

УДК 629.113

О.В. Егоров

асп., МАДИ,

тел.: 8(499)155-01-45,

e-mail: o-v-egorov@mail.ru

**РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ПРЕДЕЛЬНЫХ
ТЯГОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ
ЭНЕРГЕТИКИ И АКТИВИЗАЦИИ НА БАЗЕ АВТОНОМНЫХ
ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ И
ПРЕДЕЛЬНЫХ ПОДЪЕМОВ, ПРЕОДОЛЕВАЕМЫХ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ АВТОПОЕЗДОМ**

Аннотация. В статье рассматриваются расчетные соотношения, результаты оценки предельных тяговых характеристик автономных вентильно-индукторных двигателей, экспериментальной модели полуприцепа автопоезда и предельных подъемов, преодолеваемых экспериментальным автопоездом в активном и пассивном режимах, в режиме продолжительного подъема, в режиме руководящего подъема, а также при перегрузочном режиме функционирования.

Ключевые слова: модель, эксперимент, оценка, результат, тяговая характеристика, ВИП, вентильно-индукторный привод, энергетика, предельный подъём, система дополнительной энергетики, автопоезд, силовой привод, привод, электромотор-колесо, большегрузное транспортное средство, БТС, модульность, модуль, экспериментальная модель.

Введение

Обоснование выбора структуры, состава и параметров элементной базы системы дополнительной энергетики и активизации на базе

автономных вентильно-индукторных электроприводов для экспериментального автопоезда требует рассмотрения предельных тяговых характеристик полуприцепа, вентильно-индукторных двигателей его электромотор-колес. С практической точки зрения важна оценка зависимостей предельных подъемов, преодолеваемых автопоездом с заданной скоростью в активном и пассивном режимах на руководящем подъеме, при продолжительном подъеме и при перегрузочных режимах движения.

Расчет предельной тяговой характеристики на валу ВИД

Электрическая мощность на выходе вентильно-индукторного генератора (ВИГ) определяется по следующей формуле [1, 2, 4]:

$$P_{\text{виг}} = N_{\text{диз}} \cdot \eta_{\text{дг}} \cdot \eta_{\text{виг}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{виг}}$ – электрическая мощность на выходе ВИГ, кВт; $N_{\text{диз}}$ – свободная мощность на тягу дизеля системы дополнительной энергетики и активизации (СДЭА), кВт; $\eta_{\text{дг}}$ – КПД передачи от вала дизеля к валу ВИГ, о.е.; $\eta_{\text{виг}}$ – КПД ВИГ, о.е.

Здесь принято, что $\eta_{\text{виг}}$ включает в себя КПД собственно индукторного генератора (ИГ) и КПД его преобразователя блока питания индукторного генератора (БПИГ), поэтому $P_{\text{виг}}$ – это мощность на выходе преобразователя, т.е. в звене постоянного тока БПИГ.

Принимаем следующие значения параметров, входящих в (1):

$$N_{\text{диз}} = 350 \text{ л.с.} = 350/1,36 = 257 \text{ кВт};$$

$$\eta_{\text{дг}} = 0,98;$$

$$\eta_{\text{виг}} = 0,938.$$

Подставляя указанные значения параметров в (1), получаем

$$P_{\text{виг}} = 257 \cdot 0,98 \cdot 0,938 = 236 \text{ кВт}. \quad (2)$$

Принимаем номинальное значение КПД вентильно-индукторного двигателя (ВИД) (включая КПД его преобразователя блока питания индукторного двигателя (БПИД)) равным $\eta_{\text{видн}} = 0,92$ [2].

Тогда мощность на валу ВИД каждого из 8 мотор-колес равна

$$P_{2\text{ВИД}} = P_{\text{ВИГ}}/8 \cdot \eta_{\text{ВИДН}} = 236/8 \cdot 0,92 = 27 \text{ кВт.} \quad (3)$$

Принимаем, что КПД ВИД в рабочем диапазоне частот вращения его вала остается постоянным и равным $\eta_{\text{ВИДН}} = 0,92$. Тогда, при поддержании постоянной мощности на выходе ВИГ $P_{\text{ВИГ}} = 236 \text{ кВт}$, на валу ВИД в рабочем диапазоне частот вращения его вала также поддерживается постоянная мощность $P_{2\text{ВИД}} = 27 \text{ кВт}$.

