Периодический рецензируемый научно-технический журнал «Электроника и электрооборудование транспорта» является коллективным членом Академии электротехнических наук РФ.

Учредитель и издатель – Научно-производственное предприятие «Томилинский электронный завод».

Журнал включен в перечень изданий, рекомендованных ВАК для апробации кандидатских и докторских диссертаций.

Свидетельство
о регистрации СМИ
ПИ №ФС 77-29963
от 17 октября 2007 г.

Главный редактор:
А.Г. Бабак, к.т.н.

Редакционный совет:
М.П. Бадёр, д.т.н., профессор,
Л.А. Герман, д.т.н., профессор,
В.Н. Дианов, д.т.н., профессор,
Ю.М. Иньков, д.т.н., профессор,
К.Л. Ковалёв, д.т.н., профессор,
А.С. Космодамианский, д.т.н., профессор,
А.С. Мазнёв, д.т.н., профессор,
Г.Г. Рябцев, д.т.н., профессор,
В.И. Сарбаев, д.т.н., профессор,
В.Е. Ютт, д.т.н., профессор.

Выпускающий редактор:
Н.А. Климчук.

Редакция:
140070, Московская область,
Люберецкий район, п. Томилино,
ул. Гаршина, д. 11
Тел./факс: (495) 500-40-20,
(495) 557-23-95
E-mail: npptez@mail.ru
Сайт: www.npptez.ru

Подписано в печать:
?????.2015 г.

Отпечатано:
ГУП МО «Коломенская типография».
140400, г. Коломна,
ул. III Интернационала, д. 2а
E-mail: bab40@yandex.ru

Формат 60x90/8,
бумага мелованная, объем 7 п.л.,
тираж 1000 экз., заказ 1540.

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

Герман Л.А., Петров Д.В.
Роль продольной и поперечной составляющих падения напряжения при автоматизации режима тяговой подстанции 2

Дебелов В.В., Козловский В.Н., Родин Н.Г.
Моделирование электротехнических систем управления на автомобильном транспорте 9

Максимова А.А., Герман Л.А., Гончаренко В.П.
Новая схема фильтрокомпенсирующей установки в тяговой сети переменного тока 15

Изварин М.Ю., Евстафьев А.М., Евстафьева М.В.
Оценка энергоэффективности скоростного и высокоскоростного железнодорожного транспорта 21

Данг Вьет Фук
Модель вагона метрополитена для исследования гармонического состава тягового тока 24

Сафин А.Р., Мисбахов Р.Ш., Гуреев В.М.
Обоснование рациональной модели тележки трамвая на основе параллельного моделирования в среде Matlab/Simulink и CAD, CAE – системе CATIA V5. 28

Пивоваров П.Н., Бочкарев В.Н.
Влияние фазы включения напряжения на полное время срабатывания токоограничивающих выключателей 33

Доманов В.И., Доманов А.В., Халиуллов Д.С.
Синтез системы управления автономного асинхронного генератора 35

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ

Иванов И.П., Моисеев С.А., Петров О.А., Паршиков Ю.Г., Саморядов А.В., Сигейкин Г.И., Приказщиков А.В.
Из опыта применения конструкционных термопластов в изделиях электротехники 38

ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ, СЕРТИФИКАЦИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Козловский В.Н., Афиногентова Н.В., Родин Н.Г.
Ранжирование проблем качества автомобилей в эксплуатации и определение наименее надежных элементов системы электрооборудования 43

ИНФОРМАЦИЯ

Краснов Л.А.
О лучших изобретениях России 50

Краснов Л.А.
О порядке отнесения интегральных схем к продукции российского производства 51

Краснов Л.А.
Об учете расходов на НИОКР при налогообложении в случае получения исключительных прав на результаты интеллектуальной деятельности 52

Перечень статей, напечатанных в журнале «Электроника и электрооборудование транспорта» в 2015 году 53

Роль продольной и поперечной составляющих падения напряжения при автоматизации режима тяговой подстанции

// The role of longitudinal and transverse components of the voltage drop in the automation mode of traction substation //

Герман Л.А., д.т. н., профессор,
Нижегородский филиал Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ),
г. Нижний Новгород

Петров Д.В.,
ООО «Риттал», г. Канаш

Рассматривается тяговая подстанция переменного тока с установкой продольной емкостной компенсации (УПК) и устройством регулирования напряжения под нагрузкой трансформатора (УРПН). Исследуется влияние продольной емкостной компенсации в отсасывающей линии и УРПН на продольную и поперечную составляющие падения напряжения. Выведена формула расчета степени компенсации УПК с учетом активной составляющей сопротивления подстанции. Для тягового участка построены зависимости составляющих падения напряжения от токов нагрузок плеч питания с УПК и без УПК. Даны предложения по совместной работе УПК и УРПН и по выбору степени компенсации УПК для обеспечения равенства напряжений по плечам питания для эффективной работы УРПН.

Ключевые слова: продольная емкостная компенсация, УРПН, продольная и поперечная составляющие падения напряжения, степень компенсации УПК, токи нагрузок плеч питания, совместная работа УПК и УРПН.

We considered the AC traction substation with the installation of a longitudinal capacitive compensation (LCC) and the device of regulation of tension under loading of the transformer (DRTL). Examines the impact of longitudinal capacitive compensation in the suction line and DRTL into longitudinal and transverse components of the voltage drop. Devised formula of calculation of the degree of compensation of the LCC with regard to the active component of the resistance of the substation. For traction substation were are built dependences of components of power failure on currents of loadings of the supply sections with the LCC and without LCC. Recommendations were are given about joint work of LCC and DRTL and choice degree of compensation of LCC for ensuring equality of tension on the supply sections for effective work of DRTL.

Keywords: longitudinal capacitive compensation, DRTL, longitudinal and transverse components of the voltage drop, the degree of compensation of the LCC, the load currents of the supply sections, joint work of LCC and DRTL.

Расчетные формулы

Автоматизация режима тяговой подстанции переменного тока по напряжению выполняется, как правило, с помощью установок продольной (УПК) и поперечной (КУ) емкостных компенсаций, а также с помощью использования устройства регулирования напряжения под нагрузкой (УРПН) трансформаторов. Рассмотрим режим тяговой подстанции с УПК и УРПН. При включении УПК и работе УРПН изменяются как продольная, так и поперечная составляющие напряжения [1–5]. Продольная составляющая (ΔU) непосредственно влияет на уровень напряжения в тяговой сети, а поперечная составляющая (δU) изменяет фазу напряжения, что оказывает влияние на перетоки мощности (уравнительные токи) в тяговой сети. На основании схемы замещения тяговой подстанции 27,5 кВ со схемой трансформатора Y/Δ (рис. 1) и с УПК, включенной в отсасывающую линию, построена векторная диаграмма падения напряжения во всех трех фазах при тяговой нагрузке в отстающей и опережающей фазах (рис. 2). Расчеты выполним для первой гармоники тягового тока.

На диаграмме использованы следующие обозначения:

$U'_{оп}$; $U'_{от}$; $U'_{св}$ – напряжение фаз источника питания;

$U_{оп}$; $U_{от}$; $U_{св}$ – напряжение фаз обмотки 27,5 кВ на тяговой подстанции;

$\varphi_{оп}$; $\varphi_{от}$; $\varphi_{св}$ – угол сдвига фаз между током и напряжением на подстанции;

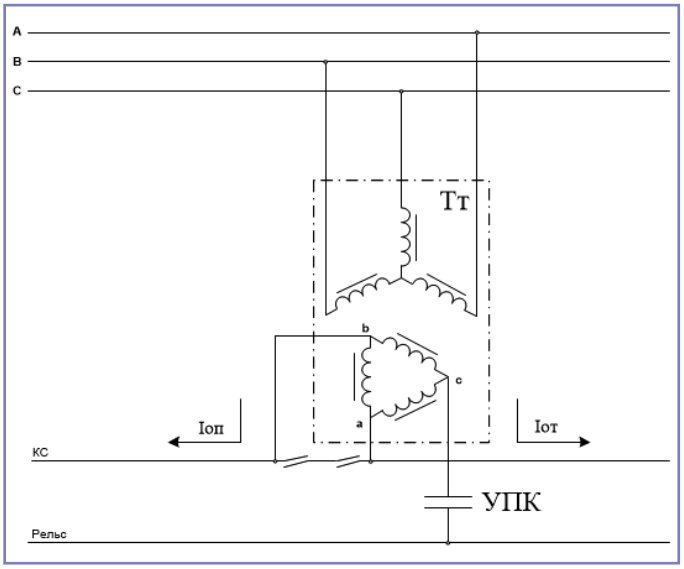


Рис. 1. Схема замещения тяговой подстанции 27,5 кВ со схемой трансформатора Y/Δ: фаза напряжения са – отстающая (Uom); вс – опережающая (Uon); фаза ав – свободная (Uсв).

$I_{оп}$; $I_{от}$; $I_{св}$ – токи нагрузки;

$R_{тп}$; $X_{тп}$ – активное и реактивное сопротивления тяговой подстанции;

X_c – сопротивление УПК, включенной в отсасывающую линию тяговой подстанции;

Кт – коэффициент трансформации на холостом ходу трансформатора. Здесь Кт представляет отношение напряжения обмотки 27,5 кВ к напряжению обмотки 110 кВ, причем все напряжения приведены к напряжению 27,5 кВ.

Напряжение на шинах 27,5 кВ равно

$$\underline{U} = \underline{U}' - \Delta\underline{U}$$

При изменении коэффициента трансформации напряжение на шинах 27,5 кВ равно

$$\underline{U} = \underline{U}' \pm \underline{U}_{кт} - \Delta\underline{U}_{кт}$$

где $\underline{U}_{кт}$ – «добавка» напряжения при изменении коэффициента трансформации

$$\pm\underline{U}_{кт} = \pm\left(\frac{n\Delta k_{\%}}{100}\right)U_{ном}$$

$\Delta\underline{U}$ – падение напряжения при номинальном коэффициенте трансформации;

$\Delta\underline{U}_{кт}$ – падение напряжения при изменении коэффициента трансформации;

n – количество включенных ответвлений относительно среднего ответвления УРПН: $-9 \le n \le +9$;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение обмотки напряжения 27,5 кВ тягового трансформатора;

Δk% – ступень (шаг) регулирования напряжения, для тяговых трансформаторов 40 МВА напряжением 110 кВ – Δk% = 1,78%.

По векторной диаграмме определим падения напряжения в фазах от токов тяговой нагрузки $I_{от}$ и $I_{оп}$ [6] с учетом изменения сопротивления при изменяющимся коэффициенте трансформации

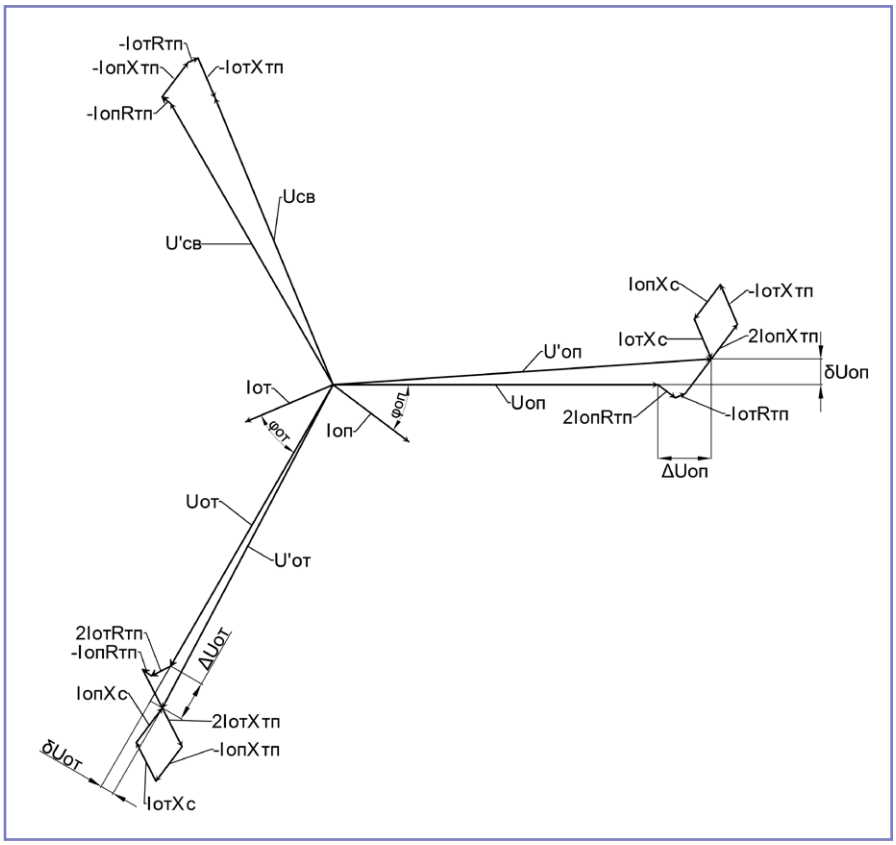


Рис. 2. Векторная диаграмма падения напряжения.

$$\Delta\underline{U}_{кт(оп)} = \underline{I}_{оп}(2\underline{Z}_{тп} * K_т^2 - \underline{X}_c) - \underline{I}_{от}(\underline{Z}_{тп} * K_т^2 - \underline{X}_c) =$$
$$= I_{оп}(cos\,\varphi_{оп} + j\,sin\,\varphi_{оп})\,(2r_{тп} * K_т^2 + j(2x_{тп} * K_т^2 - x_c)) -$$
$$-I_{от}(cos(\varphi_{от} + 120°) + j\,sin(\varphi_{от} + 120°))\,(r_{тп} * K_т^2 + j(x_{тп} * K_т^2 - x_c)) =$$
$$= I_{оп}(2r_{тп} * K_т^2\,cos\,\varphi_{оп} - 2x_{тп} * K_т^2\,sin\,\varphi_{оп} + x_c\,sin\,\varphi_{оп} +$$
$$+j(2x_{тп} * K_т^2\,cos\,\varphi_{оп} - x_c\,cos\,\varphi_{оп} + 2r_{тп} * K_т^2\,sin\,\varphi_{оп})) -$$
$$-I_{от}(r_{тп} * K_т^2\,cos(\varphi_{от} + 120°) - x_{тп} * K_т^2\,sin(\varphi_{от} + 120°) +$$
$$+x_c\,sin(\varphi_{от} + 120°) + j(x_{тп} * K_т^2\,cos(\varphi_{от} + 120°) - x_c\,cos(\varphi_{от} + 120°) +$$
$$+r_{тп} * K_т^2\,\sin(\varphi_{от} + 120°))) \qquad (1)$$

$$\Delta\underline{U}_{кт(от)} = \underline{I}_{от}(2\underline{Z}_{тп} * K_т^2 - \underline{X}_c) - \underline{I}_{оп}(\underline{Z}_{тп} * K_т^2 - \underline{X}_c) =$$
$$= I_{от}(cos(\varphi_{от} + 120°) + j\,sin(\varphi_{от} + 120°))\,(2r_{тп} * K_т^2 + j(2x_{от} * K_т^2 - x_c)) -$$
$$-I_{оп}(cos\,\varphi_{оп} + j\,sin\,\varphi_{оп})(r_{тп} * K_т^2 + j(x_{тп} * K_т^2 - x_c)) =$$
$$= I_{от}(2r_{тп} * K_т^2\,cos(\varphi_{от} + 120°) - 2x_{тп} * K_т^2\,sin(\varphi_{от} + 120°)$$
$$+x_c\,sin(\varphi_{от} + 120°) + j(2x_{тп}K_т^2\,cos(\varphi_{от} + 120°) - x_c cos(\varphi_{от} + 120°)) +$$
$$+2r_{тп} * K_т^2\,sin(\varphi_{от} + 120°)) - I_{оп}(r_{тп} * K_т^2\,cos\,\varphi_{оп} - x_{тп} * K_т^2\,sin\,\varphi_{оп} +$$
$$+x_c\,sin\,\varphi_{оп} + j(x_{тп} * K_т^2\,cos\,\varphi_{оп} - x_c\,\cos\varphi_{оп} + r_{тп} * K_т^2\,\sin\varphi_{оп})) \qquad (2)$$

$$\Delta\underline{U}_{кт(св)} = -\underline{I}_{от} * \underline{Z}_{тп} * K_т^2 - \underline{I}_{оп} * \underline{Z}_{тп} * K_т^2 =$$
$$= -I_{от}((cos(\varphi_{от} + 120°) + j\,sin(\varphi_{от} + 120°))(r_{тп} * K_т^2 + jx_{тп} * K_т^2)) -$$
$$-I_{оп}((cos\,\varphi_{оп} + j\,sin\,\varphi_{оп}))(r_{тп} * K_т^2 + jx_{тп} * K_т^2)) =$$
$$-I_{от}(r_{тп} * K_т^2\,cos(\varphi_{от} + 120°) - x_{тп} * K_т^2\,sin(\varphi_{от} + 120°) +$$
$$j(x_{тп} * K_т^2\,cos(\varphi_{от} + 120°) + r_{тп} * K_т^2 sin(\varphi_{от} + 120°))$$
$$-I_{оп}\big(r_{тп} * K_т^2 cos\,\varphi_{оп} - x_{тп} * K_т^2\,sin\,\varphi_{оп} +$$
$$j(x_{тп} * K_т^2\,cos\,\varphi_{оп} + r_{тп} * K_т^2\,sin\,\varphi_{оп})\big) \qquad (3)$$

Продольные составляющие векторов падения напряжения опережающей и отстающей фаз находятся по следующим формулам

$$\Delta U_{кт(оп)} = \pm\left(\frac{n\Delta k_{\%}}{100}\right)\Delta U_{ном} - (2I_{оп}r_{тп}K_т^2\cos\varphi_{оп} + I_{от}r_{тп}K_т^2\cos(60° - \varphi_{от}) + 2I_{оп}x_{тп}K_т^2\sin\varphi_{оп} - I_{от}x_{тп}K_т^2\sin(60° - \varphi_{от}) - I_{оп}x_c\sin\varphi_{оп} + I_{от}x_c\sin(60° - \varphi_{от})) \quad (4)$$

$$\Delta U_{кт(от)} = \pm\left(\frac{n\Delta k_{\%}}{100}\right)\Delta U_{ном} - (2I_{от}r_{тп}K_т^2\cos\varphi_{от} + I_{оп}r_{тп}K_т^2\cos(\varphi_{оп} + 60°) + 2I_{от}x_{тп}K_т^2\sin\varphi_{от} + I_{оп}x_{тп}K_т^2\sin(\varphi_{оп} + 60°) - I_{от}x_c\sin\varphi_{от} - I_{оп}x_c\sin(\varphi_{оп} + 60°)) \quad (5)$$

Поперечные составляющие векторов падения напряжения опережающей и отстающей фаз определяются

$$\delta U_{кт(оп)} = -2I_{оп}r_{тп}K_т^2\sin\varphi_{оп} + I_{от}r_{тп}K_т^2\sin(60° - \varphi_{от}) + 2I_{оп}r_{тп}K_т^2\cos\varphi_{оп} + I_{от}x_{тп}K_т^2\cos(60° - \varphi_{от}) - I_{оп}x_c\cos\varphi_{оп} - I_{от}x_c\cos(60° - \varphi_{от}) \quad (6)$$

$$\delta U_{кт(от)} = -2I_{от}r_{тп}K_т^2\sin\varphi_{от} - I_{оп}r_{тп}K_т^2\sin(\varphi_{оп} + 60°) + 2I_{от}x_{тп}K_т^2\cos\varphi_{от} - I_{оп}x_{тп} * K_т^2\cos(\varphi_{оп} + 60°) - I_{от}x_c\cos\varphi_{от} + I_{оп}x_c\cos(\varphi_{оп} + 60°) \quad (7)$$

Графики продольной и поперечной составляющих падения напряжения

На основании выведенных формул построим зависимости продольной и поперечной составляющих от изменения коэффициента трансформации трансформатора (рис. 3) и сопротивления продольной емкостной компенсации (рис. 4). Принимаем максимальную нагрузку по плечам питания – 500 А.

