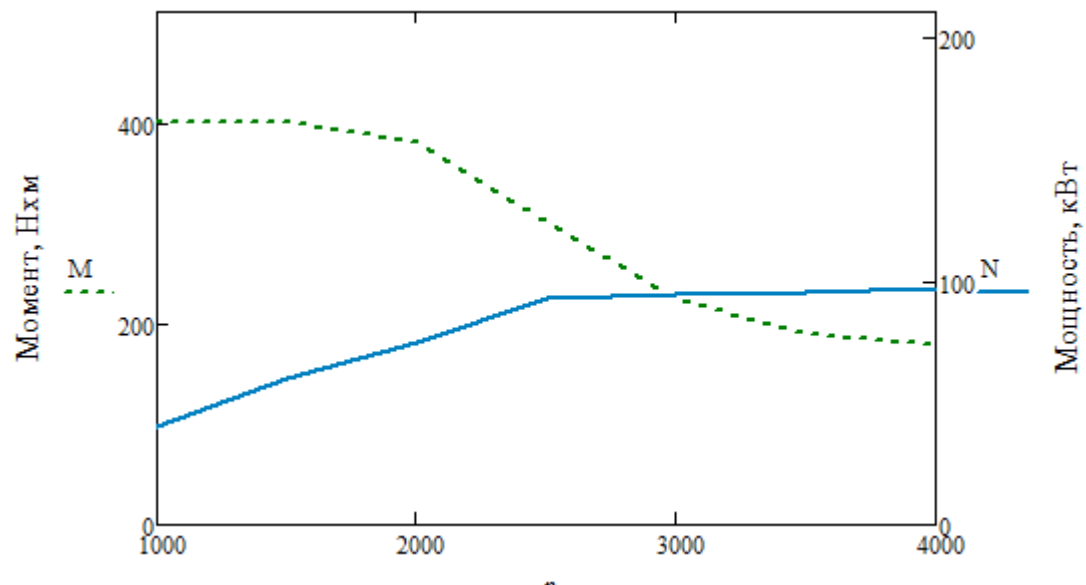
$$n_M := 2300$$

$$n_N := 4000$$

$$J_{дв} := 1.24$$

$$k_{CHN} := 0.95$$

$n :=$	$M :=$	$N :=$
500	400	20
1000	400	40
1500	400	60
2000	380	75
2500	300	93
3000	225	94
3500	190	95
4000	180	97



Динамический фактор КМ

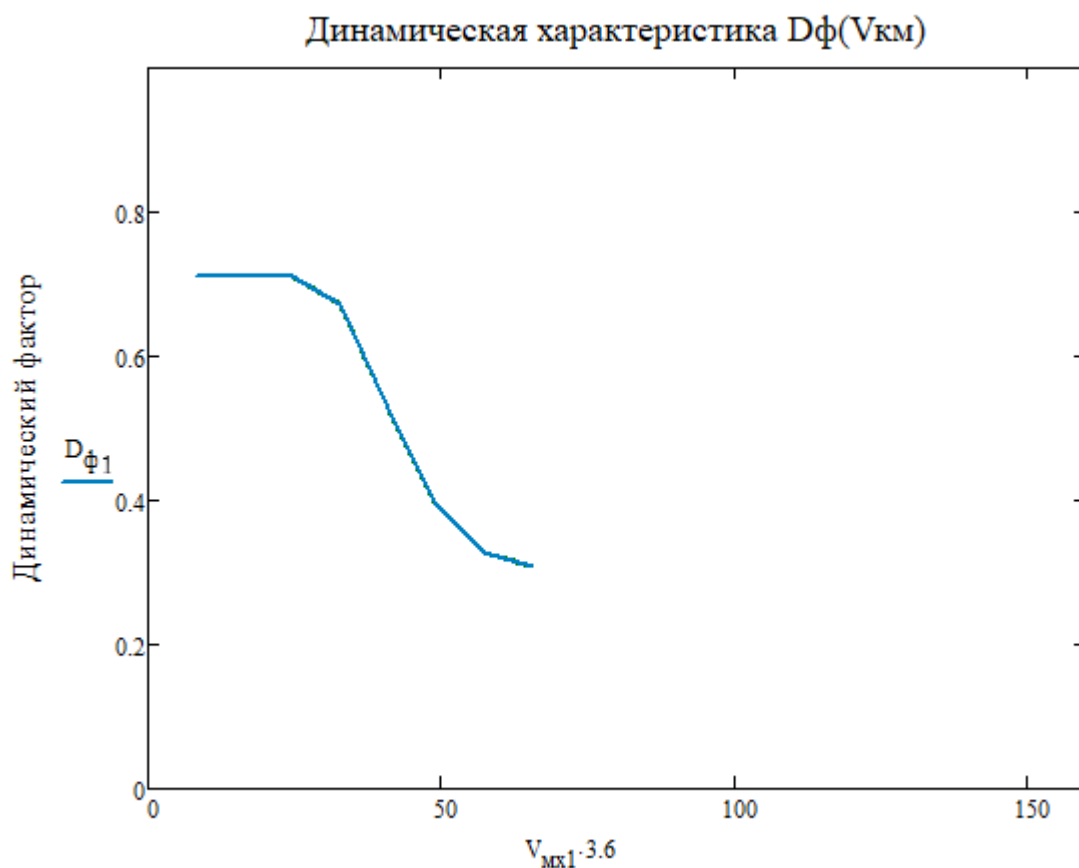
$$D_{\phi 1} := \frac{(P_{KM1} - P_{w1})}{P_M}$$