Расчет момента на валу ВИД ведем по следующей формуле:

$$M_{\text{д}} = 9,55 \cdot 10^3 \cdot P_{2\text{ВИД}}/n_{\text{д}}, \quad (4)$$

где $M_{\text{д}}$ – момент на валу ВИД, Нм; $n_{\text{д}}$ – частота вращения вала ВИД, об/мин; $P_{2\text{ВИД}}$ – мощность на валу ВИД, кВт.

Результаты расчета зависимости $M_{\text{д}}(n_{\text{д}})$, представляющей собой предельную тяговую характеристику на валу ВИД, сведены в табл. 1, а график этой зависимости представлен на рис. 1.

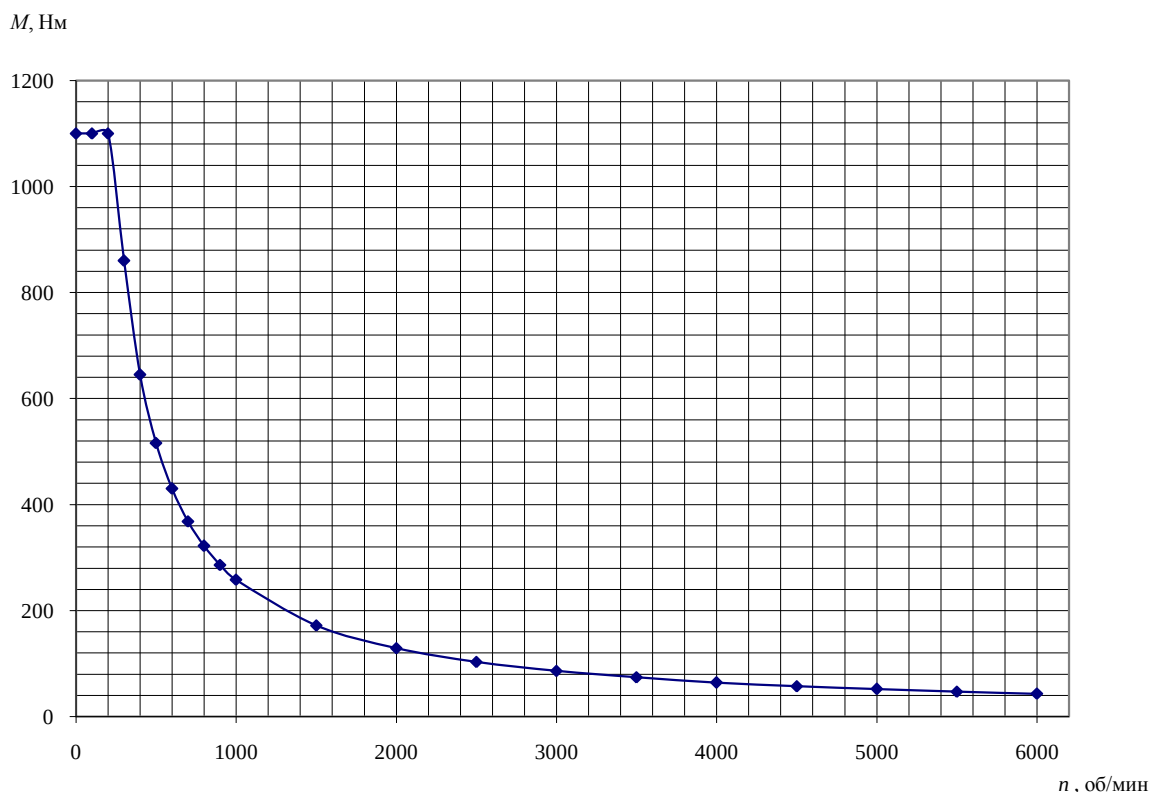


Рис. 1. Предельная тяговая характеристика на валу ВИД

Расчет предельной тяговой характеристики полуприцепа

Суммарное тяговое усилие, реализуемое электромеханической трансмиссией (ЭМТ) полуприцепа в активном транспортном режиме, определяется по следующей формуле [3, 5]:

$$F_{\text{хпп}} = 8 \cdot \mu_p \cdot \eta_p \cdot M_d / (R_k \cdot 10^3), \quad (5)$$

где $F_{\text{хпп}}$ – суммарное тяговое усилие, кН; μ_p – передаточное отношение редуктора мотор-колеса, о.е.; η_p – КПД редуктора мотор-колеса, о.е.; M_d – момент на валу ВИД, Нм; R_k – радиус качения ведущего колеса, м.