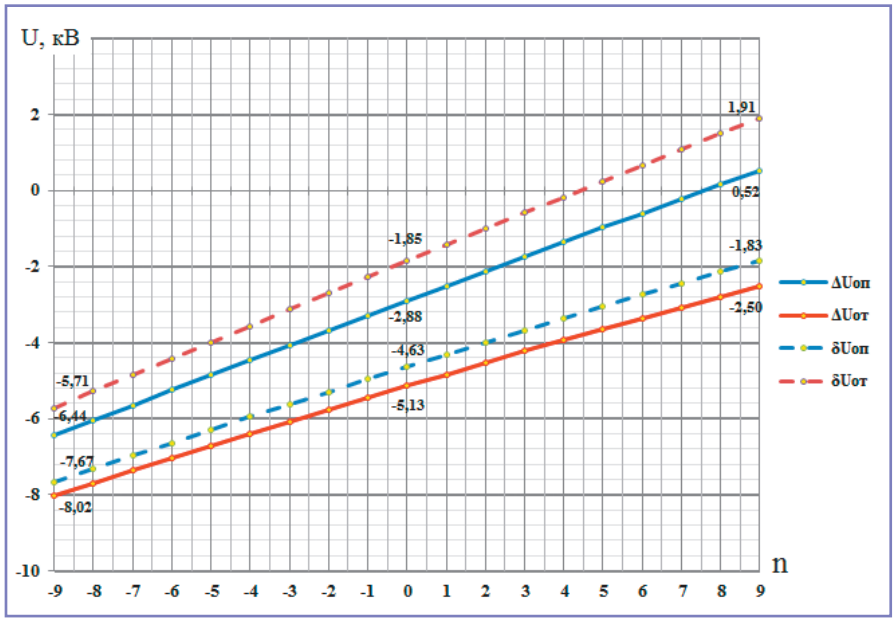


Рис. 3. Зависимостипродольной (ΔUкт) и поперечной (δUкт) составляющих «добавки» и падения напряжения (Uкт – ΔUкт) от изменения коэффициента трансформации УРПН при максимальных нагрузках Iот и Iоп.

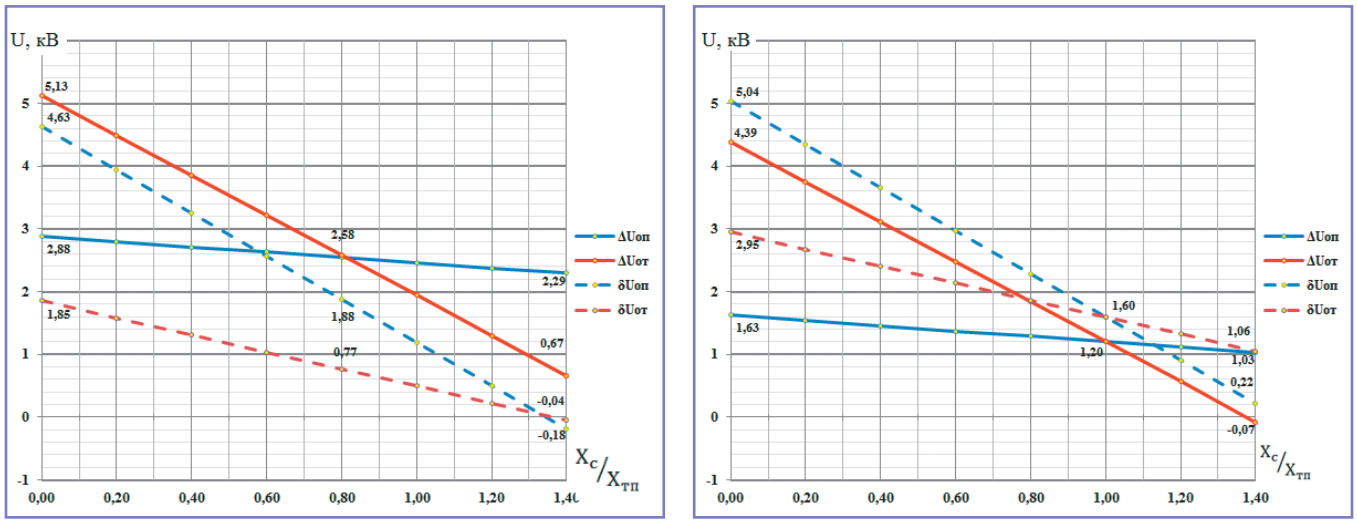
Указанные зависимости на рис. 3 практически линейные, и диапазон изменения напряжения при номинальном токе трансформатора составляет +/– 2,76 кВ относительно среднего (номинального) значения коэффициента трансформации, в то время как при холостом ходе диапазон регулирования напряжения +/– 1,78х275 = 489,5 кВ. Ограничение в регулировании по верхнему пределу определяется степенью перевозбуждения трансформатора [7]. Кроме того, линейность характеристик нарушается при дефиците реактивной мощности в данном узле энергосистемы [6]. Решающее значение в регулировании напряжения с помощью УРПН имеет продольная составляющая «добавки» напряжения. Однако, так как при этом изменяются предвключенные сопротивления, также несколько изменяются и поперечные составляющие падения напряжения.

При включении УПК в отсасывающую линию снижаются и продольная, и поперечная составляющие падения напряжения как в отстающей, так и в опережающей фазах (рис. 4). Как видно, равные потери напряжения по плечам питания получаются при степени компенсации УПК (Кр = Хс / Хтп) – 0,8 (рис. 4а). Однако при расчетах напряжений по плечам питания по формулам (4) и (5) без учета активных сопротивлений СВЭ получено, что для выравнивания продольной составляющей напряжений по плечам питания степень компенсации УПК должна быть – 1 (рис. 4б). Это указано в ряде исследований [2, 3], где также не учитывалась активная составляющая сопротивления.

Следует учесть, что сопротивление тяговой подстанции состоит из сопротивления трансформатора и системы внешнего электроснабжения. Так как активное сопротивление трансформатора в 20…30 раз меньше реактивного, то при уменьшении сопротивления системы внешнего электроснабжения степень компенсации УПК для выравнивания напряжений по плечам питания должна приближаться к –1. Таким образом, как показывают расчеты, в общем случае для выравнивания напряжения по плечам питания степень компенсации УПК должна лежать в пределах 0,8…1. Точное значение определяется путем расчетов с учетом активного сопротивления.

Как видно (рис. 4а), при нагрузке подстанции по плечам питания, близкой к номинальной, УПК со степенью компенсации 0,8 уменьшает потерю напряжения на отстающей фазе с 5,13 кВ до 2,5 кВ, а на опережающей фазе – с 2,88 до 2,5 кВ.

Определим степени компенсации УПК для выполнения условия ΔUоп = ΔUот, то есть условия равенства продольных составляющих падения напряжения (а значит, и равенства продольных составляющих напряжения в контактной сети). Для этого приравняем продольные составляющие падения напряжения отстающей и опережающей фаз в формулах (4) и (5) и после простейших преобразований получим степень компенсации УПК Кр (как отношение емкостного сопротивления



а) *б)*

Рис. 4. Зависимости продольной и поперечной составляющих падения напряжения при изменении сопротивления УПК: а) с учетом активного сопротивления Rmn; б) без учета Rmn.

УПК в отсасывающей линии к фазному сопротивлению тяговой подстанции в схеме замещения «Звезда – звезда»: $K_p = X_c / X_{тп}$).

$$K_P = \sqrt{3}K_т^2 \frac{\sqrt{3}I_{оп}\frac{r_{тп}}{x_{тп}}\cos\varphi_{оп}+I_{от}\frac{r_{тп}}{x_{тп}}\sin\varphi_{от}+\sqrt{3}I_{оп}\sin\varphi_{оп}-I_{от}\cos\varphi_{от}-\sqrt{3}I_{от}\frac{r_{тп}}{x_{тп}}\cos\varphi_{от}+I_{оп}\frac{r_{тп}}{x_{тп}}\sin\varphi_{оп}-\sqrt{3}I_{от}\sin\varphi_{от}-I_{оп}\cos\varphi_{оп}}{I_{оп}\sin\varphi_{оп}-\sqrt{3}I_{от}\cos\varphi_{от}-I_{от}\sin\varphi_{от}-\sqrt{3}I_{оп}\cos\varphi_{оп}} \quad (8)$$

Введем переменную $n = I_{оп} / I_{от}$ в (8), тогда получим

$$K_P = \sqrt{3}K_т^2 \frac{\left(\sqrt{3}\frac{r_{тп}}{x_{тп}}-1\right)n\cos\varphi_{оп}+\left(\sqrt{3}+\frac{r_{тп}}{x_{тп}}\right)n\sin\varphi_{оп}-\left(\sqrt{3}\frac{r_{тп}}{x_{тп}}+1\right)\cos\varphi_{от}+\left(\frac{r_{тп}}{x_{тп}}-\sqrt{3}\right)\sin\varphi_{от}}{n(\sin\varphi_{оп}-\sqrt{3}\cos\varphi_{оп})-(\sin\varphi_{от}+\sqrt{3}\cos\varphi_{от})} \quad (9)$$

Без учета активной составляющей сопротивления из формулы (9) находим степень компенсации

$$K_р = \sqrt{3}K_т^2 \frac{\sin(30+\varphi_{от})-n\sin(\varphi_{оп}-30)}{\sin(60+\varphi_{от})+n\sin(60-\varphi_{оп})} \quad (10)$$

По формулам (9) и (10) построим графики $K_р$ (рис. 5).

Таким образом, анализ выполненных исследований (рис. 5) позволяет сделать следующие выводы:

- для обеспечения равенства напряжений по плечам питания степень компенсации должна изменяться с изменением соотношения нагрузок по фазам. При изменении соотношения нагрузок n от 0,3 до 3 степень компенсации изменяется от 1,3 до 0,5;
- при учете активных составляющих сопротивления для обеспечения равенства напряжений по плечам питания степень компенсации уменьшается, и, например, при n=1 и R=0 степень компенсации равна 1, а при R/X = 0,2 степень компенсации снижается до 0,8;
- степень компенсации целесообразно определять по отношению средних токов нагрузки по плечам питания. Указанное является следствием теоремы о числовых характеристиках: математическое ожидание

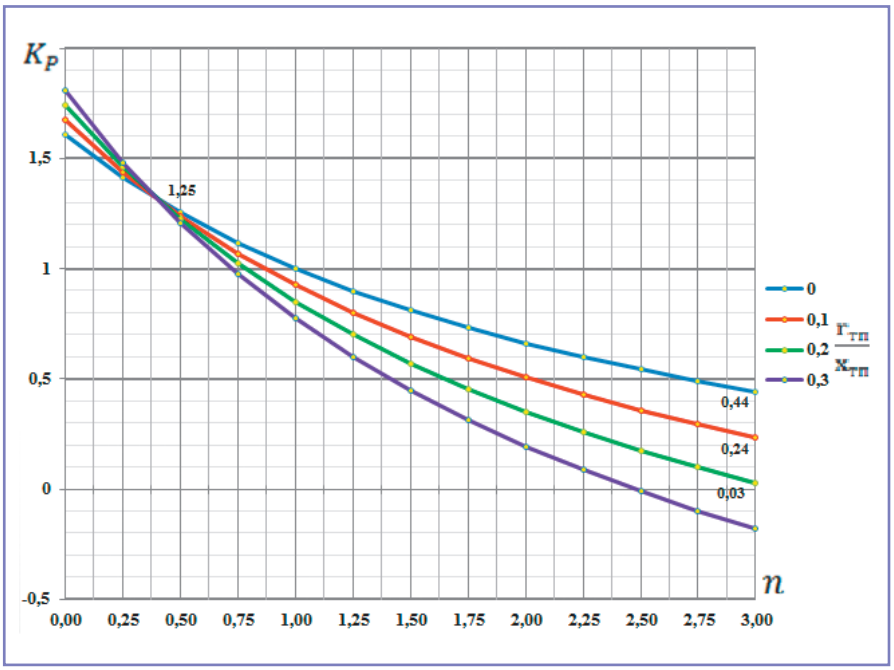


Рис. 5. Степень компенсации $K_р$ в зависимости от соотношения нагрузок отстающей и опережающей фаз.

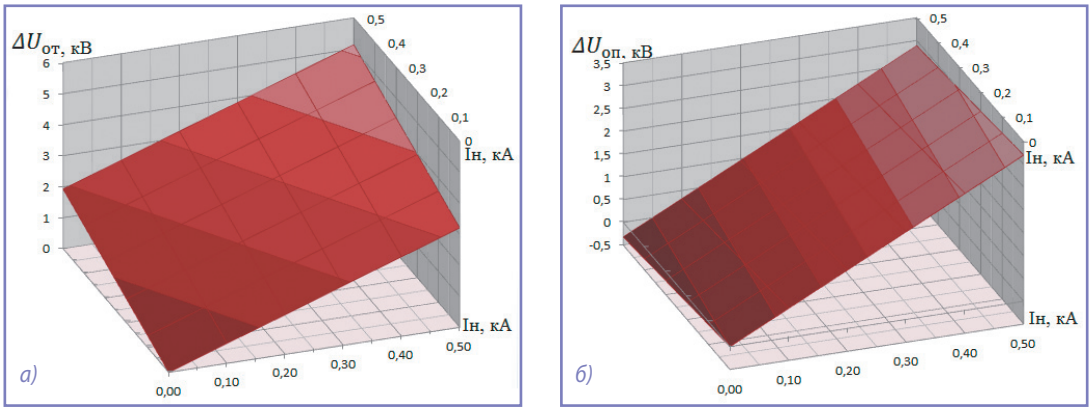


Рис. 6. Графики $\Delta U_{от}$ (а) и $\Delta U_{оп}$ (б) при изменении тяговой нагрузки без УПК.

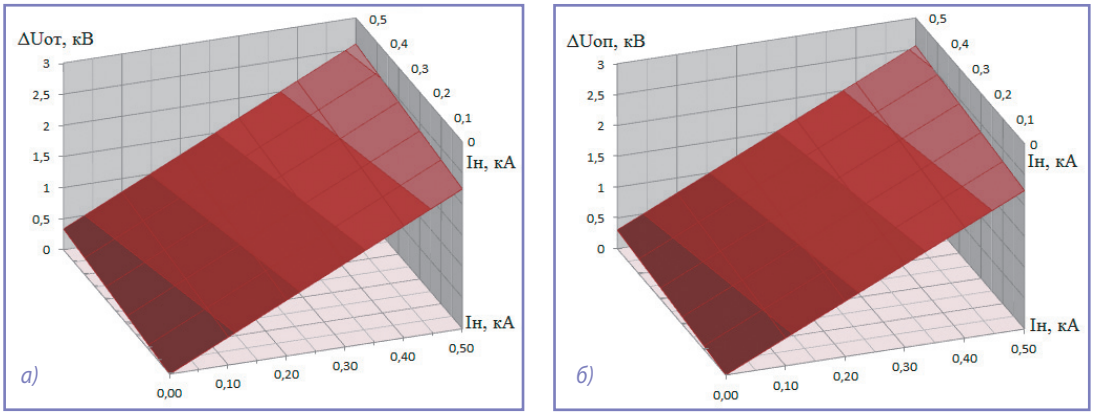


Рис. 7. Графики $\Delta U_{от}$ (а) и $\Delta U_{оп}$ (б) при изменении тяговой нагрузки (степень компенсации – 0,8).

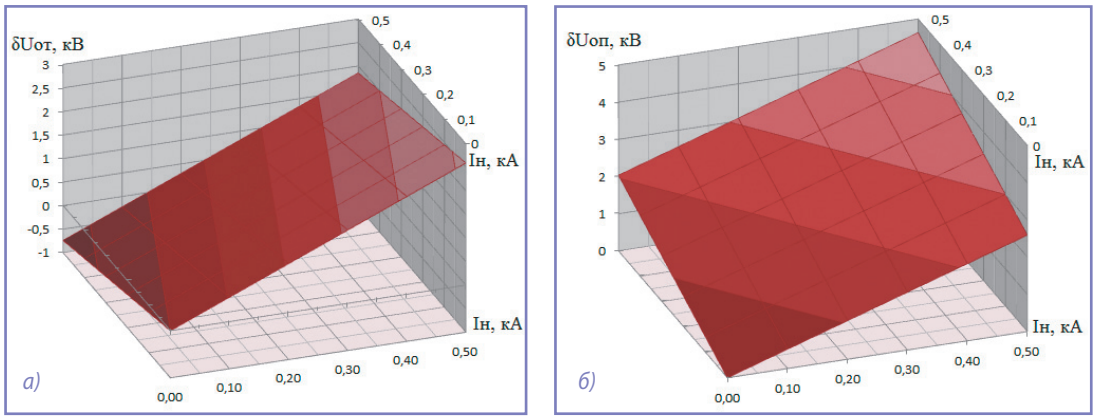


Рис. 8. Графики $\delta U_{от}$ (а) и $\delta U_{оп}$ (б) при изменении тяговой нагрузки (без УПК).

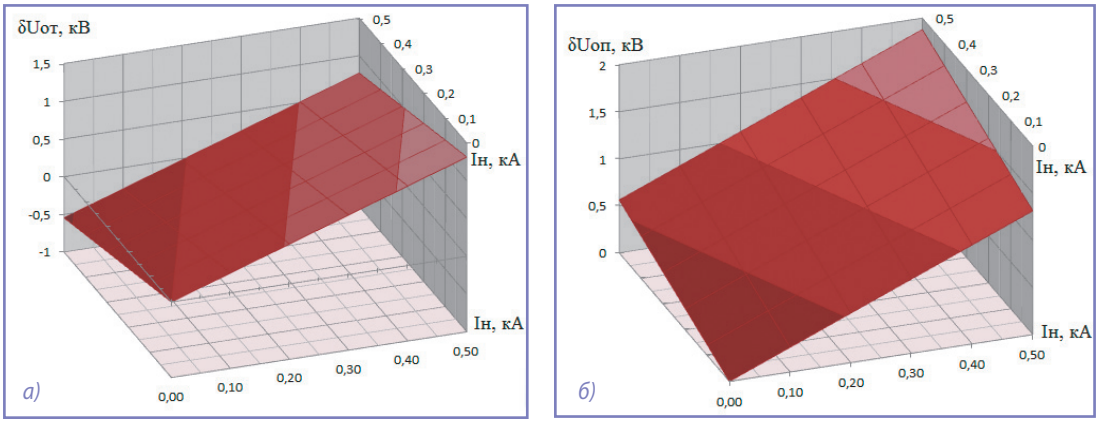


Рис. 9. Графики $\delta U_{от}$ (а) и $\delta U_{оп}$ (б) при изменении тяговой нагрузки с УПК (степень компенсации – 0,8).

отношения двух независимых величин равно отношению математических ожиданий этих величин.

Укажем, что в [8] предлагается снижать степень компенсации от единицы вплоть до 0,7, что соответствует вышеуказанным предложениям о снижении степени компенсации при учете активной нагрузки до 0,8.

Эффективность УПК в снижении продольной составляющей падения напряжения во всем диапазоне нагрузок демонстрируют рис. 6 и 7.

Без УПК при максимальной нагрузке тяговой подстанции потеря напряжения составляет 3,5…5 кВ (рис. 6), а при включении УПК максимальная потеря напряжения составляет 2,5 кВ (рис. 7).

Что касается изменения поперечной составляющей падения напряжения при включении УПК, то ее следует учитывать при расчете уравнительного тока по тяговой сети.