$$P_{w1} = \begin{pmatrix} 14.65 \\ 58.6 \\ 131.84 \\ 234.39 \\ 366.23 \\ 527.37 \\ 717.81 \\ 937.54 \end{pmatrix}$$

$$P_{KM1} = \begin{pmatrix} 48932.31 \\ 48932.31 \\ 48932.31 \\ 46485.69 \\ 36699.23 \\ 27524.42 \\ 23242.85 \\ 22019.54 \end{pmatrix}$$

$$D_{\phi 1} = \begin{pmatrix} 0.712 \\ 0.712 \\ 0.711 \\ 0.674 \\ 0.529 \\ 0.393 \\ 0.328 \\ 0.307 \end{pmatrix}$$

$$V_{mx1} = \begin{pmatrix} 2.275 \\ 4.55 \\ 6.825 \\ 9.1 \\ 11.375 \\ 13.65 \\ 15.925 \\ 18.2 \end{pmatrix}$$



В этом агрегате динамическая характеристика уже подходит нам больше. Несмотря на то, что двигатель несколько мощнее, чем нужно, эта разница не критична, как в прошлом случае. Тем более отопление, навигационная система и некоторые элементы салона тоже используют энергию двигателя.

#### **Emrax 228.**

Для разнообразия рассмотрим менее мощный двигатель, возможно он подойдет лучше, нежели Emrax 348.

$$U_{к.р.} := 24$$

Двигатель етгах 228:

$$N_{\max} := 55$$

$$M_{\max} := 125$$

$$n_M := 2500$$

$$n_N := 5500$$

$$J_{\text{дв}} := 1.24$$

$$k_{\text{сн}N} := 0.95$$

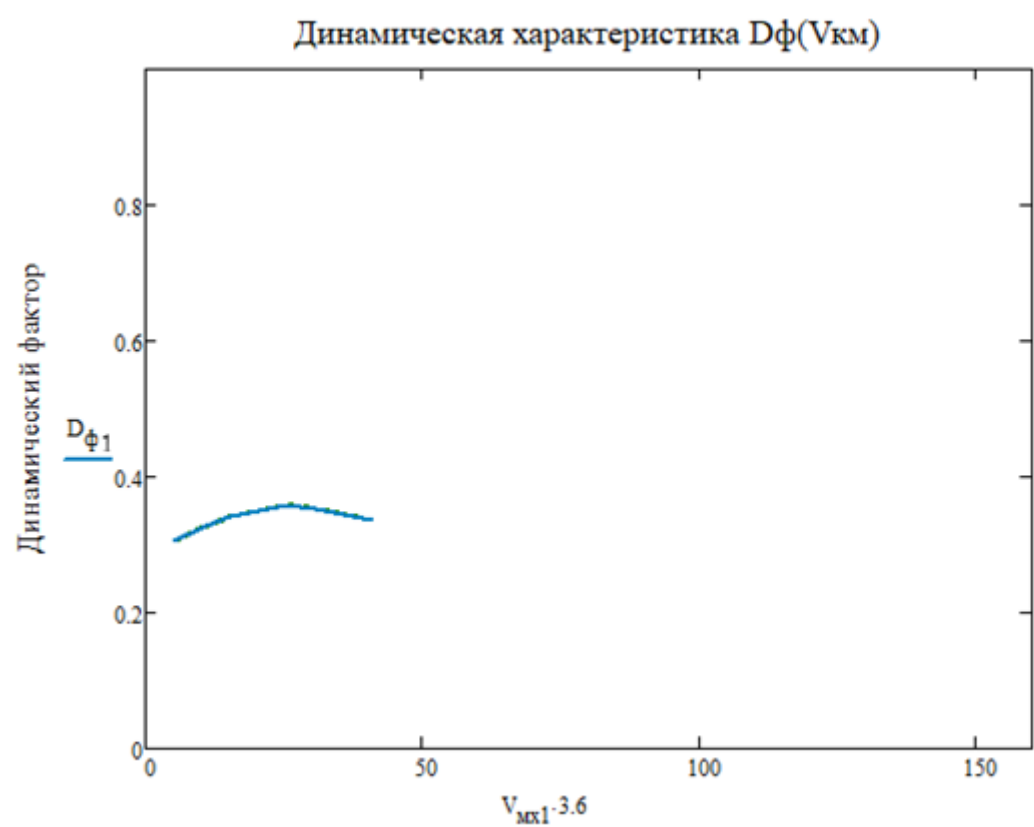
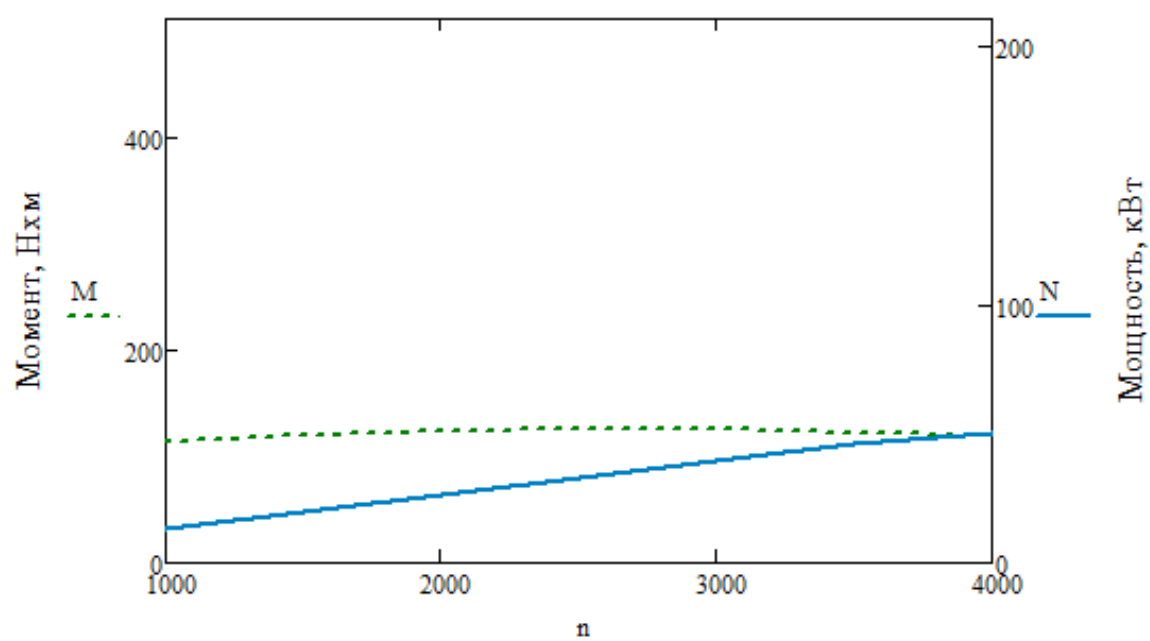
$n :=$	$M :=$	$N :=$
500	107	6
1000	114	13
1500	120	20
2000	123	26
2500	126	33
3000	125	39
3500	122	46
4000	120	50
4500	114	54
5000	108	56

Динамический фактор КМ

$$D_{\phi 1} := \frac{(P_{\text{км}1} - P_{w1})}{P_M}$$

$P_{w1} =$	$P_{\text{км}1} =$	$D_{\phi 1} =$
5.72	20943.03	0.305
22.89	22313.13	0.325
51.5	23487.51	0.341
91.56	24074.7	0.349
143.06	24661.88	0.357
206	24466.15	0.353
280.39	23878.97	0.344
366.23	23487.51	0.337

$$V_{\text{мх}1} = \begin{pmatrix} 1.422 \\ 2.844 \\ 4.266 \\ 5.688 \\ 7.109 \\ 8.531 \\ 9.953 \\ 11.375 \end{pmatrix}$$



Как видно из графика динамический фактор данного двигателя нас также устраивает, но стоит обратить на слишком большое передаточное отношение колесного редуктора, которое делает данный агрегат неподходящим для нас.

Подводя итог, наиболее подходящий вариант - Emrax 268.

### **Заключение.**

Рассмотренный в проекте автомобиль высокой проходимости обладает рядом преимуществ, по сравнению с существующими вариантами серийных вездеходов, таких как, высокая проходимость, высокая манёвренность, высокая эксплуатационная надежность, работоспособность при низких температурах, многотопливный двигатель, достаточная грузоподъемность,

конструкция, обеспечивающая доступность ко всем агрегатам и механизмам, которые позволят осуществить экономическое освоение территорий с крайне холодным климатом, имеющих весомое значение для РФ по оценкам многочисленных экспертов.

## Приложение.

### Схема автомобиля.