Принимаем следующие значения параметров, входящих в (5):

$$\mu_p = 34,85;$$

$$\eta_p = 0,944;$$

$$R_k = 0,8 \text{ м.}$$

Подставляя указанные значения параметров в (5), получаем

$$F_{\text{хпп}} = 8 \cdot 34,85 \cdot 0,944 \cdot M_d / (0,8 \cdot 10^3) = 0,33 \cdot M_d. \quad (6)$$

Скорость транспортного средства связана с частотой вращения вала ВИД следующей формулой:

$$V = 3,6 \cdot \pi \cdot R_k \cdot n_d / (30 \cdot \mu_p), \quad (7)$$

где V – скорость транспортного средства, км/ч; R_k – радиус качения ведущего колеса, м; n_d – частота вращения вала ВИД, об/мин; μ_p – передаточное отношение редуктора мотор-колеса, о.е.

Подставляя указанные выше значения параметров в (7), получаем:

$$V = 3,6 \cdot \pi \cdot 0,8 \cdot n_d / (30 \cdot 34,85) = 0,00865 \cdot n_d. \quad (8)$$

Результаты расчета по (6) и (8) зависимости $F_{\text{хпп}}(V)$, представляющей собой предельную тяговую характеристику полуприцепа, сведены в табл. 1, а график этой зависимости представлен на рис. 2.

В таблице 1 представлены также значения *тягового усилия* F_k на *ведущем колесе полуприцепа*, вычисляемого как $F_k = F_{\text{хпп}}/8$, суммарного тягового усилия автопоезда $F_{\text{хпас}}$ в пассивном режиме [1], и значения суммарного тягового усилия автопоезда $F_{\text{хакт}}$ в активном режиме, рассчитанные по формуле:

$$F_{\text{хакт}} = F_{\text{хпас}} + F_{\text{хпп}}. \quad (9)$$

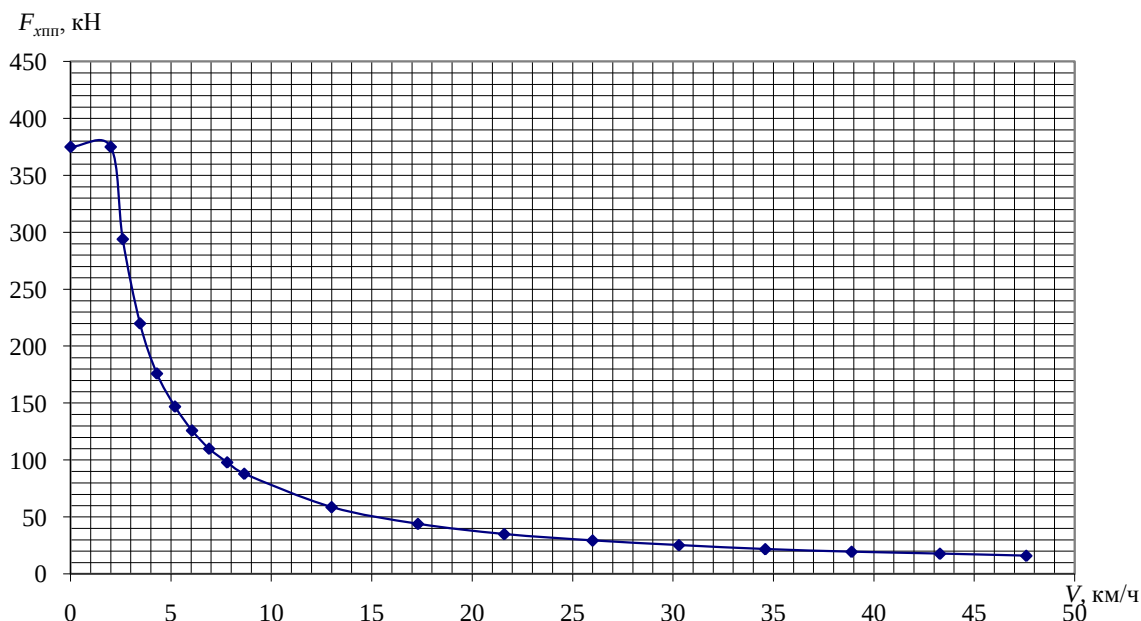


Рис. 2. Предельная тяговая характеристика, реализуемая СДЭА на базе

Там же представлены значения коэффициента активизации $K_{\text{акт}}$, характеризующего эффективность использования ВИП полуприцепа для повышения тяговых свойств автопоезда и рассчитываемого по формуле:

$$K_{\text{акт}} = F_{\text{хакт}}/F_{\text{хпас}} = 1 + F_{\text{хпп}}/F_{\text{хпас}}. \quad (10)$$

Расчет зависимостей предельных подъемов, преодолеваемых автопоездом с заданной скоростью в активном и пассивном режимах

Уравнение равновесия действующих сил при движении автопоезда с установившейся скоростью выражается следующей формулой [3, 5]:

$$F_x = 9,8 \cdot G_a \cdot (i + f), \quad (11)$$

где F_x – суммарное тяговое усилие автопоезда, кН; G_a – полная масса автопоезда, т; i – продольный уклон дороги, о.е.; f – коэффициент сопротивления качению, о.е.