Как видно (рис. 8 и 9), поперечная составляющая падения напряжения при максимальной нагрузке снижается на отстающей и опережающей фазах соответственно с 1,9 кВ и 4,6 кВ (рис. 8) до 0,8 кВ и 1,9 кВ (рис. 9). Это значит, что при включении УПК отклонение вектора напряжения на шинах 27,5 кВ уменьшается на отстающей фазе на 2,1 градуса, а на опережающей – на 5,5 градуса.

Отклонение фазы напряжения при включении продольной емкостной компенсации рассчитывалось

$$\delta = \varphi' - \varphi \qquad (11)$$

где δ – угол, на который отклоняется фаза напряжения на шинах 27,5 кВ при подключении УПК в отсасывающую линию;

φ' и φ – углы между напряжениями на источнике энергии и шинами 27,5 кВ тяговой подстанции соответственно с УПК и без УПК

$$\varphi = \arctan\frac{\delta U}{\sqrt{29^2 - \delta U^2}} \qquad (12)$$

Важно отметить, что в [9] дается экспериментально-аналитический метод расчета поперечной составляющей падения напряжения.

Совместное применение УРПН с УПК в отсасывающей линии

Покажем, что при совместной работе УРПН и однофазной УПК в отсасывающей линии эффективность работы УРПН повышается, так как УПК уменьшает реактивную составляющую сопротивления, следовательно, снижает потери напряжения от нагрузки, кроме того, симметрирует напряжение на шинах 27,5 кВ. В результате напряжение на отстающей фазе по рис. 10 повысилось на 2,55 кВ (по сравнению с графиком без УПК), и УРПН при УПК в отсасывающей линии работает практически при симметричном напряжении.

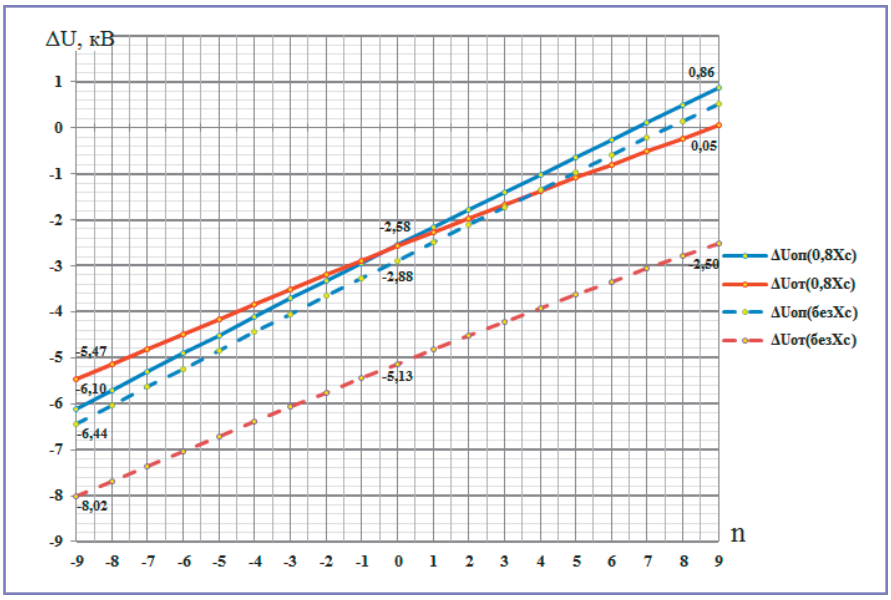


Рис. 10. Влияние УПК на работу УРПН.

С другой стороны, совместная работа позволяет уменьшить мощность УПК для достижения нормируемых показателей напряжения в контактной сети. Покажем это. При включении УПК достаточно выполнить симметрирование напряжения, то есть выровнять напряжения отстающей и опережающей фаз, а затем при необходимости отрегулировать напряжения на шинах 27,5кВ с помощью УРПН. В этом случае сопротивление УПК должно соответствовать степени компенсации, рассчитанной по формуле (9). Такое решение по совместному применению УПК и УРПН позволяет уменьшить мощность УПК, так как для достижения нормированных значений напряжений с помощью УПК добиваемся симметрирования напряжения, а дальнейшее повышение напряжения выполняем с помощью УРПН. Другими словами, нет необходимости увеличивать сопротивление УПК (а значит, и мощности УПК) для достижения нормированных значений напряжения, достаточно определить сопротивление УПК только для достижения симметрии напряжения, а это значит, что мощность УПК уменьшается на 20… 30%.

Кроме того, пусть до включения УПК напряжения по плечам питания были 28 и 26 кВ, а после включения УПК напряжения по плечам питания стали 28 и 28 кВ. Тогда с УРПН отрегулируем напряжения по плечам питания до 27,5 кВ, то есть увеличим коэффициент трансформации. Тем самым на первичной стороне трансформатора уменьшаются токи и снижаются потери мощности в системе внешнего электроснабжения. Таким образом, совместная работа УРПН и УПК выгодна по технико-экономическим показателям.

Следует учесть, что все трансформаторы на тяговых подстанциях оборудованы устройством УРПН, поэтому совместная работа УПК и УРПН выполняется естественно.

Выводы

1. Решающее значение в автоматизации режима тягового электроснабжения по напряжению с помощью УРПН имеет продольная составляющая «добавки» напряжения. Установка продольной емкостной компенсации, компенсируя предвключенное сопротивление трансформатора и сетей внешнего электроснабжения, влияет как на продольную, так и на поперечную составляющие падения напряжения тяговой подстанции. Продольная со-

ставляющая напряжения определяет уровень напряжения в контактной сети, а поперечная составляющая корректирует значение уравнительного тока в контактной сети.

2. Для выравнивания напряжений по плечам питания степень компенсации УПК должна определяться с учетом активных составляющих сопротивлений сетей системы внешнего электроснабжения. С целью упрощения расчетов напряжений по плечам питания возможно использовать продольные составляющие падения напряжения с учетом УПК, тогда ошибка в вычислениях напряжений по плечам питания не будет превышать 1…2%. Для реальных значений сопротивлений степень компенсации обычно бывает в пределах 0,8…1 и приближается к единице при увеличении мощности короткого замыкания на шинах 11 (220) кВ тяговых подстанций. Расчет степени компенсации следует производить по уточненной формуле (9).

3. На тяговых подстанциях целесообразно совместное применение УПК в отсасывающем проводе и УРПН, так как при этом УПК, воздействуя на продольные составляющие падения напряжения, уравнивает напряжения по плечам питания, а УРПН устанавливает необходимый уровень напряжения. Такой подход к выбору мощности УПК в большинстве случаев позволяет уменьшить мощность УПК и снизить потери мощности в трансформаторе и системе внешнего электроснабжения.

Литература:

1. Марквардт К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. – М.: Транспорт, 1982, – 528 с.
2. Бородулин Б.М., Герман Л.А., Николаев Г.А. Конденсаторные установки электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт, 1983. – 183 с.
3. Бей Ю.М., Мамошин Р.Р., Пупынин В.Н., Шалимов М.Г. Тяговые подстанции. М.: Транспорт, 1986, – 319 с.
4. Караев Р.И., Волобринский С.Д., Ковалев И.Н. Электрические сети и энергосистемы. М.: Транспорт, 1988, – 326 с.
5. Чернов Ю.А. Влияние емкостной компенсации на величину емкостного тока в контактной сети переменного тока. Труды МИИТ, выпуск 238. М.: Транспорт, 1967, с. 50–58.
6. Тамазов А.И. Несимметрия токов и напряжений, вызываемая однофазными тяговыми нагрузками. М.: Транспорт, 1965. – 235 с.
7. Баркан Я.Д. Эксплуатация электрических систем. М.: Высшая школа. 1990, – 304 с.
8. Герман Л.А., Гончаренко В.П. Современная схема продольной емкостной компенсации в системе тягового электроснабжения. Вестник РГУПС, № 2–2013, – с. 12–17.
9. Энергосбережение на железнодорожном транспорте. Учебник под ред. В.А. Гапановича. М.: МИСиС, 2014. – 620 с.

Герман Леонид Абрамович – родился в 1937 году. Окончил Московский институт инженеров транспорта (МИИТ) по специальности «Инженер путей сообщения – электромеханик» (1959 г.). Защитил докторскую диссертацию по теме: «Теория и практика совершенствования режима системы тягового электроснабжения переменного тока с установками емкостной компенсации». Доктор технических наук, профессор кафедры «Электрификация и электроснабжение» Нижегородского филиала Московского государственного университета путей сообщения. Является членом-корреспондентом Российской Академии транспорта. Автор более 350 научных трудов, 70 изобретений и патентов. Имеет 2 правительственные награды.

Петров Денис Вячеславович – родился в 1992 году. В 2014 году окончил МГУПС (МИИТ) по специальности «Электроэнергетика транспорта». Опыт работы – 3 года. В настоящее время работает менеджером технической поддержки в ООО «Риттал». Автор 2 научных статей.

German Leonid – was born in 1937. He has graduated Moscow Institute of Transport Engineers by specialty «Engineer routes – electrician» (1959). He has defended the dissertation by the theme: «Theory and practice of improving treatment system traction below the AC power plants with capacitive compensation». He is a Doctor of Technical Sciences, Professor of dept. «Electrification and Utilities» at The Nizhny Novgorod branch of the Russian State University of transport communications. He is a corresponding member of the Academy of Transport of the Russian Federation. Author of more than 350 scientific works, 70 inventions and patents. Has 2 government awards.

Petrov Denis – was born in 1992. In 2014 he graduated from Moscow State of Railway University (MIIT) with specialization in «Transport electric power industry». His work experience is 3 years. At present he works as technical support manager in «Rittal» LLC. Author 2 scientific works.

Моделирование электротехнических систем управления на автомобильном транспорте

// Modelling of electrotechnical controlling systems on automobile transport //

Дебелов В.В.,
ОАО «АВТОВАЗ», г. Тольятти

Козловский В.Н., д.т. н.,
СамГТУ, г. Самара

Родин Н.Г.,
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва

В работе представлены результаты разработки комплекса математических имитационных моделей электротехнических систем управления легковым автомобилем.
Ключевые слова: автомобиль, электротехнический комплекс, система управления.

The work describes the development results of a complex of mathematic simulation models of passenger car electrotechnical controlling systems.
Keywords: car, electrotechnical complex, controlling system.

Повышение качества функционирования современного легкового автомобиля неразрывно связано с решением комплекса задач по улучшению безопасности, надежности, комфорта, экологичности при одновременном сохранении динамических характеристик. Для решения обозначенных задач мировые лидеры автопрома активно занимаются разработкой и внедрением электротехнических систем управления.

Качество функционирования автомобиля определяется рядом технических параметров, существенная часть из которых обеспечивает эффективность работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Потребитель в Западной Европе весьма требователен к вопросам топливной экономичности и вредным выбросам. Но при этом автомобиль должен гарантировать высокий уровень комфорта и не терять динамические характеристики.

Сегодня на отечественных автомобилях активно внедряется и совершенствуется комплекс электронной педали акселератора и электронного привода дроссельной заслонки. Конструкторами разрабатывается новая система сдвига фаз газораспределения ДВС, реализуется система «Старт-стоп» и обосновываются принципы регулирования скорости легкового автомобиля.

Кроме этого, серьезной проблемой, препятствующей дальнейшему развитию систем управления силовой установкой автомобиля, является их модульная организация, при которой проявляется эффект децентрализации функций управления.

Использование же современных средств математического имитационного моделирования обеспечивает возможность проведения комплексных работ, связанных с теоретическим анализом, а также проектированием сложных электротехнических систем автомобилей.

Таким образом, становится актуальной важная научно-техническая задача по разработке математических моделей новейших систем определения вязкости моторного масла, регулирования фаз газораспределения двигателя внутреннего сгорания, системы «Старт-стоп» и системы регулирования скорости движения легкового автомобиля в режимах поддержания и ограничения скорости с оптимальными параметрами.

Целью настоящей работы является разработка комплекса математических имитационных моделей электротехнических систем управления двигателем автомобиля для создания эффективной системы с единым управлением.

Для достижения поставленной в работе цели необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть развитие электротехнических систем управления двигателем внутреннего сгорания;
- провести анализ концепций существующих систем определения вязкости масла, системы регулирования фаз газораспределения, системы «Старт-стоп» и системы поддержания скорости автомобиля;
- разработать математические модели этих систем;
- провести экспериментальные комплексные исследования с применением математического и имитационного моделирования, а также на действующем образце легкового автомобиля, сравнить полученные результаты и дать рекомендации по применению моделей.

Активное развитие электротехнических комплексов и систем управления на транспорте, которое мы наблюдаем в последние десятилетия, предопределило формирование целого пласта научно-технических разработок, обеспечивающих повышение уровня безопасности, экологичности и комфорта эксплуатации автомобилей. Высокий уровень актуальности данной темы также определяется трансформацией традиционного автомобилестроения, связанной с появлением автомобилей с комбинированной энергоустановкой, где важность систем опти-

мизации и управления двигателем внутреннего сгорания становится ключевой задачей процесса проектирования.

Модель системы определения вязкости масла ДВС

Рассмотрим модель системы определения вязкости масла ДВС, основанную на движении пластины, управляемой магнитным полем, в вязкой жидкости.

Математическая модель описывает динамику чувствительного элемента, заполненного диэлектрической жидкостью с учетом ее плотности, вязкости и температуры окружающей среды, демпфирующего эффекта жидкостной пленки в области перекрытия контактных деталей чувствительного элемента при их срабатывании и отпускании.

Динамические характеристики чувствительного элемента, управляемого катушкой с током, описываются системой уравнений

$$U = iR + L\frac{di}{dt} + i\frac{dl}{dt} \qquad (1)$$

$$P_д = -\frac{1}{2}(iN)^2\frac{d\Lambda_n}{d\delta} \qquad (2)$$

$$P_э = (m+m')\frac{d^2x}{dt^2} + A\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + B\frac{dx}{dt} + C_x \qquad (3)$$

где U – напряжение источника питания; i – ток; R – сопротивление обмотки; L – индуктивность катушки; N – число витков обмотки управления; Λ_n – полная магнитная проводимость системы; $P_э$ – электромагнитное усилие; m – приведенная масса контакт-детали; t – время; x – перемещение; δ – текущее значение зазора; A – коэффициент гидродинамического сопротивления; B – коэффициент вязкого трения; C – жесткость контакт-детали.

Уравнение (3) использует метод присоединенных масс и учитывает эффекты гидродинамического сопротивления жидкости при движении контакт-детали и демпфировании тонкой жидкостной пленки в области перекрытия. Здесь к массе чувствительного элемента m прибавляется «присоединенная» масса жидкости, которая находится на поверхности контакт-детали

$$m = k_{ф1}\pi k_\gamma \gamma_{ж}(в/2)^2 \ell_u \qquad (4)$$

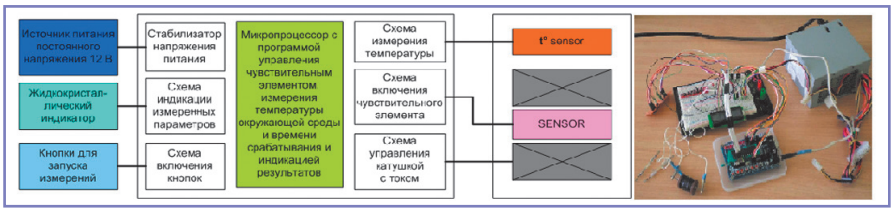


Рис. 1. Структурная схема и внешний вид экспериментальной установки.

где $\gamma_ж$ – плотность жидкости; k_γ – температурный коэффициент плотности жидкости; $в$ – ширина изгибающейся части; l_u – длина изгибающейся части контакт-детали; $k_{ф1}$ – коэффициент формы контакт-детали.

Величины L, $P_э$, Λ_n определяются через магнитные проводимости – внешнюю $\Lambda_{вш}$ и внутреннюю $\Lambda_{вт}$ – и параметры обмотки и геркона.

Экспериментальная установка (рис. 1) для определения вязкости моторного масла состоит из следующих элементов: источник питания постоянного напряжения 12 В; отладочная плата с микроконтроллером; катушка управления и геркон как чувствительный элемент; макетная плата с подключенным LCD дисплеем и датчиком температуры; вспомогательная макетная плата, на которой располагается схема управления катушкой; соединительные провода.

После проведения эксперимента были определены временные параметры срабатывания контакт-деталей при температуре окружающего воздуха, составляющей 26 °С.

Для определения истинного значения вязкости масла был проведен опыт на вискозиметре вибрационного типа SV-10 компании AND. Вязкость чистого моторного масла составила 1230 мПа·с.

С использованием математической модели с полученным значением вязкости было рассчитано время движения контактной группы, которое составило 3114 мкс. Погрешность измерения вязкости составила 3,8%.

Проведен эксперимент с заполнением контактной пары чувствительного элемента отработанным моторным маслом после его эксплуатации на автомобиле. Пробег легкового автомобиля на данном масле составил 9 тыс. км.

Для определения истинного значения вязкости отработанного масла был проведен опыт на вискозиметре вибрационного типа SV-10. Вязкость чистого моторного масла составила 865 мПа·с.

С использованием математической модели с полученным значением вязкости было рассчитано время движения контактной группы, которое составило 1663 мкс. Погрешность измерения вязкости составила 4,1%.

Математическое и имитационное моделирование позволило установить взаимосвязь между геометрическими параметрами чувствительного элемента, силами, действующими на чувствительный элемент, и вязкостью, которая является важным критерием при анализе углеводородных жидкостей. Модель описывает взаимосвязи и позволяет вычислить вязкость жидкости, способствует решению обратной задачи, подбора оптимального геометрического соотношения чувствительного элемента и выбора оптимальной схемы управления.

После проведения экспериментов можно прийти к выводу, что метод, основанный на движении пластины в жидкости, позволяет давать количественную и качественную оценки вязкости моторного масла. Результаты измерения времени срабатывания геркона с его различным заполнением сходны по величине с результатами, получаемыми в математической модели. Отклонение полученной величины составило не более 4,5%, что позволяет сделать вывод о применимости математической модели для определения вязкости масла в минимальном объеме в течение небольшого интервала времени.

Модель системы регулирования фазами газораспределения

Рассмотрим модель системы регулирования фазами газораспределения в составе контроллера системы управления двигателем (КСУД), которая позволяет обеспечить оптимальную работу ДВС (рис. 2).

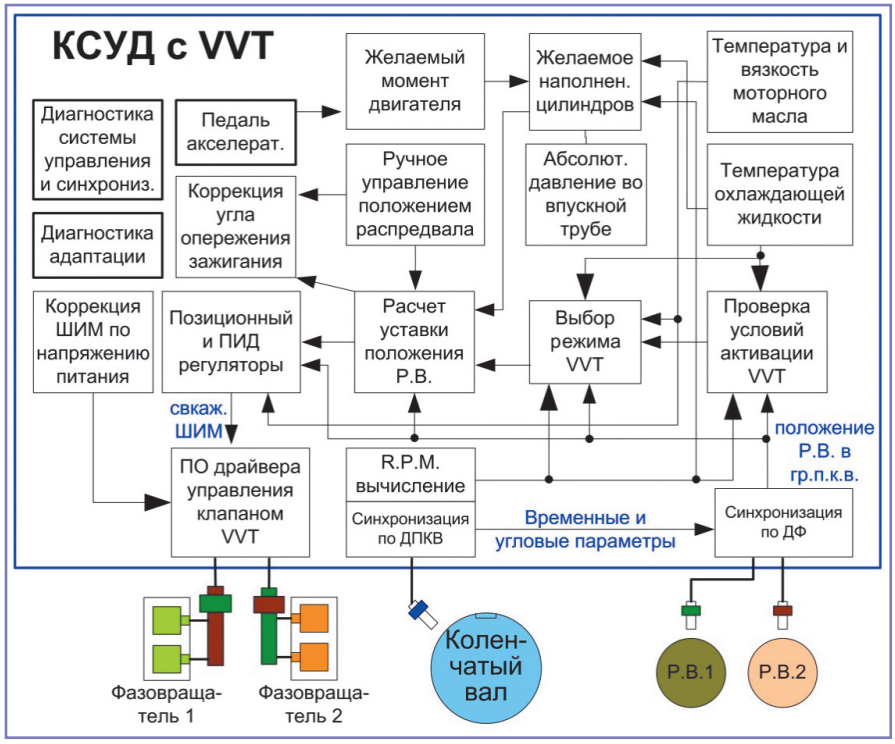


Рис. 2. Концепция системы управления фазами газораспределения.

При моделировании системы описан метод синхронизации двигателя с использованием аппаратных ресурсов процессора, позволяющих делать прерывание по сигналам от датчиков положения коленчатого вала и фаз (ДПКВ или ДФ), а также описан метод повышения точности синхронизации за счет применения дискретных зубьев.

Контроллер управления двигателем посредством изменения скважности управляющего сигнала, подаваемого на клапан OCV, заставляет перемещаться фазер. Система синхронизации позволяет отслеживать положение распредвала, которое используется при расчете отклонения текущего положения распределительного вала (РВ) от уставки. Приведены формулы расчета отклонения распределительного вала от условного нулевого положения по фронтам РВ

$$\Delta X = \frac{\Delta T}{T_{зуб}} \cdot \alpha_{зуб} \qquad (5)$$

где ΔX – угол между двумя соседними активными фронтами коленчатого вала и распределительного вала; ΔT – интервал времени между двумя соседними активными фронтами коленчатого вала и распределительного вала; $T_{зуб}$ – последний измеренный период следования зубьев по коленчатому валу; $\alpha_{зуб}$ – угол поворота коленчатого вала, который соответствует одному периоду следования двух соседних зубьев по коленчатому валу без учета выбитых.

Текущее измеренное положение распределительного вала относительно условного нуля, выбранного за систему отсчета, определяется по формуле

$$X_{n\ изм.} = N_{зуб.\ изм.} \cdot \alpha_{зуб} + \Delta X \qquad (6)$$

где X_n изм. – угол поворота распределительного вала относительно условного нулевого положения до выбранного фронта распределительного вала; $N_{зуб.\ изм.}$ – количество зубьев коленчатого вала между условным нулем и выбранным фронтом распределительного вала с учетом пропущенных.

Отклонение от условного нулевого положения – входной параметр для системы управления фазами газораспределения, определяется по формуле

$$\Delta X_{n\ изм.} = X_n - X_{n\ изм.} \qquad (7)$$

где $\Delta X_{n\ изм.}$ – отклонение от условного нулевого положения в градусах поворота коленчатого вала; X_n – табличный параметр, который определяет положение фронтов в системе отсчета, связанной с коленчатым валом.

Для определения адаптационных весовых коэффициентов выполняется расчет ошибки для каждого из фронтов распределительного вала

$$\Delta\theta_n = X_n - \frac{\Sigma_{i=0}^{n} X_{n\ изм.}}{n} \qquad (8)$$

где $\Delta\theta_n$ – ошибка отклонения распределительного вала от условного нулевого положения по фронтам; $\Sigma_{i=0}^{n} X_{n\ изм}$ – результат нескольких измерений величины отклонения для каждого из фронтов распределительного вала.

Определение условного нулевого положения выполняется по формуле

$$X_{n\ apt} = X_n - \Delta\theta_n \qquad (9)$$

Величина допустимой ошибки определяется по формуле

$$\Delta\theta_{n\ max} = \theta_{crk} + \theta_{cam} + \theta_{shk} + \theta_{pos} \qquad (10)$$

где θ_{crk} – допуск на изготовление зубчатого колеса синхронизации коленчатого вала; θ_{cam} – допуск на изготовление колеса синхронизации распредвала; θ_{shk} – допуск на крутильные колебания коленчатого вала по отношению к распределительному валу; θ_{pos} – допуск на погрешность сборки и установки зубчатого колеса.

Адаптированное положение активных фронтов зубчатого колеса распределительного вала находится по формуле

$$X_{n\ ret\ apted} = X_n - (\Delta\theta_n \mp \Delta\theta_{n\ max}) \qquad (11)$$

где $X_{n\ ret\ apted}$ – адаптированное крайнее позднее положение. Для позднего положения ошибка установки ремня ГРМ допустима в небольшом пределе как в раннюю, так и в позднюю сторону.

Адаптированные положения пределов регулирования для раннего упора могут быть найдены из соотношения

$$X_{n\ adv\ apted} = X_n - X_{n\ reg\ range} - (\Delta\theta_n \mp \Delta\theta_{n\ max} + \Delta\theta_{n\ reg\ max}) \qquad (12)$$

где $\Delta\theta_{n\ reg\ max}$ – максимальная ошибка регулирования; $X_{n\ reg\ range}$ – предел регулирования фаз, определяющий максимальный угол поворота распредвала, при котором обеспечивается отсутствие встречи клапана с поршнем во всем диапазоне управления фазами.

Для оценки качества математической модели были проведены физи-

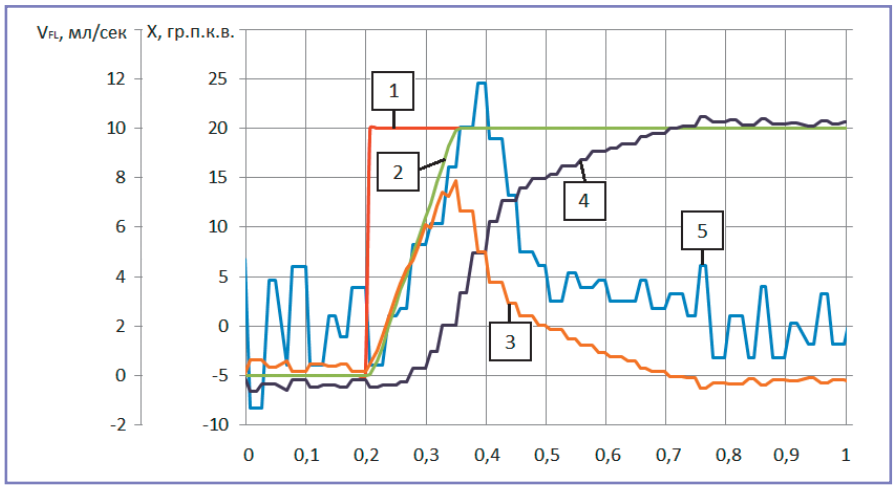


Рис. 3. Изменение положения распределительного вала с помощью системы управления фазами газораспределения: 1 – уставка положения распределительного вала относительно коленчатого вала; 2 – фильтрованная уставка положения РВ; 3 – разница между текущим положением и фильтрованной уставкой; 4 – текущее положение распредвала по отношению к коленчатому валу; 5 – расход масла через масляный клапан.

ческие эксперименты, позволившие оценить погрешность работы разработанной системы (рис. 3).

В рамках работы разработано электронное устройство, позволяющее имитировать сигналы ДПКВ и ДФ и смещение сигнала датчика фаз. Выполнены настройка и проверка математической модели в составе программного обеспечения контроллера управления двигателем.

Модели обеспечения движения автомобиля

Модель системы «Старт-стоп» использует ряд штатных компонентов автомобиля, входящих в состав различных систем управления, таких как электронная система управления двигателем, система комфорта, шасси и другие системы (рис. 4). Основные системы связаны между собой интерфейсными шинами для передачи данных. По ним передаются необходимые параметры с заданной частотой обновления и требуемой точностью.

В рамках работы спроектирована модель формирования условия разрешения работы системы. Все условия разделены по приоритетам. Это необходимо для разделения условия по функциональным признакам.

Для обеспечения безопасного для стартера пуска двигателя в режиме «Старт-стоп» применяется специальная модель управления. Запрет прокрутки стартером связан с требованиями ISO к безопасности и качеству работы системы.

При формировании признака «Старт» управление передается функции, которая отвечает за запуск двигателя, разрешение включения топливного насоса, выполняет расчет момента и подачу искры зажигания, включение реле стартера, после чего двигатель запускается.

Как показали экспериментальные исследования, время пуска для контроллера со стандартной прошивкой составило 0,92 с. При моделировании системы с функцией «Старт-стоп» результат составил 0,35 с (рис. 5).

Также в рамках единой концепции обеспечения движения разработаны структура и математическая модель системы регулирования скорости. В состав системы регулирования включены подсистемы, которые отвечают за управление и безопасность. Модель состоит из фильтра скорости, компоненты определения режима регулирования и управления уставкой и типом функции регулирования, компоненты регулирования положения дроссельной заслонки, компоненты приостановки процесса регулирования скорости при изменении номера передачи трансмиссии, компоненты расчета длительности отклонения от заданной скорости, компоненты деактивации.

Условие постоянного движения описывается формулой

$$C_VSdiffneg\ (замедление) < VSdiffraw < C_VSdiffpos\ (ускорение) \quad (13)$$

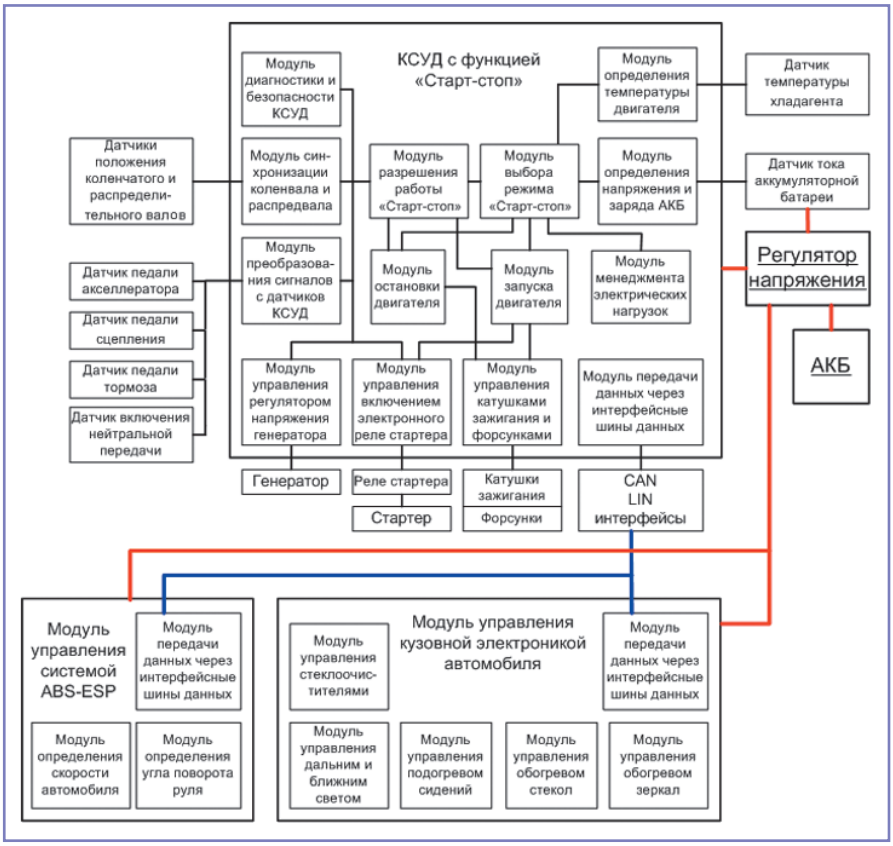


Рис. 4. Концепция системы «Старт-стоп» (а – со стандартным ПО; б – с функцией «Старт-стоп»): 1 – напряжение бортовой сети автомобиля; 2 – частота вращения двигателя; 3 – бит прокрутки двигателя стартером.

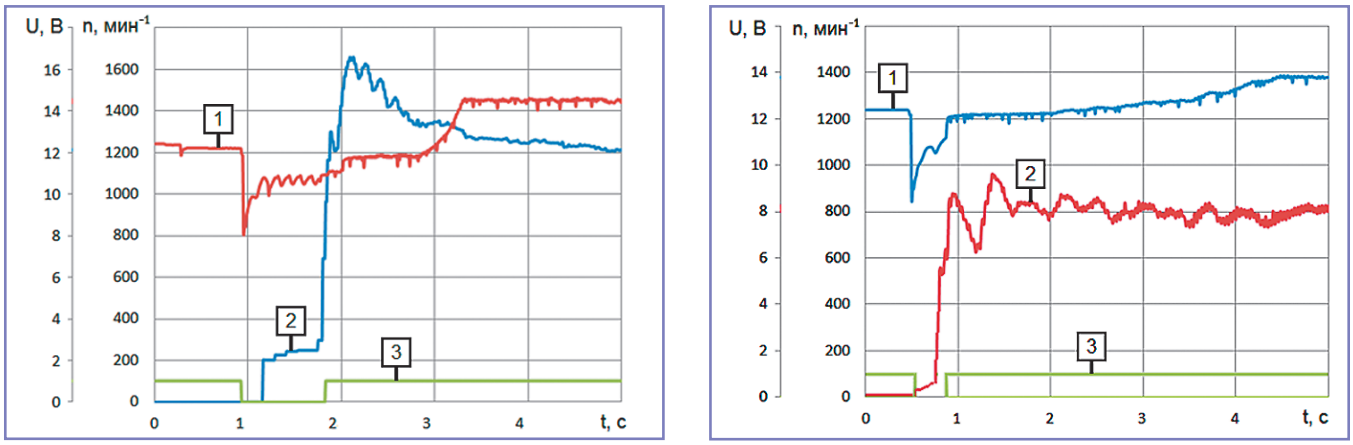


Рис. 5. Диаграмма пуска двигателя со стандартным ПО.

Для трех режимов движения представлена формула *VSdiff*:

– режим постоянного движения

$$VSdiff = VSdiffraw \times C_VSdiff_fac \quad (14)$$

– режим ускорения

$$VSdiff = VSdiffraw \times C_VSdiff_fac + C_VSdiff \quad (15)$$

– режим замедления

$$VSdiff = VSdiffraw \times C_VSdiff_fac - C_VSdiff \quad (16)$$

В составе базового компонента ПИ-регулирования имеется функция инициализации интегратора, которая обеспечивает плавную передачу управления от педали к системе регулирования. При активации режима поддержания или ограничения скорости интегратор ПИ-регулятора инициализируется начальным значением, которое определяется коэффициентом $K_{int\ ini}(freq, gear)$ зависимости от частоты вращения двигателя и текущего номера передачи.

Интегральная часть общая для трех режимов регулирования.

Общая формула ПИ-регулятора положения виртуальной педали акселератора имеет вид

$$Q_{pid}(VS_{diff}) = P_{pid}(VS_{diff}) + I_{pid}(VS_{diff}) \quad (17)$$

$$K_{pid\ min} < Q_{pid}(VS_{diff}) < K_{pid\ max} \quad (18)$$

P-часть ПИ-регулятора в нормальном режиме рассчитывается по формуле

$$P_{pid}(VS_{diff}) = VS_{diff} \cdot K_{p\ fac}(freq) \quad (19)$$

$$K_{p\ min} < P_{pid}(VS_{diff}) = K_{p\ max} \quad (20)$$

P-часть ПИ-регулятора при работе модели в режиме ускорения рассчитывается по формуле

$$P_{pid\ acc}(VS_{diff}) = VS_{diff} \cdot (K_{p\ fac}(freq) + K_{p\ fac}(freq, VSacc)) \quad (21)$$

$$K_{p\ min} < P_{pid}(VS_{diff}) < K_{p\ max} \quad (22)$$

P-часть ПИ-регулятора при работе модели в режиме замедления рассчитывается по формуле

$$P_{pid\ dec}(VS_{diff}) = VS_{diff} \cdot (K_{p\ fac}(freq) + K_{p\ fac}(freq, VSdec)) \quad (23)$$

$$K_{p\ min} < P_{pid}(VS_{diff}) < K_{p\ max} \quad (24)$$

I-часть ПИ-регулятора рассчитывается по формуле

$$I_{pid\ dec}(VS_{diff}) = VS_{diff} \cdot K_{i\ fac}(gear) \cdot K_{i\ fac}(freq) \quad (25)$$

$$K_{i\ min} < I_{pid}(VS_{diff}) < K_{i\ max} \quad (26)$$

Для оценки адекватности математической модели выполнен имитационный эксперимент работы системы. Результаты работы показывают, что полученная плавность изменения значения фильтрованной скорости позволяет устранить хлопки дроссельной заслонки и уменьшить вероятность отказа и быстрого износа деталей исполнительных элементов. Запаздывание фильтрованной скорости от действительного значения составляет 150 мс (рис. 6).

Проведено имитационное моделирование режима ограничения скорости. Особенность модели заключается в наборе скорости до значения

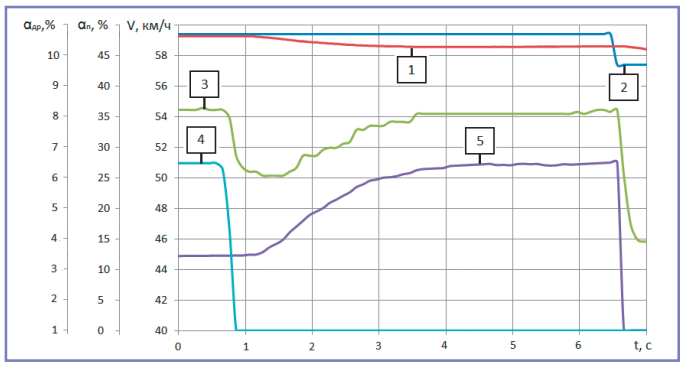


Рис. 6. Процесс передачи управления от водителя к системе:
1 – уставка скорости; 2 – фильтрованная скорость;
3 – процент открытия дроссельной заслонки;
4 – процент нажатия педали акселератора;
5 – результирующее воздействие (эквивалент педали акселератора).

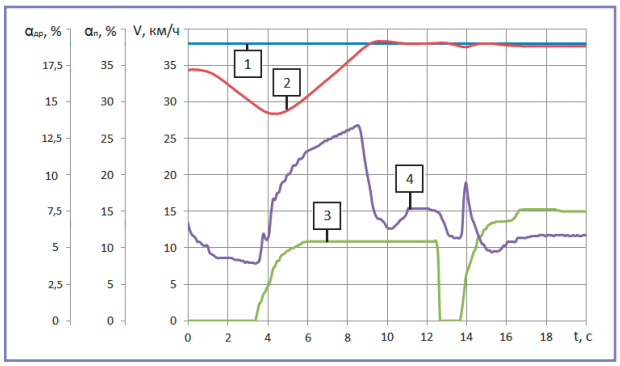


Рис. 7. Режим ограничения скорости:
1 – уставка ограничения скорости;
2 – фильтрованная скорость;
3 – процент открытия дроссельной заслонки.

уставки под управлением водителя и ограничении ее, несмотря на нажатие педали акселератора, требующее увеличения момента (рис. 7).

Выводы

Анализ развития электротехнических систем управления двигателем внутреннего сгорания показал, что основные разработки сложных комплексов ведутся без привязки к конкретной модификации автомобилей, что приводит к проявлению эффекта децентрализации функций управления. В работе выполнены комплексные научно-технические исследования по созданию общей концепции, обеспечивающей единый подход в реализации и разработке электротехнических систем управления ДВС, на основе которой разработаны математические имитационные модели систем:

• определения вязкости масла ДВС, которая описывает взаимосвязь между геометрическими параметрами чувствительного элемента, силами, действующими на его электрические контакты, и вязкостью масла, находящегося между контактами;

• регулирования фаз газораспределения. Модель обеспечивает повышение скорости достижения требуемого момента ДВС автомобиля на 12% и расширяет диапазон частот вращения двигателя с получением максимального крутящего момента;

• «Старт-стоп» с функцией быстрого запуска ДВС с минимальными энергетическими потерями. Применение математической модели системы «Старт-стоп» в практике автомобилестроения обеспечивает снижение времени прокрутки ДВС с 0,9 с до 0,3 с одновременным сокращением времени определения момента искрообразования и топливоподачи;

• регулирования скорости автомобиля. Позволяет управлять углом открытия дроссельной заслонки через контроллер системы управления ДВС без применения дополнительных блоков управления, с обеспечением непосредственного воздействия на исполнительные механизмы.