Из (11) получаем формулу для расчета продольного уклона [3, 5]:

$$i = F_x/(9,8 \cdot G_a) - f. \quad (12)$$

Подставляя в (12) известные значения G_a и f , и значения $F_{\text{хпас}}$, $F_{\text{хакт}}$ для заданной скорости из табл. 1, рассчитываем значение уклона, по которому автопоезд может двигаться с заданной скоростью. В таблице 1 приведены результаты расчета для движения автопоезда как в пассивном, так и в активном режимах по дорогам с асфальто-бетонным и грунтово-щебеночным покрытиями. Графики зависимостей $i(V)$ для активного и пассивного режимов движения автопоезда по дороге с асфальто-бетонным покрытием представлены на рис. 3, а для движения по дороге с грунтово-щебеночным покрытием – на рис. 4.

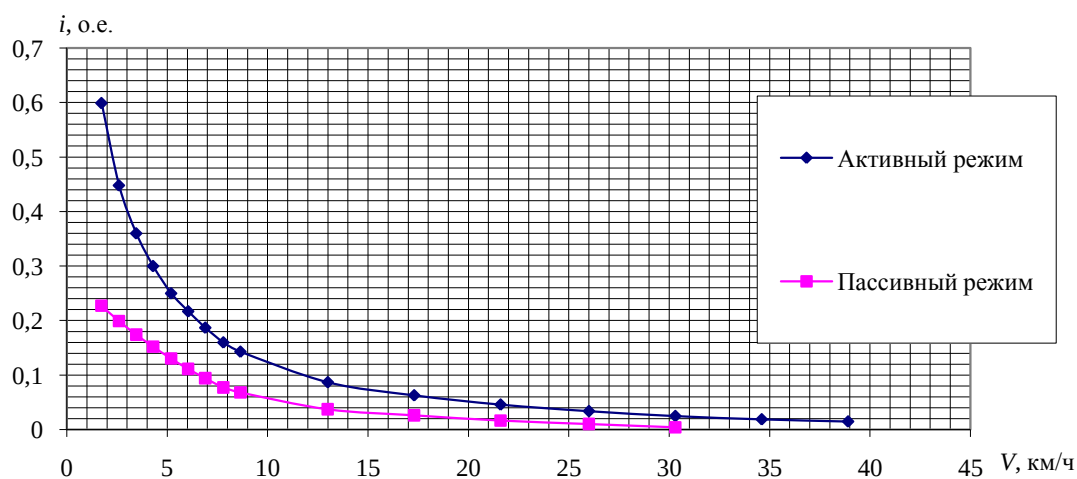


Рис. 3. Зависимости предельного подъема, преодолеваемого автопоездом с заданной скоростью на дороге с асфальто-бетонным покрытием ($f = 0,02$)

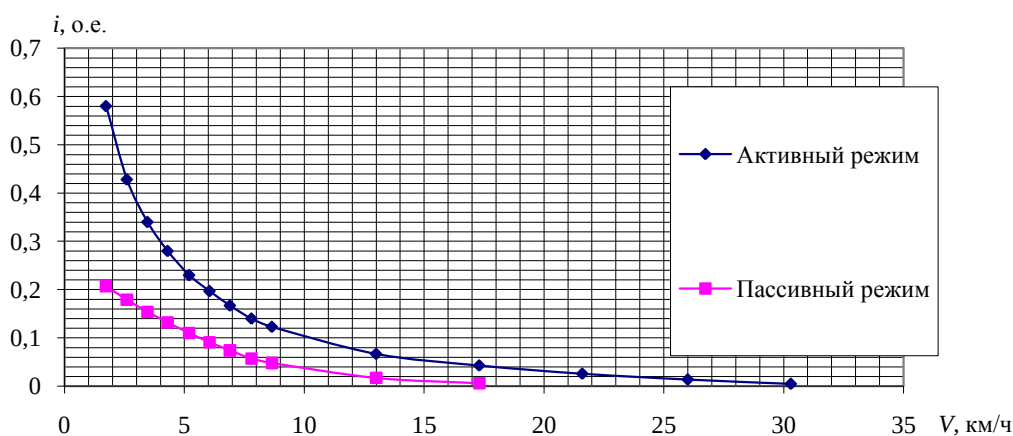


Рис. 4. Зависимости предельного подъема, преодолеваемого автопоездом с заданной скоростью на дороге с грунтово-щебеночным покрытием ($f = 0,04$)