Практическими результатами разработок математических имитационных моделей систем управления автомобилем являются универсальный электротехнический комплекс, реализованный в перспективных проектах автомобилей одного из ведущих автопроизводителей России, а также ряд инструментов проектирования, позволяющих разрабатывать компоненты других электронных систем автомобиля, используя единый подход в реализации алгоритмов управления.

Статья выполнена в рамках работы над грантом Президента РФ по поддержке молодых ученых – докторов наук на 2014–2015 гг., МД-2782.2014.8.

Дебелов Владимир Валентинович – в 2012 году окончил Тольяттинский государственный университет по специальности «Промышленная электроника». Лауреат научно-технической конференции молодых специалистов ОАО «АВТОВАЗ». В настоящее время работает инженером дирекции технического развития ОАО «АВТОВАЗ» и является аспирантом Поволжского государственного университета сервиса. Автор 12 научных работ.

Козловский Владимир Николаевич – инженер по специальности «Электрооборудование автомобилей и тракторов», в 1999 году окончил Тольяттинский политехнический институт. Доктор технических наук. В 2010 году защитил докторскую диссертацию на тему: «Обеспечение качества и надежности системы электрооборудования автомобилей». Автор более 150 научных работ, в том числе 10 монографий. В настоящее время работает заведующим кафедрой «Теоретическая и общая электротехника» Самарского государственного технического университета (СамГТУ).

Родин Николай Геннадьевич – родился в 1983 году. В 2005 году окончил МАДИ по специальности «Инженер по электрооборудованию автомобилей». Опыт работы – 7 лет. В настоящее время учится в аспирантуре МАДИ и является региональным руководителем развития филиалов по техническому обучению BOSH. Автор 3 научных трудов.

Debelov Vladimir – in 2012 has graduated from Tolyattinskiy State University with a specialization in «Industrial electronics». He is an award winner of the scientific and technical conference of young professionals of JSCo «AUTOVAZ». At present he works as engineer of technical development top management in JSCo «AUTOVAZ». He is also a postgraduate student at Povolzhskiy State Service University, an author of 12 scientific works.

Kozlovskiy Vladimir – is an engineer, specialization is «Car and tractor electric equipment», in 1999 he graduated from Tolyatty Polytechnic Institute. Doctor of Engineering. In 2010 he defended a Dphil in the subject: «Quality and safety assurance of car electric equipment system». He is an author of more than 150 scientific works, including 10 monographs. At present he works as department chairman «Theoretic and general electrotechnics» at the Samarskiy State Technical Univercity (SamGTU).

Rodin Nickolay – was born in 1983. In 2005 he graduated from MADI with a specialization in «Car electrical engineer». His work experience is 7 years. At present he is a post-graduate student in MADI and regional leader of affiliation development in technical training «BOSH». He is an author of 3 scientific works.

Новая схема фильтрокомпенсирующей установки в тяговой сети переменного тока

// The frequency characteristics of installation for capacitive shunt compensation in ac traction networks //

Максимова А.А.,
ООО «Таврида Электрик СПб», г. Санкт-Петербург

Герман Л.А., д.т. н., профессор,
Нижегородский филиал Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ),
г. Нижний Новгород

Гончаренко В.П., к.т. н.,
ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО», г. Санкт-Петербург

В статье рассматриваются схемотехнические решения для фильтрокомпенсирующих установок (ФКУ) в тяговых сетях переменного тока. Обоснован комплектно-блочный принцип построения ФКУ. Рассмотрены переходные процессы при коммутации секций ФКУ. Предложена линейка вариантов мощностей для односекционной и двухсекционной ФКУ. Показаны преимущества новой схемы ФКУ перед зарубежными образцами.
Ключевые слова: компенсация реактивной мощности, фильтрокомпенсирующая установка, комплектно-блочное построение устройств компенсации.

The article discusses design solutions to filter units (FKU) in traction AC networks. Justified complete-block principle of construction of FKU. Considered transients when switching sections FKU. The offered range of power options for single-section and two-section FKU. Shows the advantages of the new scheme FKU before foreign models.
Keywords: reactive power compensation, the nonsinusoidal voltage, filter compensating unit, resonance setting.

Новая схема ФКУ формируется из нескольких фильтров, настроенных на частоты гармоник, генерируемых ЭПС. Подобные схемы известны давно. В частности, в 1968 году ВНИИЖТ предложил ФКУ из трех резонансных цепочек, настроенных на резонансные частоты 150, 250 и 350 Гц [1]. Аналогичные схемы разрабатывал ОМИИТ в многофункциональном оптимизируемом устройстве (МОУ) [2]. Кроме того, ВНИИЖТ предложил включать цепочки RC (широкополосный фильтр) для демпфирования волновых процессов в тяговой сети [3]. Однако из-за несовершенства технических решений эти схемы не нашли применения.

В предлагаемой схеме ФКУ (ФКУ-2) устранены недостатки указанных схем путем введения следующих разработок.

1. С целью ограничения перенапряжений и бросков тока при коммутации секций ФКУ на основании исследований установлены оптимальные значения пусковых сопротивлений. В результате перенапряжения снижены до 1,05…1,1 Uном (где Uном – номинальное напряжение на конденсаторах), что позволило осуществить регулирование мощности ФКУ путем включения-отключения секций ФКУ (до 10 раз в сутки) без снижения надежности установки.

2. Разработана линейка номинальных мощностей ФКУ, отличающаяся:

• учетом резонансных явлений между секциями, настроенными на 150 и 250 Гц;

• учетом в расчетах параметров секции 1, настроенной на 150 Гц, – полной мощности гармоники 150 Гц, а в секции 2, настроенной на 250 Гц, – полной мощности этой гармоники;

• учетом изменения резонансных частот при включении широкополосного фильтра.

3. Для снижения мощности широкополосного фильтра предложено его включать в секцию, настроенную на частоту 250 Гц, и предусмотреть его автоматическое отключение при снижении тяговой нагрузки с целью снижения потерь мощности.

4. Комплектно-блочное построение ФКУ [4] для упрощения проектирования, монтажа и эксплуатации ФКУ.

Следует отметить, что ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО» изготавливало некоторое время двухрезонансные ФКУ мощностью 2,8 Мвар [5], но в связи с неэффективностью их работы по многим параметрам выпуск двухрезонансных ФКУ был приостановлен.

Комплектно-блочное построение ФКУ

Новая схема однофазной отключаемой многосекционной фильтрокомпенсирующей установки (ФКУ), которая в [5] получила название ФКУ-2, позволяет решить комплекс задач:

• компенсировать реактивную мощность;

• повышать напряжение в тяговой сети;

• фильтровать высшие гармоники;

• симметрировать напряжение на шинах 27,5 кВ;

• демпфировать колебательные процессы в тяговой сети.

Для реализации указанных задач предложено комплектно-блочное построение ФКУ (рис. 1). При этом блоки поставляются в полной заводской готовности, и агрегатирование полной схемы ФКУ, в зависимости от

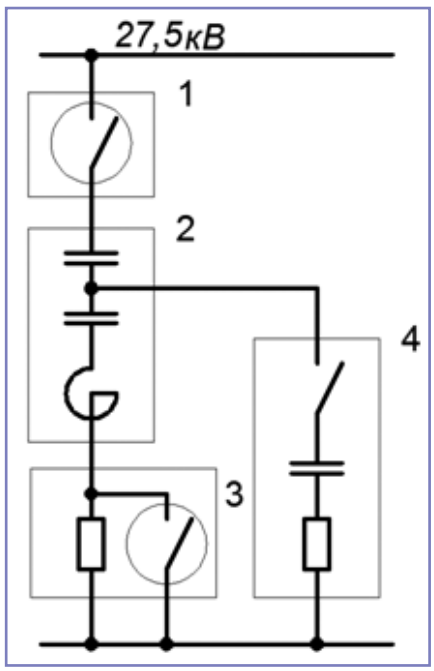


Рис. 1. Комплектно-блочное построение базового варианта ФКУ.

конкретной задачи, на монтажной площадке должно сводиться к монтажу внешних ошиновок [4].

На основании анализа схем и их технико-экономических показателей предложена схема ФКУ (рис. 1), состоящей из следующих блоков:

- блок 1 – коммутационный блок для оперативных и аварийных переключений;
- блок 2, настроенный на частоту 135–142 Гц [6], осуществляющий компенсацию реактивной мощности на частоте 50 Гц и фильтрацию гармоники тока частотой 150 Гц. Если включается вторая секция на 250 Гц, то она настраивается на частоту 240 Гц;
- блок 3 с резистором для ограничения бросков тока и напряжения при коммутации;
- блок 4 с демпфирующим резистором для формирования широкополосного фильтра, который демпфирует гармоники частотой от 450 Гц и выше.

При включении широкополосного фильтра (блок 4) настройка фильтров изменяется.

Если временно требуется только компенсация реактивной мощности, то блок 4 на этот период отключается.

Новая схема ФКУ изготавливается в ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО».

Вариант двухсекционной ФКУ, в общем случае представленный на рис. 2, кроме базовой секции включает в себя еще одну секцию – контур, настроенный на частоту третьей (150 Гц) или пятой (250 Гц) гармоники [6]. При этом включение второй секции возможно только при включенной первой базовой секции. Таким образом, формируются две ступени мощности установки.

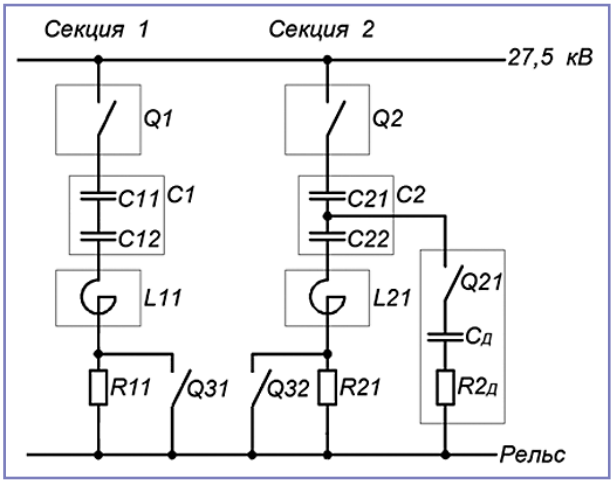


Рис. 2. Двухсекционная ФКУ с демпфирующими цепями.

В этой схеме возможно использовать один выключатель для шунтирования пусковых резисторов. Схема работает следующим образом. Пусть в исходном состоянии включены Q1 и Q31, а Q2 и Q32 – отключены, и требуется подключить вторую секцию. Для этого включается Q2 и затем включается Q32. В качестве Q31 и Q32 используются однофазные вакуумные выключатели специального исполнения напряжением 10 кВ.

Демпфирующая цепь гармоник высокого порядка СдR2д, формирующая широкополосный фильтр, подключается в точку «нулевого» потенциала на частоте 50 Гц, так как C22 и L21 настроены на этой частоте в резонанс напряжений. В расчетах принято, что сопротивление демпфирующего резистора R2д = 80 +/-15% Ом, а емкость конденсатора Сд = 4 мкФ. Конденсатор Сд включен в схему для ограничения токов через резистор R2д. При снижении тяговой нагрузки и, соответственно, гармоник ниже предельных значений возможно отключение второй секции и контактора Q21 в автоматическом режиме.

Схема ФКУ в зависимости от поставленных задач формируется из определенного набора блоков:

- компенсация реактивной мощности и повышение уровня напряжения – блоки 1, 2, 3, при больших нагрузках включается вторая секция, также состоящая из блоков 1, 2, 3;
- фильтрация гармонических составляющих – блоки 1, 2, 3, при недостаточной фильтрации включается вторая секция с настройкой на 250 Гц. Дальнейшее снижение гармонических составляющих – подключение широкополосного фильтра – блок 4;
- симметрирование тока и напряжения – секция с блоками 1, 2, 3, включенная на отстающую фазу подстанции;
- демпфирование волновых процессов в тяговой сети консольных участков с большой тяговой нагрузкой – блоки 1, 2, 3, 4.

Как будет указано далее, с целью упрощения схемных решений широкополосный фильтр включается в секцию 250 Гц.

Ограничение бросков тока и напряжения при коммутации ФКУ

При подключении ФКУ возникают переходные процессы, вызывающие значительные перенапряжения и броски токов. Без использования пусковых резисторов броски тока при включении ФКУ могут достигать (3,8–4)·Iном (Iном – номинальный ток включаемой секции), а перенапряжения – (1,5–2)·Uном (Uном – номинальное напряжение конденсаторной батареи ФКУ). Наиболее опасными для конденсаторных батарей являются перенапряжения. Как пример на рис. 3а показаны графики изменения напряжений секций ФКУ при включении секции 150 Гц и 250 Гц без пусковых резисторов. Броски тока при таком режиме составляют 2,8·Iном, а перенапряжения – 1,74·Uном.

Для ограничения бросков тока и напряжения при коммутации секций ФКУ используются пусковые резисторы R11 и R21, которые вводятся в цепь ФКУ при включении (включение Q1 и Q2), а затем шунтируются вакуумными выключателями Q31 и Q32. Функции пусковых резисто-

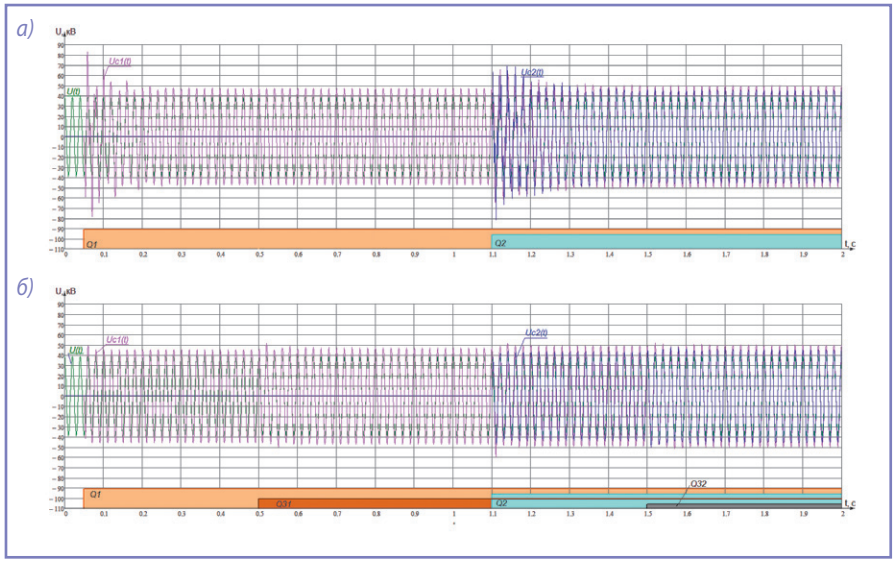


Рис. 3. Переходные процессы при включении ФКУ в два этапа:
а) при отсутствии пусковых резисторов; б) при наличии пусковых резисторов.

ров – ограничение пусковых токов и перенапряжений при включении Q1 (Q2) и ограничение перенапряжений на конденсаторах при шунтировании R11 (R21). Как видно из рис. 3, переходные процессы при переключении резисторов затухают через 1…2 периода.

Для расчетов переходных процессов принимаем следующую последовательность коммутаций:

- включение секции 1 – включение Q1 (0,05 с);
- шунтирование пускового резистора R11 секции 1 – включение Q31 (0,5 с);
- включение секции 2 – включение Q2 (1,1 с);
- шунтирование пускового резистора R21 секции 2 – включение Q32 (1,5 с).

Для упрощения расчетов принимаем, что пусковой резистор секции 1 вводится только при включении секции 1. При включении секции 2 пусковой резистор R21 используется как для ограничения бросков токов и напряжения элементов секции 2, так и для снижения перенапряжений на конденсаторах секции 1 ФКУ. Конечно, при включении второй секции перенапряжения будут как во второй, так и в первой секции. Поэтому логично при включении второй секции вводить пусковой резистор и в первой секции. Однако для упрощения процесса включения второй секции принято вводить пусковой резистор повышенного сопротивления только во вторую секцию.

Как показали результаты расчетов, для всех вариантов схем ФКУ оптимальное значение резистора R11, при котором броски напряжения не превышают допустимой величины (ku=1,05…1,1), составляет 40…50 Ом, для R21 – 70…80 Ом.

При увеличении сопротивления пускового резистора броски тока и перенапряжения на первом этапе уменьшаются, а на втором этапе при шунтировании – увеличиваются. Характерный график перенапряжений при изменении сопротивления представлен на рис. 4. Расчеты производятся для режима, при котором происходят максимальные перенапряжения – включение секции ФКУ в момент максимальной амплитуды питающего напряжения, а шунтирование резисторов – в ноль напряжения.

С учетом характера изменения тяговой нагрузки регулирование мощности ФКУ малоэффективно для цели снижения потерь мощности. Однако необходимость регулирования определяется требованием поддержания напряжения в допустимых пределах. Особенно это важно для ФКУ постов секционирования. В связи с тем, что для ЭПС допустим сравнительно широкий диапазон напряжений на токоприемнике 21(24) – 28(29) кВ, ориентировочное количество переключений ФКУ постов секционирования

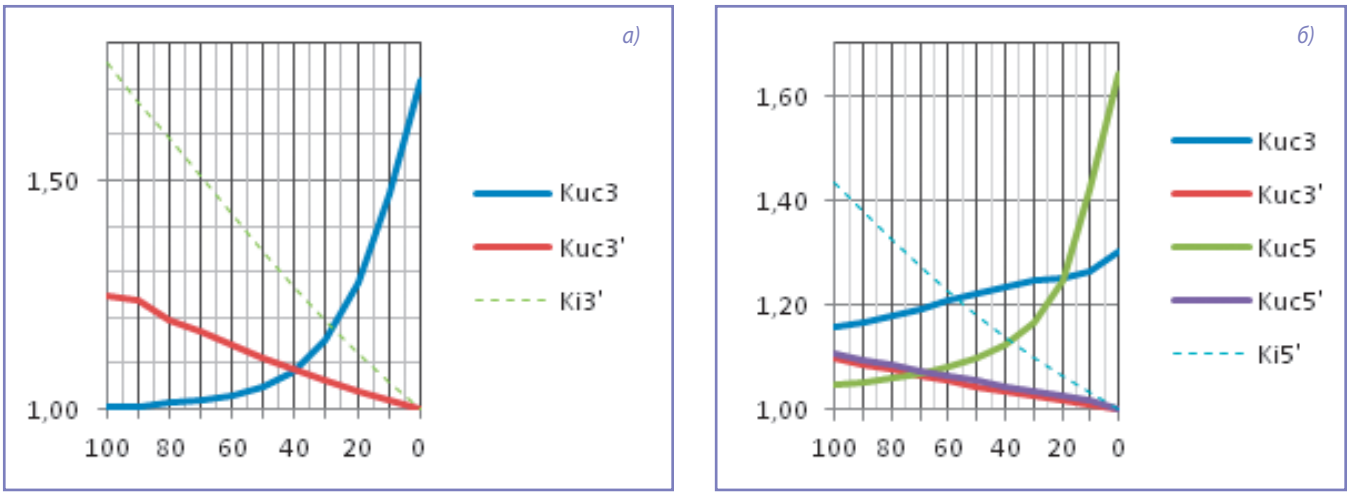


Рис. 4. Зависимость бросков напряжения от величины R11(R21) при коммутациях ФКУ при включении секции 150 Гц и секции 250 Гц:
а) зависимость величин перенапряжений на конденсаторах секции 1, настроенной на 3-ю гармонику, от сопротивления пускового резистора секции 1. Кис 3 – включение секции 1; Кис 3' – шунтирование пускового резистора R11;
б) зависимость величин перенапряжений на конденсаторах секции 1 и секции 2, настроенной на 5-ю гармонику, от сопротивления пускового резистора секции 2. Кис 5 – включение секции 2; Кис 5' – шунтирование пускового резистора R21.

Таблица 1. Параметры резистора РШ-2-КУ.

	Параметр	Значение
1	Сопротивление, Ом	(40) 60
2	Номинальное воздействующее напряжение, кВ	10
3	Время воздействия номинального напряжения, с	0,5
4	Минимальный интервал между воздействиями в номинальном режиме, мин.	0,1 (одно АПВ)
5	Количество воздействий по п.п. 2.-3. в год	2000
6	Максимально возможное воздействующее напряжение, кВ	29
7	Время воздействия максимального напряжения, с	0,1
8	Срок службы, год	25

на основании специально проведенных экспериментов не будет превышать 8…12 переключений в сутки. Ограничение числа переключений определяется ресурсом коммутационной аппаратуры.

Выбор оптимальных значений сопротивлений для ограничения перенапряжений до нормированных значений позволяет организовать адаптивное регулирование мощности ФКУ путем изменения схемы ФКУ посредством отключения блоков ФКУ в период малых нагрузок (либо их отсутствия). Такие ФКУ называют отключаемыми (с ограниченным числом переключений до 6–10 раз в сутки) [7, 8].

В качестве пусковых резисторов (R11, R12) используются резисторы РШ-2-КУ фирмы ООО ОПТП «БЭЛ», которые успешно прошли эксплуатационные испытания на тяговых подстанциях Горьковской железной дороги. Заводские параметры резисторов представлены в таблице 1.

Следует учесть, что воздействие на резисторы должно быть ограничено временем 0,5 с. Поэтому в алгоритме автоматики переключений вакуумных выключателей следует предусмотреть шунтирование резисторов через 0,2–0,3 с.

Частотные характеристики ФКУ

В зависимости от поставленной задачи широкополосный фильтр включается в секцию с настройкой на 150 Гц в одноступенчатой ФКУ или в секцию на 250 Гц в двухступенчатой ФКУ. Как видно по рис. 5, подключение ДФ вызывает смещение «влево» частотной резонансной настройки секции установки.

Рассмотрим подробнее смещение резонансной частоты при подключении ДФ в секцию 1 (рис. 6).

При включении ДФ частотная характеристика «уходит влево»: от 142 Гц до 135 Гц при включении ДФ в секцию 1 и от 240 Гц до 220 Гц – в секцию 2. Другими словами, ДФ вызывает смещение резонансных частот на 5…8%, однако при этом сопротивления ФКУ на частотах 150 Гц и 250 Гц увеличиваются в 2,5 раза, следовательно, в 2,5 раза уменьшается фильтрация гармоники 150 Гц и 250 Гц. Вот почему при включении широкополосного фильтра следует корректировать резонансные частоты фильтров 150 и 250 Гц для соблюдения принятой резонансной частоты настройки [7].

В таблице 2 представлены параметры элементов секций ФКУ, рассчитанные с учетом влияния демпфирующих цепей на частотные резонансные настройки.

Из таблицы 2 следует, что при включении широкополосных фильтров емкость конденсаторов корректируется на 0,7–1,3%, а индуктивность – на 12–21% по сравнению с вариантом отсутствия широкополосных фильтров. Следовательно, при включении широкополосных фильтров необходимо изменить индуктивность реакторов.

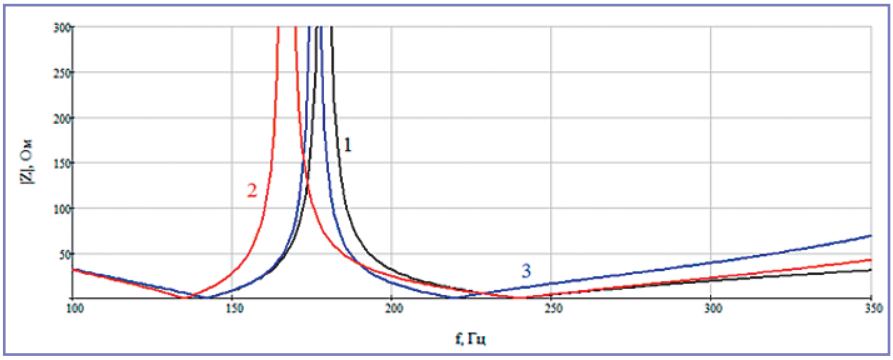


Рис. 5. Частотные характеристики 2-секционной ФКУ при различных вариантах подключения ДФ:
1 – без подключения демпфирующих цепей;
2 – с подключением ДФ в секцию 1, настроенную на 3-ю гармонику;
3 – с подключением ДФ в секцию 2, настроенную на 5-ю гармонику.

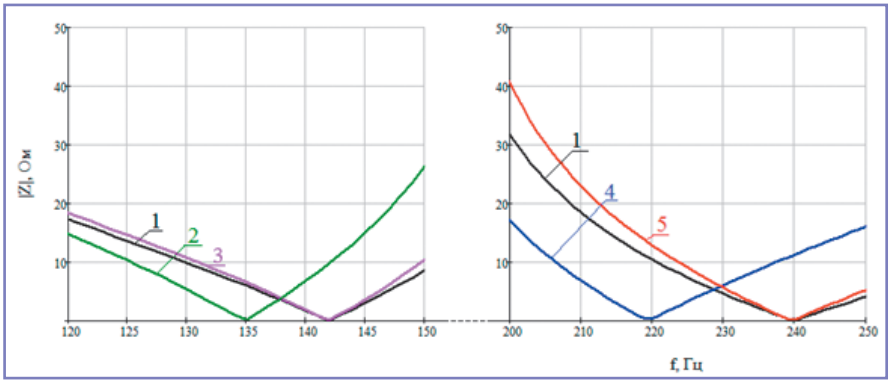


Рис. 6. Фрагменты частотных характеристик при различных вариантах:
1 – без подключения демпфирующих цепей; 2 – с подключением ДФ в секцию 1, с параметрами ФКУ, не учитывающими смещение резонансной частоты; 3 – с подключением ДФ в секцию 1, с параметрами ФКУ, учитывающими смещение резонансной частоты; 4 – с подключением ДФ в секцию 2, с параметрами ФКУ, не учитывающими смещение резонансной частоты; 5 – с подключением ДФ в секцию 2, с параметрами ФКУ, учитывающими смещение резонансной частоты.

Таблица 2. Параметры элементов 2-секционной ФКУ при различных вариантах подключения модулей установки.

Схема ФКУ	Суммарная емкость конденсаторных батарей секции 1 ФКУ (С1), мкФ	Суммарная емкость конденсаторных батарей секции 2 ФКУ (С2), мкФ	Индуктивность реактора секции 1 (L1), мГн	Индуктивность реактора секции 2 (L2), мГн
2 секции включены, ДФ отсутствуют	16,97	12,89	74	34
2 секции, ДФ подключен к секции 1, учтено смещение резонансной частоты	17,19	12,89	66	34
2 секции, ДФ подключен к секции 2, учтено смещение резонансной частоты	16,97	12,99	74	28

В связи с изложенным с целью упрощения схемных и конструктивных решений, а также для повышения надежности ФКУ-2 авторы приняли следующее решение:

• если требуется включение широкополосного фильтра, то его включают в секцию 250 Гц. В этом случае секцию 250 Гц включают только для формирования широкополосного фильтра, даже если нет необходимости в этой секции по другим задачам;

• при необходимости отключать широкополосный фильтр при снижении тяговой нагрузки с целью экономии электроэнергии отключается вся секция 250 Гц с широкополосным фильтром. При этом отпадает необходимость изменения индуктивности реактора секции 250 Гц, если бы отключался только широкополосный фильтр [5].

Номинальные мощности ФКУ

По предложению разработчиков «НИИЭФА-ЭНЕРГО» в ФКУ применены конденсаторы мощностью 400 квар, что привело к существенному уменьшению занимаемой площади ФКУ. С указанными конденсаторами предложены номинальные мощности для односекционной ФКУ: 3,2; 3,7 и 4,6 Мвар. Для двухсекционной ФКУ целесообразны варианты мощностей (3,7 + 3,2 (3,7)) Мвар и (4,6 + 3,2 (3,7)) Мвар. Целесообразность применения в первой секции ФКУ мощностью до 5 Мвар объясняется следующим. При снижении нагрузки в тяговой сети напряжение на ФКУ поста секционирования (при включенной мощности 4,6 Мвар), как правило, не будет превышать 29 кВ, что приведет к более устойчивой работе системы тягового электроснабжения.

При включении секции 250 Гц мощность ФКУ несколько увеличивается в связи с наличием резонансных явлений между секциями 150 Гц и 250 Гц. Также увеличивается мощность ФКУ при включении широкополосного фильтра [7].

Сравнение новой схемы ФКУ с зарубежными образцами

Известны опытно-экспериментальные образцы статических тиристорных компенсаторов (СТК) в тяговой сети переменного тока на зарубежных железных дорогах, задачей которых является осуществление быстродействующего регулирования реактивной мощности и напряжения в тяговой сети [8]. Укажем на преимущества новой схемы ФКУ перед СТК:

• капитальные вложения на порядок меньше. В зависимости от конкретных требований устанавливается минимальное количество блоков, что обеспечивает минимальную стоимость ФКУ;

• потери энергии в два раза меньше;

• надежность функционирования выше;

• СТК генерирует высшие гармоники, которые необходимо дополнительно компенсировать, в ФКУ этого нет;

• быстродействие СТК не является существенным преимуществом для тягового электроснабжения.

Таким образом, в связи с технико-экономическими преимуществами новой схемы ФКУ-2 должно быть принято решение о типовом проектном варианте указанной схемы для компенсации реактивной мощности с функциями фильтрации гармоник и симметрирования напряжения для тягового электроснабжения.

Выводы

1. Представлено оптимальное схемное решение ФКУ для тяговых сетей переменного тока железных дорог с учетом реальных режимов работы системы тягового электроснабжения и технико-экономических характеристик. Обоснован комплектно-блочный принцип построения ФКУ, позволяющий применять конкретные схемные решения для различных режимных ситуаций.

2. Определены оптимальные сопротивления пусковых резисторов, применение которых снижает броски тока и напряжения при коммутации ФКУ, что позволило перевести установки в регулируемый режим с применением отключаемых ФКУ.

3. Обосновано автоматическое отключение широкополосного фильтра при снижении тяговой нагрузки с целью снижения потерь мощности.

4. Предложена линейка целесообразных вариантов мощностей для односекционной и двухсекционной ФКУ с учетом резонансных явлений между секциями ФКУ и наличием широкополосного фильтра.

5. Показаны преимущества новой схемы ФКУ перед зарубежными образцами для условий тягового электроснабжения отечественных железных дорог.

Литература:

1. А.С. № 161347. Силовая установка электровоза переменного тока. Черноусов Л.А., Минов Д.К. и Фомичев В.И.

2. Кордюков Е.И. Многоцелевая оптимизация качества электроэнергии и средств его улучшения в системах электроснабжения электрических железных дорог и промышленных предприятий (системный анализ, критерии оптимизации, практическая реализация). Диссертация на соискание ученой степени д-ра техн. наук. Омск, 1993 г.

3. Ермоленко Д.В., Павлов И.В. Исследование волновых процессов в устройствах тягового электроснабжения // Сб. науч. тр. МИИТ, 1990, № 819, с. 93–100.
4. Марикин А.Н., Мизинцев А.В. Новые технологии в сооружении и реконструкции тяговых подстанций. Учебное пособие для вузов ж/д транспорта. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008, – 220 с.
5. Герман Л.А., Серебряков А.С., Ермоленко Д.В., Гончаренко В.П., Кващук В.А., Максимова А.А. Установки поперечной емкостной компенсации с фильтрацией высших гармонических составляющих в тяговых сетях переменного тока. Вестник ВНИИЖТ, № 1–2014. С. 47–54.
6. Бородулин Б.М., Герман Л.А., Николаев Г.А. Конденсаторные установки электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт, 1983, 183 с ЦЭ-462.
7. Герман Л.А., Серебряков А.С. Регулируемые установки емкостной компенсации в тяговых сетях переменного тока. Монография. М.: РОАТ-МИИТ, 2012.
8. Тамазов А.И. Несимметрия токов и напряжений, вызываемая однофазными тяговыми нагрузками. М.: Транспорт, 1965. 235 с.

Максимова Александра Альбертовна – родилась в 1987 году. В 2008 году окончила Иркутский государственный университет путей сообщения по специальности «Электроснабжение железных дорог». Опыт работы – 7 лет. В настоящее время работает ведущим инженером проектного отдела ООО «Таврида Электрик СПб». Имеет 3 научных труда, 3 полезных модели.

Герман Леонид Абрамович – родился в 1937 году. Окончил Московский институт инженеров транспорта (МИИТ) по специальности «Инженер путей сообщения – электромеханик» (1959 г.). Защитил докторскую диссертацию по теме: «Теория и практика совершенствования режима системы тягового электроснабжения переменного тока с установками емкостной компенсации». Доктор технических наук, профессор кафедры «Электрификация и электроснабжение» Нижегородского филиала Московского государственного университета путей сообщения. Является членом-корреспондентом Российской Академии транспорта. Автор более 350 научных трудов, 70 изобретений и патентов. Имеет 2 правительственные награды.

Гончаренко Владимир Павлович – родился в 1944 году. В 1972 году окончил Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина по специальности «Автоматизированные системы управления». Кандидат технических наук, старший научный сотрудник. В 1988 году защитил диссертацию на тему: «Формирование ведущего магнитного поля специальной формы в быстрых синхротронах». Опыт работы – более 45 лет. В настоящее время работает заместителем директора по науке ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО». Имеет более 100 печатных работ, из них 25 авторских свидетельств СССР и РФ на изобретения. Ветеран атомной промышленности и энергетики. Лауреат Государственной премии СССР.

Maksimova Alexandra – was born in 1987. In 2008 she graduated from Irkutsk State Transport University with specialization in «Electrical supply of railroads». She has 7 years of work experience. At present she works as principal engineer of the design department in «Tavrida Electric SPb» LCC. She has 3 scientific works, 3 useful models.

German Leonid – was born in 1937. He has graduated Moscow Institute of Transport Engineers by specialty «Engineer routes – electrician» (1959). He has defended the dissertation by the theme: «Theory and practice of improving treatment system traction below the AC power plants with capacitive compensation». He is a Doctor of Technical Sciences, Professor of dept. «Electrification and Utilities» at The Nizhny Novgorod branch of the Russian State University of transport communications. He is a corresponding member of the Academy of Transport of the Russian Federation. Author of more than 350 scientific works, 70 inventions and patents. Has 2 government awards.

Goncharenko Vladimir – was born in 1944. In 1972 he graduated from Leningrad Polytechnic Institute named after Kalinin M.I., speciality is «Automated control systems». He is a candidate of Engineering, senior staff scientist. In 1988 he defended a thesis, the theme is: «Forming of special form guiding magnetic field in quick synchrotron». He has more than 45 year work experience. At present he works as a deputy director of science in NIIEFA-ENERGO Ltd. He has more than 100 printed works, including 25 inventors' certificates of USSR and RF. He is a veteran of «Atomic industry and energetics». He is a laureate of USSR State Prize.

Оценка энергоэффективности скоростного и высокоскоростного железнодорожного транспорта

// The fast and high speed trains energy efficiency evaluation //

Изварин М.Ю., Евстафьев А.М., Евстафьева М.В.,
ФГБОУ ВПО Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,
г. Санкт-Петербург

В статье рассмотрены показатели, используемые для оценки энергоэффективности перевозок на железнодорожном транспорте, и различные методики расчета. Подробно рассмотрены вопросы определения показателей энергоэффективности при скоростном и высокоскоростном движении.
Ключевые слова: расход энергии, энергоэффективность, скоростной поезд, высокоскоростной поезд, приведенный ткм.

Variables using for the operations energy efficiency evaluation on the railway and different calculation methods are considered in this paper. Energy efficiency determination items are discussed particularly under high and high speed traffics.
Keywords: energy consumption, energy efficiency, fast train, high speed train, transport unit.

Оценка энергоэффективности

Для оценки энергоэффективности различных видов деятельности человека используется ряд показателей. Основными из них являются энергоемкость (или удельный расход топливно-энергетического ресурса (ТЭР) на единицу продукции), представляющая собой отношение количества потребленных энергоресурсов к выполненной работе или произведенной продукции, и обратный ему показатель энергоэффективности, часто применяемый за рубежом, представляющий собой объем выполненной работы на единицу потребленного ТЭР.

Так как для железнодорожного транспорта продукцией являются перевозки, то их энергоэффективность оценивается по отношению к выполненному грузообороту (измеряется в тонно-километрах [ткм] нетто) или коммерческому грузообороту (тарифных ткм или коммерческих ткм, но эти показатели отличаются незначительно). Энергоэффективность в пассажирском движении оценивается по отношению к пассажирообороту (пасс-км). Для того чтобы оценить энергоэффективность работы железной дороги в целом, как в пассажирском, так и в грузовом движении, используется показатель «Приведенный ткм». За рубежом этот показатель иногда называется «Единица измерения перевозочной деятельности» или «Транспортная единица» (Transport unit). При этом приведение осуществляется простым суммированием пассажирооборота и коммерческого грузооборота.

Наибольшую часть энергопотребления при перевозках по железной дороге составляет расход энергоресурсов на тягу. В то же время приведенные выше показатели не позволяют определить, насколько эффективно с точки зрения расходования энергоресурсов используется тяговый подвижной состав, так как их величина зависит и от общих показателей (коэффициент загрузки вагонов, весовые нормы, населенность пассажирских поездов и т.д.). Поэтому в таких случаях используется не продукция железнодорожного транспорта в виде ткм нетто или пассажирооборота, а выполненная работа в виде ткм брутто как для грузового, так и для пассажирского движения.

В качестве измерителей потребления энергоресурсов принимаются вес условного топлива (кг у.т., т у.т.), масса дизельного (натурного) топлива (кг д.т., т д.т.) либо его объем (литры, галлоны и пр.), расход электрической энергии (кВт·ч). В последнее время в мире наблюдается тенденция отказа от понятия «Потребление энергоресурсов» с заменой его на понятие «Потребление энергии». Кроме того, в статистических данных ООН, ЮНЕСКО и Международного союза железных дорог (МСЖД) для оценки энергии все более часто используются единицы системы измерений СИ. В этом случае затраченная конечная и первичная энергии измеряются в Дж или в производных от джоуля единицах: килоджоулях (кДж), мегаджоулях (МДж), гигаджоулях (ГДж) и тераджоулях (ТДж). Джоуль и его производные легко переводятся в любые применяемые величины, по которым оценивается потребление энергоресурсов.

Энергоэффективность скоростного и высокоскоростного движения

Режим работы скоростного и высокоскоростного железнодорожного подвижного состава значительно отличается от традиционного. Движение с высокой скоростью, длительная работа тяговых двигателей с мощностью, близкой к максимальной, снижают потери энергии на подвижном составе, так как и тяговые двигатели, и преобразователи постоянно находятся в зоне высокого КПД, а малое время в пути уменьшает абсолютное потребление энергии на собственные нужды. В то же время увеличение скорости до значений 250–300 км/ч и более вызывает значительной рост сопротивления движению, особенно его аэродинамической составляющей, и соответственно – расход энергии на его преодоление, а большой потребля-

Таблица 1. Энергоэффективность высокоскоростных поездов.