Таблица 1

$n_{дв}$ об/мин	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
$M_{дв}$, Нм	1289	860	645	516	430	368	322	286	258	172	129	103	86	74	64	57	52	47	43
V , км/ч	1,73	2,6	3,46	4,3	5,2	6,05	6,9	7,8	8,65	13	17,3	21,6	26	30,3	34,6	38,9	43,3	47,6	51,9
F_k , кН	55	36,7	27,5	22	18,3	15,7	13,7	12,2	11	7,3	5,5	4,4	3,7	3,16	2,73	2,43	2,2	2	1,83
$F_{хпп}$, кН	440	294	220	176	147	126	110	98	88	58,7	44	35	29,4	25,3	21,8	19,5	17,8	16	14,7
$F_{хпас}$, кН	293	260	230	204	178	155	135	115	105	68	55	43	35	28	24,5	21,8	19,6	17,8	16,3
$F_{хакт}$, кН	733	554	450	380	325	281	245	213	193	126,7	99	78	64,4	53,3	46,3	41,3	37,4	33,8	31
$K_{акт}$, о.е.	2,5	2,13	1,96	1,86	1,82	1,81	1,81	1,85	1,84	1,86	1,8	1,81	1,84	1,9	1,89	1,89	1,91	1,9	1,9
$i_{пасаб}$, о.е.	0,227	0,199	0,174	0,152	0,13	0,111	0,094	0,077	0,068	0,037	0,026	0,016	0,01	0,004	0,001	–	–	–	–
$i_{актаб}$, о.е.	0,6	0,448	0,36	0,3	0,25	0,217	0,187	0,16	0,143	0,087	0,063	0,046	0,034	0,025	0,019	0,015	0,012	0,009	0,006
$i_{пасгц}$, о.е.	0,207	0,179	0,154	0,132	0,11	0,091	0,074	0,057	0,048	0,017	0,006	–	–	–	–	–	–	–	–
$i_{актгц}$, о.е.	0,58	0,428	0,34	0,28	0,23	0,197	0,167	0,14	0,123	0,067	0,043	0,026	0,014	0,005	–	–	–	–	–

Расчет параметров ВИД и предельных подъемов, преодолеваемых автопоездом, в продолжительном режиме работы

В качестве продолжительного режима работы принимаем условный технологический цикл движения автопоезда со скоростью 15 км/ч в течение 4 ч (пробег 60 км).

По предельной тяговой характеристике, реализуемой системы дополнительной энергетики и активизации (СДЭА) на базе вентильно-индукторного электропривода (ВИП), находим, что тяговое усилие, развиваемое полуприцепом при скорости 15 км/ч, равно $F_{хпп} = 50$ кН.

Частоту вращения вентильно-индукторного двигателя (ВИД) при $V = 15$ км/ч определяем по (8):

$$V = 3,6 \cdot \pi \cdot 0,8 \cdot \frac{n_d}{(30 \cdot 34,85)} = 0,00865 \cdot n_d, \quad (8)$$

$$n_d = \frac{V}{0,00865} = \frac{15}{0,00865} = 1734 \text{ об/мин.} \quad (13)$$

Момент на валу ВИД при $F_{хпп} = 50$ кН определяем по (6):

$$F_{хпп} = 8 \cdot 34,85 \cdot 0,944 \cdot \frac{M_d}{(0,8 \cdot 10^3)} = 0,33 \cdot M_d, \quad (6)$$

$$M_d = \frac{F_{хпп}}{0,33} = \frac{50}{0,33} = 151,5 \text{ Нм.} \quad (14)$$

По тяговой характеристике автопоезда в пассивном режиме при $V = 15$ км/ч находим $F_{хпас} = 60$ кН.

Суммарное тяговое усилие автопоезда в активном режиме при $V = 15$ км/ч определяем по (9):

$$F_{хакт} = F_{хпас} + F_{хпп}, \quad (9)$$

$$F_{хакт} = 60 + 50 = 110 \text{ кН.} \quad (15)$$

Продольный уклон, преодолеваемый автопоездом со скоростью 15 км/ч в продолжительном режиме, определяем по (12):

$$i = F_x / (9,8 \cdot G_a) - f. \quad (12)$$

где F_x – суммарное тяговое усилие автопоезда, кН; G_a – полная масса автопоезда, т; i – продольный уклон дороги, о.е.; f – коэффициент сопротивления качению, о.е.

Для дороги с асфальтово-бетонным покрытием ($f = 0,02$)

$$i_{аб}^{\infty} = \frac{110}{(120 \cdot 9,8)} - 0,020 = 0,0735. \quad (16)$$

Для дороги с грунтово-щебеночным покрытием ($f = 0,04$)

$$i_{гщ}^{\infty} = \frac{110}{(120 \cdot 9,8)} - 0,040 = 0,0535. \quad (17)$$

Расчет параметров ВИД при движении автопоезда на руководящем подъеме

Определим параметры ВИД при движении автопоезда в активном режиме на руководящий подъем с продольным уклоном 10% со скоростью 12 км/ч по дороге с асфальтово-бетонным покрытием. Указанное сочетание параметров соответствует зависимости $i(V)$ для активного режима.

Частоту вращения ВИД при $V = 12$ км/ч определяем по (8):

$$n_d = \frac{V}{0,00865} = \frac{12}{0,00865} = 1387 \text{ об/мин.} \quad (18)$$

По предельной тяговой характеристике на валу ВИД (рис. 1) находим для $n_d = 1387$ об/мин значение $M_d = 180$ Нм.

Мощность на валу ВИД в этом режиме определяем из (4):

$$M_d = 9,55 \cdot 10^3 \cdot P_{2\text{вид}} / n_d, \quad (4)$$

где M_d – момент на валу ВИД, Нм; n_d – частота вращения вала ВИД, об/мин; $P_{2\text{вид}}$ – мощность на валу ВИД, кВт.

$$P_{2\text{вид}} = \frac{M_d \cdot n_d}{(9,55 \cdot 10^3)} = \frac{180 \cdot 1387}{(9,55 \cdot 10^3)} = 26,14 \text{ кВт.} \quad (19)$$

Определим зависимость длины подъема от времени движения автопоезда на подъем 10% со скоростью 12 км/ч.

Скорости 12 км/ч соответствуют $\frac{12 \cdot 10^3}{60} = 200$ м/мин. Тогда путь, пройденный автопоездом, равен:

$$L = V \cdot t = 200 \cdot t, \quad (20)$$

где L – путь, пройденный автопоездом, м; V – скорость движения автопоезда на подъем, м/мин; t – время движения автопоезда на подъем, мин.

Результаты расчета по (20) сведены в табл. 2.

Таблица 2

t , мин	1	2	3	4	5	6	7	8
L , м	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600

Продолжение табл. 2

t , мин	9	10	11	12	13	14	15
L , м	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000

Как следует из табл. 2, при движении в активном режиме на подъем 10% со скоростью 12 км/ч по дороге с асфальтово-бетонным покрытием автопоезд в течение 15 мин проходит расстояние 3000 м. Для выполнения ВИП требований этого режима ВИД мотор-колес должны обеспечивать реализацию момента на валу $M_d = 180$ Нм при частоте вращения около $n_d = 1400$ об/мин в течение 15 мин из средненагретого состояния без превышения допустимой температуры.

Определим теперь параметры ВИД при движении автопоезда в активном режиме на руководящий подъем с продольным уклоном 10% со скоростью 10 км/ч по дороге с грунтово-щебеночным покрытием. Указанное сочетание параметров соответствует зависимости $i(V)$, приведенной на рис. 4 для активного режима.

Частоту вращения ВИД при $V = 10$ км/ч определяем по (8):

$$n_d = \frac{V}{0,00865} = \frac{10}{0,00865} = 1156 \text{ об/мин.} \quad (21)$$

По предельной тяговой характеристике на валу ВИД находим для $n_d = 1156$ об/мин значение $M_d = 225$ Нм.

Мощность на валу ВИД в этом режиме определяем из (4) [1, 2, 4]:

$$P_{2\text{вид}} = \frac{M_d \cdot n_d}{(9,55 \cdot 10^3)} = \frac{225 \cdot 1156}{(9,55 \cdot 10^3)} = 27,2 \text{ кВт.} \quad (22)$$

Определим зависимость длины подъема от времени движения автопоезда на подъем 10% со скоростью 10 км/ч.