Тип поезда и год начала эксплуатации	TGV Reseau (1992)	Class 373 Eurostar (1993)	TGV Duplex (1997)	Shinkansen 700 Series (1998)	Class 390 Pendolino (2003)	AGV (2008)	ЭВС 1 (ЭВС2) (2009)	ЭС1* (2011)
Страна эксплуатации	Франция	Великобритания, Франция	Франция	Япония	Великобритания	Франция	Россия	Россия
Скорость, км/ч	300	300	300	300	200	300	250	160
Вместимость, мест	377	750	545	1323	439	650	604	443
Длина, м	200	394	200	400	215	250	250	130
Составность, ваг.	10	20	10	16	9	14	10	5
Масса, т	386	723	384	634	460	510	656 (672)	267
Масса метра поезда, т	1,93	1,84	1,92	1,59	2,14	2,04	2,62 (2,68)	2,05
Масса поезда на пассажирское место, т	1,02	0,96	0,7	0,48	1,05	0,78	1,08 (1,11)	0,60
Удельное энергопотребление, кВт·ч/место-км	0,039	0,041	0,037	0,029	0,033	0,033	0,034	0,019
Удельное энергопотребление, кВт·ч/ ткм брутто	381	425	525	563	315	420	319	321

* Не является высокоскоростным поездом.

емый ток приводит к росту потерь в контактной сети (в данном случае рассматривается только скоростное движение с электрической тягой). Для того чтобы адекватно оценить энергоэффективность той или иной серии подвижного состава, в мировой практике принято оценивать отношение потребляемой электроэнергии к одному пассажирскому месту, умноженному на километры пробега (место-км). Такой показатель позволяет более точно оценить реальную энергетическую эффективность скоростных электропоездов, так как нивелируется влияние реальной населенности поезда (по сравнению с пассажиро-километрами) и учитываются его положительные конструктивные особенности (по сравнению с тонно-километрами брутто).

При этом влияние реальной населенности на потребление электроэнергии очень незначительно (доля скоростных поездов на дизельной тяге крайне мала), так как практически все они имеют эффективную систему рекуперации, и рост ее реального потребления из сети за счет придания дополнительной кинетической энергии при разгоне компенсируется возвратом при торможении. В соответствии с терминологией МСЖД скоростным принято называть поезд с эксплуатационной скоростью от 160 км/ч, а высокоскоростным – со скоростью 250 км/ч и выше. В Российской Федерации с 2009 года эксплуатируются высокоскоростные поезда ЭВС1 и ЭВС2, получившие имя «Сапсан», а с 2013 года – скоростные поезда ЭС1 «Ласточка». Развитие в РФ скоростного и высокоскоростного движения позволило собрать статистические данные о потребленной электроэнергии и провести анализ энергоэффективности [1, 2, 3].

Для сопоставления показателей для оценки энергоэффективности различных скоростных и высокоскоростных электропоездов в данной статье принимались как опубликованные данные, так и показатели, полученные в результате тяговых расчетов.

Ассоциация компаний по эксплуатации пассажирских поездов (Association of Train Operating Companies, ATOC), основанная в 1993 году в Великобритании, в своей работе по заказу некоммерческой организации Greengauge 21 провела анализ энергопотребления высокоскоростных поездов различных типов и лет выпуска. Данные, полученные по информации компаний-производителей и эксплуатантов (Virgin, Eurostar, Systra, Alstom), а также управления по безопасности и стандартизации на железных дорогах (Rail Safety & Standards, RSSB), приведены в таблице 1.

Из диаграмм (рис. 1, 2) видно, что энергопотребление поездов, выраженное в кВт·ч/место-км, уменьшается с увеличением года его по-

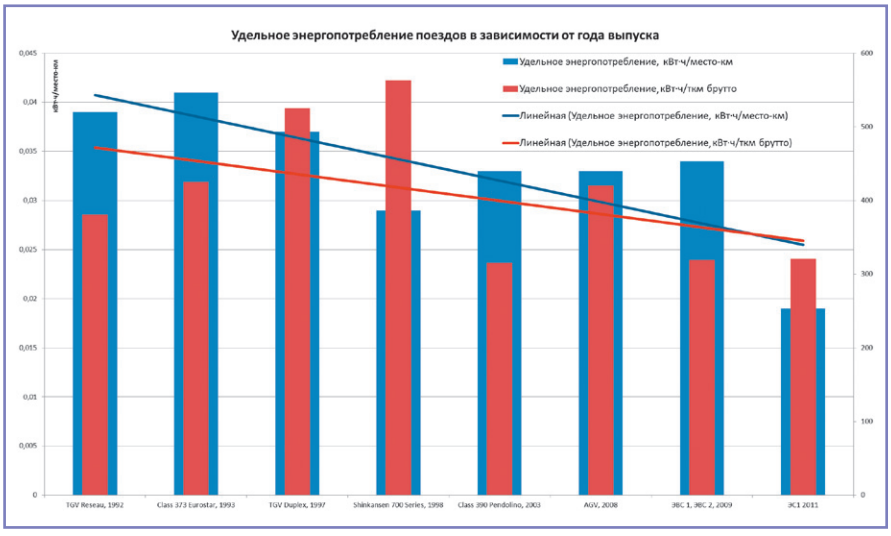


Рис. 1. Диаграмма удельной энергоемкости поездов в зависимости от года выпуска.

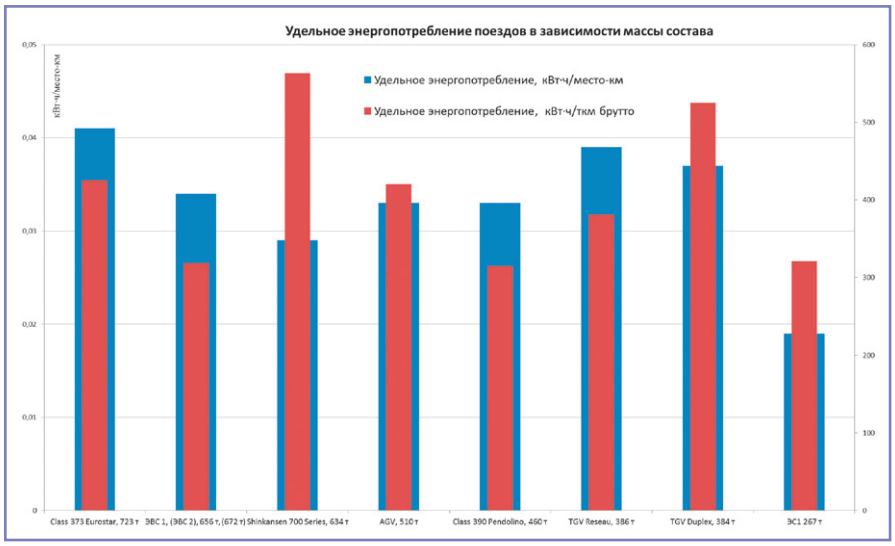


Рис. 2. Диаграмма удельной энергоемкости поездов в зависимости от массы состава.

стройки (то есть у новых поездов ниже) и незначительно растет со снижением массы (без учета электропоезда ЭС1, так как он не является высокоскоростным). При этом эксплуатирующиеся в России поезда ЭВС1 и ЭВС2 имеют одни из лучших показателей энергопотребления, выраженные в кВт·ч/ткм брутто, но немного уступают по удельному расходу, приведенному к пассажирскому месту, в основном из-за меньшей вместимости по сравнению с аналогами.

Литература:

1. Сравнение воздействия на окружающую среду традиционного и высокоскоростного железнодорожного транспорта. Отчет компании Network Rail (Великобритания). – 2010 г. – 60 с.

2. Потребление энергии и воздействие CO2 от высокоскоростного железнодорожного транспорта. Аналитический отчет ассоциации компаний-операторов поездов Великобритании (ATOC). – 2009 г. – 29 с.

3. Назаров А.С. Опыт запуска в России высокоскоростных поездов «Сапсан» и «Аллегро». Техника железных дорог. № 3 (23), 2013, с. 62–68.

Изварин Михаил Юльевич – выпускник Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта, в 1996 году защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Преобразователь для питания бортовых цепей электропоездов постоянного тока». В настоящее время работает доцентом кафедры «Электрическая тяга» ФГБОУ ВПО Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I. Автор более 100 печатных трудов и патентов.

Евстафьев Андрей Михайлович – родился в 1979 году. Выпускник Петербургского государственного университета путей сообщения. Кандидат технических наук, доцент. В 2005 году защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Электронные системы ослабления возбуждения тяговых двигателей электроподвижного состава». В настоящее время работает заведующим кафедрой «Электрическая тяга» ФГБОУ ВПО Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I. Автор более 100 печатных трудов и патентов.

Евстафьева Марина Валерьевна – окончила Петербургский государственный университет путей сообщения. В настоящее время работает специалистом и обучается в аспирантуре ФГБОУ ВПО Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.

Izvarin Mikhail – graduated from Leningrad Institute of Railway Engineers, in 1996 he defended a thesis in the subject: «Transformer for side chains' supply of direct current electric trains». At present he works as associate professor of the department «Electric traction» in FGBOU VPO Petersburg State Transport University. He has more than 100 publications and patents.

Yevstafyev Andrey – was born in 1979. He graduated from Petersburg State Transport University. He is a candidate of Engineering, an associate professor. In 2005 he defended a Ph. D. thesis, the theme is: «Electronic systems of activation reduction of electro movable vehicle's traction engine». At present he works as the head of «Electric traction» chair in FGBOU VPO Petersburg State Transport University. He is an author of more than 100 printed works and patents.

Yevstafyeva Marina – graduated from Petersburg State Transport University. At present she works as specialist and she is a postgraduate student in FGBOU VPO Petersburg State Transport University.

Модель вагона метрополитена для исследования гармонического состава тягового тока

// Model of metro car for research of harmonic composition of traction current //

Данг Вьет Фук,
МГУПС (МИИТ), г. Москва

Представлена имитационная модель работы электротяговой системы вагона метро типа 81–740/741 с асинхронными двигателями. Модель разработана в программной среде Matlab/Simulink. Цель разработанной модели состоит в исследовании гармонических составляющих тягового тока, которые влияют на работу систем обеспечения движения поездов – СЦБ, АРС и АЛС. Получены зависимости токов высших гармоник определенных частот в функции времени, проведена статистическая обработка полученных результатов.
Ключевые слова: тяговый привод с асинхронными двигателями, система тягового электроснабжения метрополитена, гармонические составляющие тягового тока, мешающие влияния на системы СЦБ, АРС и АЛС.

The article presents the simulation model of the operation of electric traction system of metro car type 81–740/741 with induction motors. The model is worked out in software environment Matlab/Simulink. The aim of designed model is to study the harmonic components of traction current that affect the operation of the propulsion system of train – the signaling system and automatic train signaling with Automatic speed regulation system. Dependencies of higher harmonic currents of certain frequencies in function of time were obtained; the statistical processing of the received results was conducted.
Keywords: traction drive with induction motors, traction power supply system of underground, harmonic components of traction current, disturbing influences on the signaling system, automatic train signaling with Automatic speed regulation system.

В последнее время вопросам обеспечения безопасности движения поездов уделяется все большее внимание. Особенно остро за данной проблемой следят в Московском метрополитене – ввиду ввода нового электроподвижного состава (ЭПС) с асинхронными тяговыми двигателями и значительного повышения тяговых мощностей встает задача проверки и оценки тяговых токов на предельные величины высших гармонических составляющих, способные влиять на работу систем СЦБ, АРС и АЛС. При исследовании источников мешающих гармонических составляющих в рельсовых цепях системы тягового электроснабжения метрополитена в первую очередь рассматривается ЭПС как перемещающийся источник помех [3]. С целью изучения высших гармоник тягового тока в системе тягового электроснабжения метрополитена предлагается модель ЭПС метрополитена типа 81–740/741, разработанная в среде Matlab/Simulink.

Модель, показывающая работу вагона ЭПС метрополитена, включает в себя источник питания постоянного тока, упрощенную тяговую сеть и тяговый привод с асинхронными двигателями и входным фильтром. В пакете программ Matlab/Simulink предоставляется интерактивный инструмент для имитационного моделирования подобной системы, что позволяет не только проводить анализ показателей работы электрических цепей, но и исследовать их взаимодействие с механическими, управляющими и другими системами [2, 4].

Рассмотрим простейшую схему замещения при исследовании работы электротяговой части вагона метрополитена с асинхронными двигателями (рис. 1). На рис. 1 электрическая система представлена в виде источника питания постоянного напряжения, тяговой сети и главной схемы силовых цепей комплекта электрооборудования тягового привода с асинхронными двигателями вагона 81–740/741, которая включает в себя входной LC-фильтр, автономный инвертор напряжения на IGBT-модулях и четыре параллельно включенных тяговых асинхронных двигателя ДАТЭ-170–4У2 с номинальной мощностью по 170 кВт. Автономный инвертор преобразует напряжение постоянного тока, снимаемое с контактного рельса, в 3-фазное напряжение с регулируемой амплитудой и частотой для питания 4 тяговых асинхронных двигателей. Питание осуществляется через тяговую сеть от источника постоянного напряжения, которое соответствует напряжению холостого хода тяговых подстанций метрополитена [1].

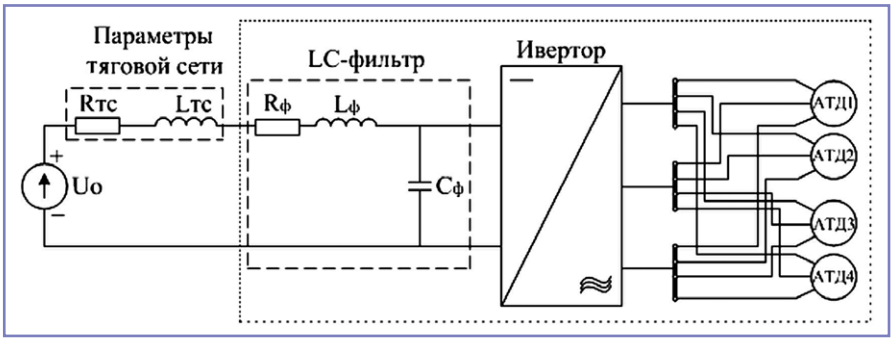


Рис. 1. Простейшая схема замещения электрической части асинхронного тягового привода вагона.

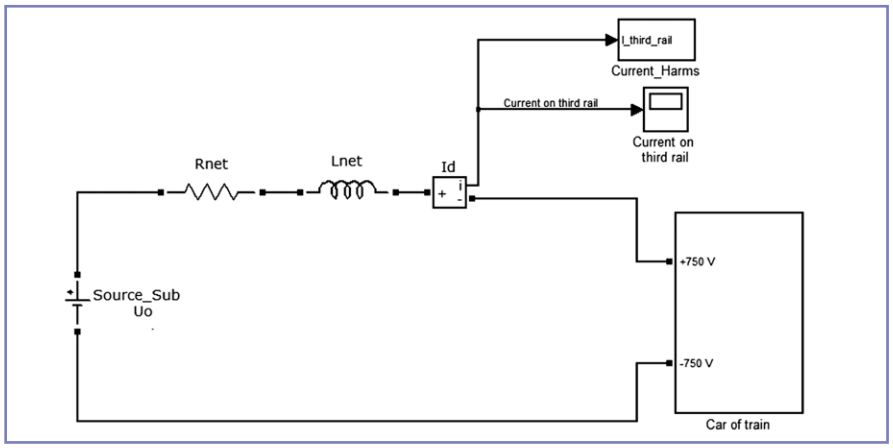


Рис. 2. Схема модели вагона ЭПС метрополитена в Matlab.

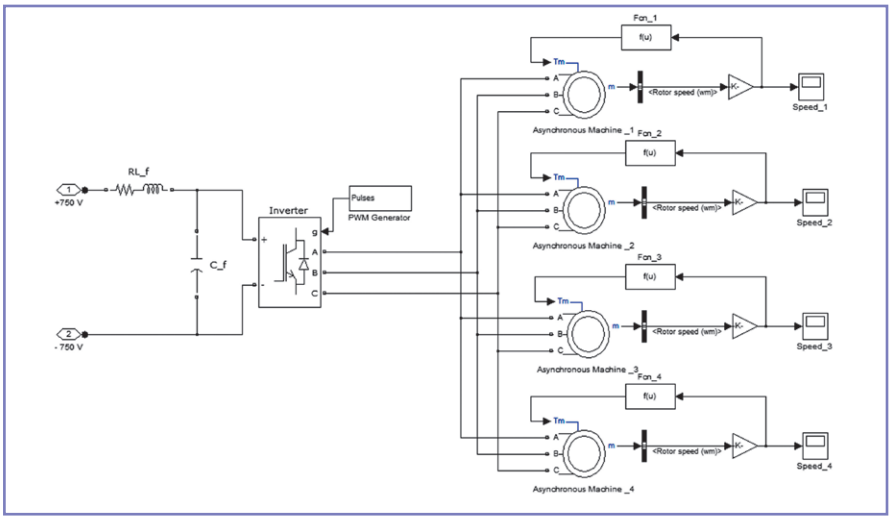


Рис. 3. Схема тягового привода с асинхронными двигателями вагона 81–740/741 метрополитена в Matlab.

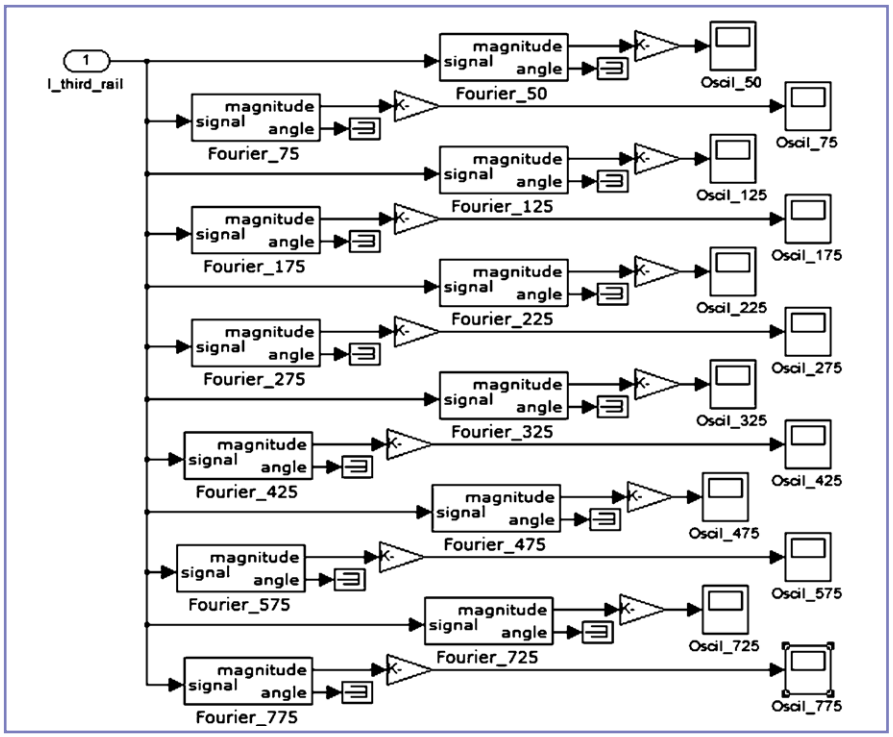


Рис. 4. Блок Current_harms для определения величин гармоник тягового тока.

Построение модели системы вагона для изучения гармоник тягового тока в Matlab/Simulink

Общая компьютерная модель системы вагона для исследований, составленная в программе Matlab/Simulink, представлена на рис. 2. Модель работы системы вагона для изучения гармоник тягового тока в системе тягового электроснабжения метрополитена включает в себя компоненты схемы замещения (рис. 1), а также систему диагностики и измерений в режиме реального времени.