Скорости 10 км/ч соответствуют $10 \cdot 10^3 / 60 = 166,7$ м/мин. Тогда путь, пройденный автопоездом, равен:

$$L = V \cdot t = 166,7 \cdot t. \quad (23)$$

Результаты расчета по (23) сведены в табл. 3.

Таблица 3

<i>t</i> , мин	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>L</i> , м	167	333	500	667	833	1000	1167	1333

Продолжение табл. 3

<i>t</i> , мин	9	10	11	12	13	14	15
<i>L</i> , м	1500	1667	1833	2000	2167	2333	2500

Как следует из табл. 3, при движении в активном режиме на подъем 10% со скоростью 10 км/ч по дороге с грунтово-щебеночным покрытием автопоезд в течение 10 мин проходит расстояние 1667 м. Для выполнения ВИП требований этого режима ВИД мотор-колес должны обеспечивать реализацию момента на валу $M_d = 225$ Нм при частоте вращения около $n_d = 1150$ об/мин в течение 10 мин из средненагретого состояния без превышения допустимой температуры.

Расчет параметров предельного перегрузочного режима работы ВИП

В качестве предельного перегрузочного режима работы вентильно-индукторного двигателя ВИП принимаем режим работы автопоезда, при котором на валу ВИД реализуется момент 833 Нм в течение 2 мин. Этот режим соответствует предельному перегрузочному режиму электродвигателя постоянного тока ДК718Д1.

По предельной тяговой характеристике на валу ВИД находим для $M_d = 833$ Нм значение $n_d = 290$ об/мин.

Мощность на валу ВИД в этом режиме определяем из (4):

$$M_d = 9,55 \cdot 10^3 \cdot P_{2\text{вид}} / n_d, \quad (4)$$

где M_d – момент на валу ВИД, Нм; n_d – частота вращения вала ВИД, об/мин; $P_{2\text{вид}}$ – мощность на валу ВИД, кВт.

$$P_{2\text{вид}} = \frac{M_d \cdot n_d}{(9,55 \cdot 10^3)} = \frac{833 \cdot 290}{(9,55 \cdot 10^3)} = 25,3 \text{ кВт}. \quad (24)$$

Суммарное тяговое усилие, реализуемое электромеханической трансмиссией (ЭМТ) полуприцепа в этом режиме, определяем из (30):

$$F_{\text{хпп}} = 8 \cdot 34,85 \cdot 0,944 \cdot \frac{M_d}{(0,8 \cdot 10^3)} = 0,33 \cdot M_d, \quad (25)$$

$$F_{\text{хпп}} = 0,33 \cdot M_d = 0,33 \cdot 833 = 275 \text{ кН}. \quad (26)$$

Скорость автопоезда в этом режиме определяем из (32):

$$V = 3,6 \cdot \pi \cdot 0,8 \cdot \frac{n_d}{(30 \cdot 34,85)} = 0,00865 \cdot n_d, \quad (27)$$

$$V = 0,00865 \cdot n_d = 0,00865 \cdot 290 = 2,5 \text{ км/ч}. \quad (28)$$

По тяговой характеристике автопоезда в пассивном режиме при $V = 2,5$ км/ч находим $F_{\text{хпас}} = 260$ кН.

Суммарное тяговое усилие автопоезда в активном режиме определяем по (9):

$$F_{\text{хакт}} = F_{\text{хпас}} + F_{\text{хпп}}, \quad (9)$$

$$F_{\text{хакт}} = 260 + 275 = 535 \text{ кН}. \quad (29)$$

Продольный уклон, преодолеваемый автопоездом со скоростью 2,5 км/ч, определяем по (12):

$$i = F_x / (9,8 \cdot G_a) - f. \quad (12)$$

где F_x – суммарное тяговое усилие автопоезда, кН; G_a – полная масса автопоезда, т; i – продольный уклон дороги; f – коэффициент сопротивления качению.

Для дороги с асфальтово-бетонным покрытием ($f = 0,02$):

$$i_{\text{аб пред}} = 535/(120 \cdot 9,8) - 0,020 = 0,435. \quad (30)$$

Для дороги с грунтово-щебеночным покрытием ($f = 0,04$):

$$i_{\text{гщ пред}} = 535/(120 \cdot 9,8) - 0,040 = 0,415. \quad (31)$$

Определим зависимость длины подъема от времени движения автопоезда на подъем $i_{\text{аб пред}} = 0,435$ ($i_{\text{гщ пред}} = 0,415$) со скоростью 2,5 км/ч.

Скорости 2,5 км/ч соответствуют $2,5 \cdot 10^3/60 = 41,7$ м/мин. Тогда путь, пройденный автопоездом, равен:

$$L = V \cdot t = 41,7 \cdot t. \quad (32)$$

Результаты расчета по (32) сведены в табл. 4.

Таблица 4

$t, \text{ мин}$	1	2	3	4	5	6	7
$L, \text{ м}$	41,7	83,3	125	167	208	250	292

Продолжение табл. 4

$t, \text{ мин}$	8	9	10	11	12
$L, \text{ м}$	333	375	417	458	500

Как следует из табл. 4, при движении в активном режиме со скоростью 2,5 км/ч на подъем 43,5% по дороге с асфальтово-бетонным покрытием или на подъем 41,5% по дороге с грунтово-щебеночным покрытием автопоезд в течение 2 мин проходит расстояние 83,3 м. Для выполнения ВИП требований этого режима ВИД мотор-колес должны обеспечивать реализацию момента на валу $M_d = 833$ Нм при частоте вращения $n_d = 290$ об/мин в течение 2 мин из средненагретого состояния без превышения допустимой температуры.

Заключение

Научная новизна представленного материала заключается в разработке методики оценки предельных тяговых характеристик системы дополнительной энергетики и активизации на базе автономных вентильно-индукторных электроприводов и предельных подъемов, преодолеваемых подвижным агрегатом ракетного комплекса с ее применением при перегрузочном режиме работы при движении с заданными скоростями.

Теоретическая и практическая значимость представленных результатов обусловлена тем, что они являются дальнейшим развитием теории систем дополнительной энергетики, а их применение позволит повысить подвижность и проходимость подвижных агрегатов ракетных и ракетно-космических комплексов.

Литература

1. 3Ф-30-9.00Р05.1 Расчет тяговой характеристики автопоезда.
2. Аракелян. А.К., Афанасьев А.А. Вентильные электрические машины и регулируемый электропривод: В 2 кн. М.: Энергоатомиздат, 1997.
3. Зимелев Г.В. Теория автомобиля. Л.: Военное из-во Мин. обороны Союза ССР, 1957. 455 с.
4. Тимофеев Ю.Л., Тимофеев Г.Л., Ильин Н.М. Электрооборудование автомобилей: Устранение и предупреждение неисправностей. 4-е изд. М.: Транспорт, 1998. 301 с.
5. Пойнченко В.В. Современные грузовые автотранспортные средства: справочник. М.: Доринфомсервис, 2004. 592 с.

References

1. 3F-30-9.00R05.1 Raschet tjugovoj harakteristiki avtopoezda.
2. Arakeljan. A.K., Afanas'ev A.A. *Ventil'nye jelektricheskie mashiny i reguliruemyj jelektroprivod* (Brushless electric machines and electric drive adjustable): V 2 kn. Moscow, Jenergoatomizdat, 1997.
3. Zimelev G.V. *Teorija avtomobilja* (The theory of the vehicle), Leningrad: Voennoe iz-vo Min. oborony Sojuza SSR, 1957, 455 p.
4. Timofeev Ju.L., Timofeev G.L., Il'in N.M. *Jelektrooborudovanie avtomobilej: Ustranenie i preduprezhdenie neispravnostej* (Electrical cars: Elimination and failure prevention), 4-e izd. Moscow, Transport, 1998, 301 p.

5. Pojnchenko V.V. *Sovremennye грузовые avtotransportnye sredstva* (Modern freight vehicles), справочник, Moscow: Agenstvo «Dorinfomservis», 2004, 592 p.

O. Egorov

The simulation results and evaluation the ultimate traction system for more energy and activation on the basis of autonomous switched-reluctance drives and marginal rises, overcoming experimental rig

Abstract. In article settlement ratios, results of an assessment of limit traction characteristics of independent valve-inductor engines, the experimental model of the semi-trailer of the road train and limit rises overcome by the experimental road train in the active and passive modes, in the mode of long rise, in the mode of the leading rise are considered and also at the reloading mode of functioning.

Key words: model, experiment, evaluation, result, traction characteristics, switched - reluctance drive, energy, maximum lifting system for more energy, combination, actuator, drive, motor-wheel, heavy-duty vehicle, modularity, module, experimental model.