Параметр подсистемы источника постоянного тока – $U_0 = 900$ В. Тяговую сеть системы электроснабжения метрополитена можно заменить сосредоточенной RL-цепочкой с соответствующими параметрами – активное сопротивление R_{net} и индуктивность L_{net} тяговой сети состоят из суммы сопротивлений и индуктивностей контактной сети, подводящих линий и тяговой подстанции. В настоящей работе данные параметры приняты следующими: $R_{net} = 0{,}06$ Ом, $L_{net} = 3{,}06 \cdot 10^{-3}$ Гн при удалении ЭПС на расстояние 1 км от тяговой подстанции [1, 3].

Подсистема вагона 81–740/741 метрополитена включает в себя входной фильтр RL_f и C_f, инвертор с блоком PWM Generator для управления инвертором с синусоидальной широтно-импульсной модуляцией и модели 4 параллельно включенных тяговых асинхронных двигателей (рис. 3). Модель асинхронного тягового двигателя построена на основе математических уравнений, приведенных в [2, 3, 4].

Параметры фильтра и асинхронного тягового двигателя вагона сведены в таблицах 1–2 [5, 12]. Блок PWM Generator в режиме разгона и движения ЭПС работает с несущей частотой коммутации ШИМ инвертора 2400 Гц [5, 12]. Блок инвертора Universal Bride – это трехфазный мост на IGBT-транзисторах с дифференциальным сопротивлением IGBT – $r_т = 10^{-3}$ Ом.

В составе библиотеки Simulink имеется компонент Fourier, позволяющий определить амплитуду гармоники на заданной частоте [2, 6]. На основе встроенного компонента Fourier был разработан блок Current_harms для определения значений помехи тягового тока от ЭПС в тяговой сети на указанных частотах гармоник. Схема блока Current_harms изображена на рис. 4.

Таблица 1. Параметры фильтра.

Активное сопротивление	Индуктивность	Конденсатор
R_f = 0,0055 Ом	L_f = 8·10-3 Гн	C_f = 32·10-3 Ф

Таблица 2. Параметры номинального режима работы асинхронного тягового двигателя ДАТЭ-170–4У2.

Наименование	Значение
Мощность на валу P2, кВт	170
Фазное действующее напряжение статора U1ф, В	337
Частота тока статора, Гц	53,6
Число полюсов	2
Индуктивность рассеяния статора, Гн	0,0004
Индуктивность рассеяния ротора, Гн	0,0004
Взаимная индуктивность, Гн	0,014
Активное сопротивление статора, Ом	0,02
Приведенное к обмотке статора активное сопротивление, Ом	0,02

Результаты моделирования

Моделирование работы вагона в Matlab/Simulink производилось методом ode23tb во временной области с максимальным шагом 10^{-5} секунды модельного времени на интервале 0 ÷ 16 секунд в режиме разгона до 30 км/ч. Результаты моделирования фиксировались при нахождении ЭПС на расстоянии 1 км от источника постоянного напряжения.

В результате моделирования получены зависимости частоты вращения ротора тягового двигателя, общего тока вагона и токов высших гармонических составляющих тягового тока определенных частот в функции времени. Впоследствии частота вращения ротора [рад/с] была пересчитана в линейную скорость движения ЭПС [км/ч] по формуле в [9, 10]

$$V = \frac{3{,}6\pi D_к n_2}{60\mu} = 1{,}8 \cdot \frac{D_к}{\mu} \cdot \omega_2 = \\ = 0{,}2815 \cdot \omega_2$$

где V – скорость ЭПС в км/ч;

$D_к$ – диаметр колеса, для вагона «Русич», $D_к$ = 0,86 м [5];

μ – передаточное число редуктора, для вагона «Русич», μ = 5,5 [11];

n_2 – частота вращения ротора,

$n_2 = \frac{30}{\pi} \cdot \omega_2$ об/мин;

ω_2 – угловая скорость ротора, рад/с.

При моделировании работы вагона с помощью измерительного прибора Current_harms фиксируются осциллограммы и определяются величины гармоник тягового тока в тяговой сети методом Фурье.

Кривая скорости ЭПС представлена на рис. 5, кривая общего тягового тока в контактном рельсе – на рис. 6, кривые гармонических составляющих тягового тока для изучения гармоник на рассматриваемом интервале 12 ÷ 16 секунд на указанных частотах изображены на рис. 7.

Статистическая обработка и анализ полученных результатов моделирования

Полученные результаты моделирования позволяют провести статистическую обработку и получить действующие значения токов высших гармоник для определенных частот и для определенного временного окна. На рис. 8 показаны максимальные значения действующих токов гармонических составляющих на рассматриваемом интервале 12 ÷ 14 секунд за период 0,2 секунды. Данные представлены в процентном соотношении к максимально допустимым. В данном случае можно сказать, что величины действующего значения гармонических составляющих тока вагона в полосе указанных частот не превышают допустимых значений – максимум действующего значения токов гармонических составляющих определен на частоте в 50 Гц и составляет 43,959% от нормируемого уровня.

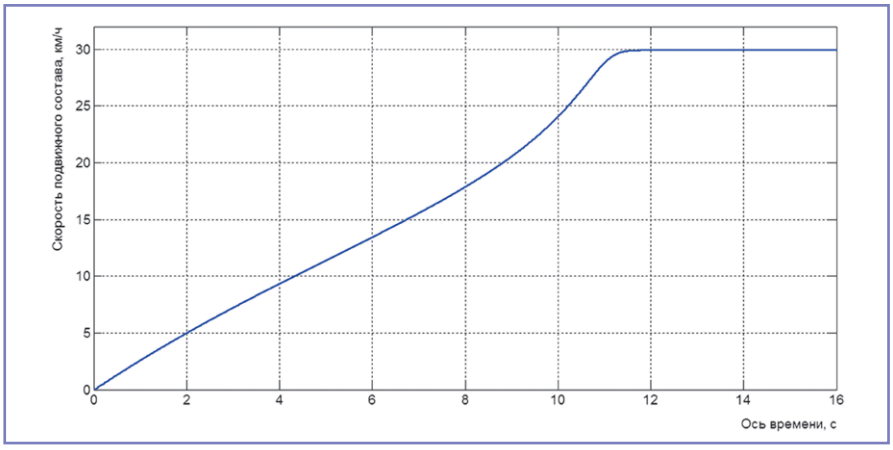


Рис. 5. Кривая изменения скорости ЭПС в функции времени.

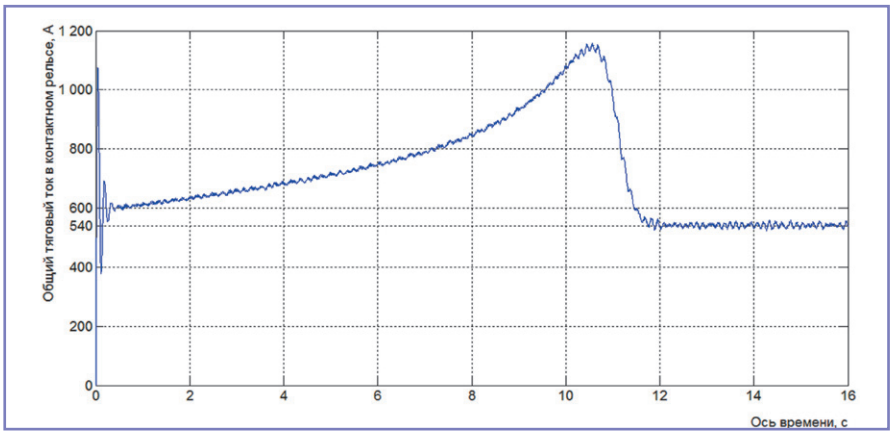


Рис. 6. Кривая общего тягового тока ЭПС при разгоне.

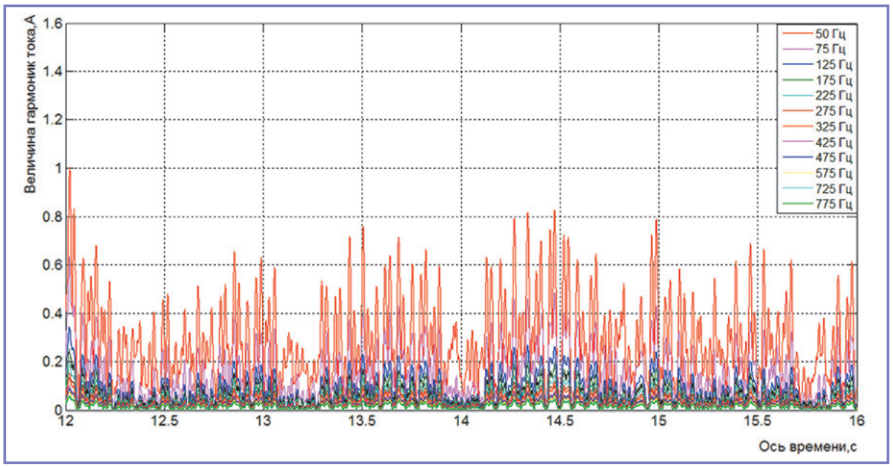


Рис. 7. Зависимости гармонических составляющих тягового тока от времени.

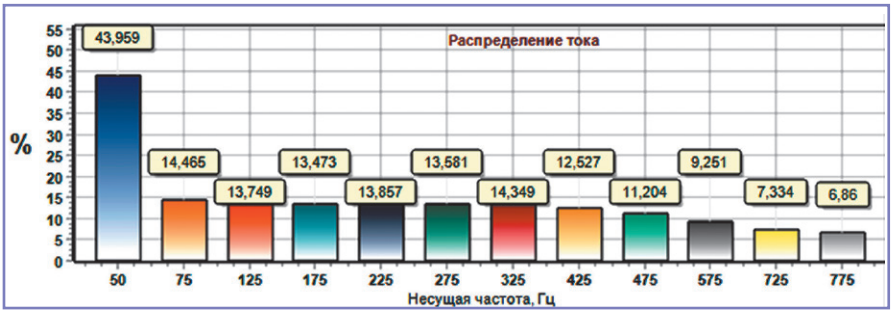


Рис. 8. Результаты статистической обработки результатов моделирования.

Следует отметить, что подобный подход можно использовать при анализе экспериментально замеренных данных. Известны работы по статистической обработке больших массивов экспериментально замеренных показателей работы тяговых подстанций и электроподвижного состава как на железной дороге, так и в метрополитене [7, 8]. Однако для оценки гармонического состава тягового тока на предмет мешающих влияний необходима высокоточная аппаратура с высокой помехоустойчивостью, использование которой для большинства случаев, как правило, бывает затруднительно. С помощью разработанной имитационной модели можно предварительно проанализировать состав тягового тока при работе ЭПС метрополитена при любых условиях.

Выводы

Разработанная модель системы вагона ЭПС позволяет определить спектр действующих значений гармонических составляющих тягового тока в тяговой сети. По результатам анализа гармоник тягового тока возможно оценивать уровни помех в системе тягового электроснабжения, влияющие на работу системы СЦБ, АРС и АЛС метрополитена. В дальнейшем модель вагона ЭПС может быть использована в комплексной имитационной модели работы системы тягового электроснабжения метрополитена с учетом схем выпрямления тяговых подстанций и режимов рекуперативного торможения с целью исследований мешающих влияний гармонических составляющих на работу систем обеспечения движения поездов.

Литература:

1. Быков Е.И., Панин Б.В., Пупынин В.Н. Тяговые сети метрополитенов. – М.: Транспорт, 1987 г. – 256 с.
2. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Matlab 6.0. – М.: Корона-Принт, 2001 г. – 320 с.
3. Киржнер Д.Л. Электромагнитная совместимость статических преобразователей частоты вагонов метрополитена с асинхронными тяговыми двигателями с системами сигнализации, централизации, блокировки и автоматического регулирования скорости. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Москва, 1986 г.
4. Терёхин В.Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.01): учебное пособие / В.Б. Терёхин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 292 с.
5. Руководство по эксплуатации. Вагоны метрополитена моделей 81–740 и 81–741.
6. Гречишников В.А., Подаруев А.И., Шевлюгин М.В. Преобразовательный агрегат ёмкостного накопителя энергии для системы тягового электроснабжения метрополитена. Электротехника. 2011. № 5. С. 17–22.
7. Бадёр М.П., Гречишников В.А., Шевлюгин М.В., Король Ю.Н. Анализ показателей работы силового оборудования системы тягового электроснабжения ОАО «РЖД» на основе мониторинга тяговых подстанций в режиме реального времени. Электроника и электрооборудование транспорта. 2011. № 5–6. С. 5–8.
8. Баранов Л.А., Бродский Ю.А., Гречишников В.А., Подаруев А.И., Пупынин В.Н., Шевлюгин М.В. Оценка эффективности использования стационарных ёмкостных накопителей энергии в метрополитене на основе экспериментальных замеров показателей работы системы тягового электроснабжения. Электротехника. 2010. № 1. С. 62–65.
9. Осипов С.И., Осипов С.С. Основы тяги поездов. Учебник для студентов техникумов и колледжей ж/д транспорта. – М.: УМК МПС России, 2000. – 592 с.
10. Электроподвижной состав с асинхронными тяговыми двигателями / Ротанов Н.А., Курбасов А.С., Быков Ю.Г., Литовченко В.В.; под ред. Н.А. Ротанова. – М.: Транспорт, 1991. – 336 с.
11. Механическое оборудование вагонов 81–740.1, 81–741.1 «РУСИЧ» / Белов Д.В., Лобанов А.Н., Сорокин А.Л., Усачев Г.С., Широков Г.В.; под редакцией начальника УПЦ Гаранина В.Н. – М, 2008. – 95 с.
12. Руководство по эксплуатации. Комплект электрооборудования асинхронного тягового привода вагонов метрополитена КАТП-1.

Данг Вьет Фук – родился в 1984 году. В 2009 году окончил Иркутский государственный технический университет (ИрГТУ) по специальности «Электрический транспорт». В настоящее время является аспирантом Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ) по специальности «Электрические станции и электроэнергетические системы». Имеет 1 научный труд.

Dang Viet Phuc – was born in 1984. In 2009 has graduated Irkutsk State Technical University with a specialization in «Electric transport». Present time he is postgraduate student in Moscow State University of Railway Engineering (MIIT) with a specialization «Electric stations and Electric power systems». He has 1 treatise.

Обоснование рациональной модели тележки трамвая на основе параллельного моделирования в среде Matlab/Simulink и CAD, CAE – системе CATIA V5

// Justification of rational model trolley streetcar on the basis of parallel simulation in Matlab/Simulink environment and CAD, CAE – system CATIA V5 //

**Сафин А.Р., к.т. н., Мисбахов Р.Ш., к.т. н.,
Гуреев В.М., д.т. н., профессор,
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань**

Рассматривается методика определения рациональных параметров ходовых частей тележки трамвайного вагона «Спектр» на основе параллельного моделирования в среде Matlab/Simulink и CAD, CAE – системе CATIA V5.
Ключевые слова: тележка трамвая, ходовая часть, имитационная модель, прочностной анализ.

The technique of definition of rational parameters of bogie undercarriage tramcar «Spectrum» on the basis of the parallel simulation in Matlab/Simulink environment and CAD, CAE – system CATIA V5.
Keywords: trolley streetcar, undercarriage, simulation model, strength analysis.

В современной городской транспортной системе России из года в год все более важное место занимают трамвайные вагоны, так как этот вид транспорта обеспечивает минимальные эксплуатационные затраты и высокие объемы перевозки пассажиров. В связи с этим необходимо повышение скоростей движения трамваев, улучшение комфортности перевозки пассажиров, а также создание новых современных трамвайных вагонов. Среди комплекса научно-технических проблем, направленных на улучшение перевозочного процесса, важным является вопрос снижения динамической нагруженности трамвайных вагонов в эксплуатации, параметры которой существенно зависят от характеристик рессорного подвешивания.

Опыт эксплуатации показывает, что значительная доля отказов трамвайных вагонов связана с низкой надежностью и высокой динамической нагруженностью основных узлов. Из эксплуатации и ремонта трамваев известно, что у 39% трамвайных вагонов основной неисправностью ходовых частей являются отказы гидравлических гасителей и пружин рессорного подвешивания. Эксплуатация трамвая с высокой динамической нагруженностью приводит, в том числе, к повышенным износам и ухудшению технического состояния трамвайного пути.

Совершенствование параметров рессорного подвешивания, а следовательно, и снижение динамической нагруженности трамвайного вагона становятся одними из важнейших задач современного городского электротранспорта.

В эксплуатации используется огромный парк трамвайных вагонов. Их ходовые части имеют многочисленные конструктивные особенности, одно- или двухступенчатое рессорное подвешивание.

Система первичного рессорного подвешивания играет особо важную роль. Она в большой степени определяет ходовые качества вагона и, таким образом, оказывает непосредственное влияние на устойчивость движения, характер вписывания в кривые и безопасность в отношении схода с рельсов.

Система вторичного рессорного подвешивания прежде всего обеспечивает плавность хода и в значительной мере определяет общий уровень комфортности поездки.

Выбор объекта исследования

Более подробно рассмотрим трамвайный вагон модели «Спектр», так как он эксплуатируется во многих городах России. В конструкции трамвая использованы технические новинки (применение силовой электроники, энергосберегающих асинхронных электродвигателей, микропроцессорного управления), что позволяет конкурировать с зарубежными производителями трамваев. Главным достоинством трамвайного вагона модели «Спектр» по отношению к другим производителями является то, что эксплуатирующие организации могут самостоятельно производить ремонт, так как ремонтная база данного вагона схожа с трамвайным вагоном Т-3 производства Чехии, который получил большое распространение в России в 70–80-х годах прошлого века.

В городской транспортной системе многих городов России эксплуатируются трамвайные вагоны производства ФГУП «УралТрансМаш»

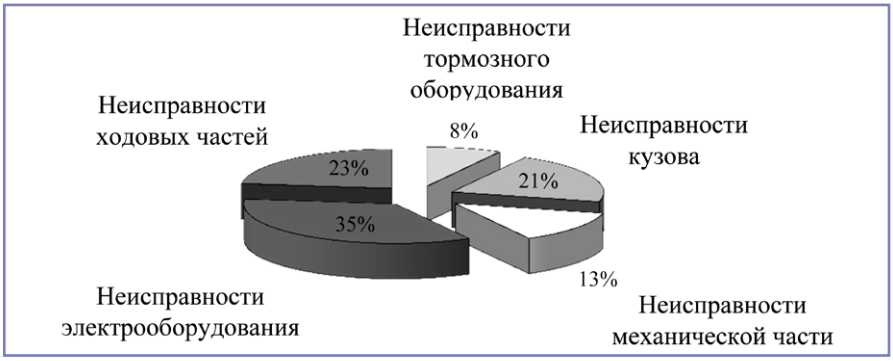


Рис. 1. Диаграмма отказов основных узлов трамвайных вагонов модели «Спектр».

серии «Спектр». Это четырехосные цельнометаллические вагоны в трехдверном исполнении с двумя двухосными ходовыми тележками мостового типа (безрамные).

Опыт эксплуатации трамвайных вагонов «Спектр» показывает, что наиболее повреждаемыми являются элементы ходовых частей. Это подтверждается выполненным анализом распределения отказов трамвайных вагонов серии «Спектр». Из диаграммы, представленной на рис. 1, видно, что 23% вагонов имеют отказ ходовых частей. Работоспособность ходовых частей подвижного состава является важнейшим фактором, определяющим безопасность движения [3].

Нарушения работоспособного состояния ходовых частей приводят к отказам подвижного состава и возникновению аварийных ситуаций, что непосредственно влияет на уровень безопасности городской транспортной системы. На основе выполненного анализа ходовые части трамвайных вагонов были выбраны в качестве объектов исследования.

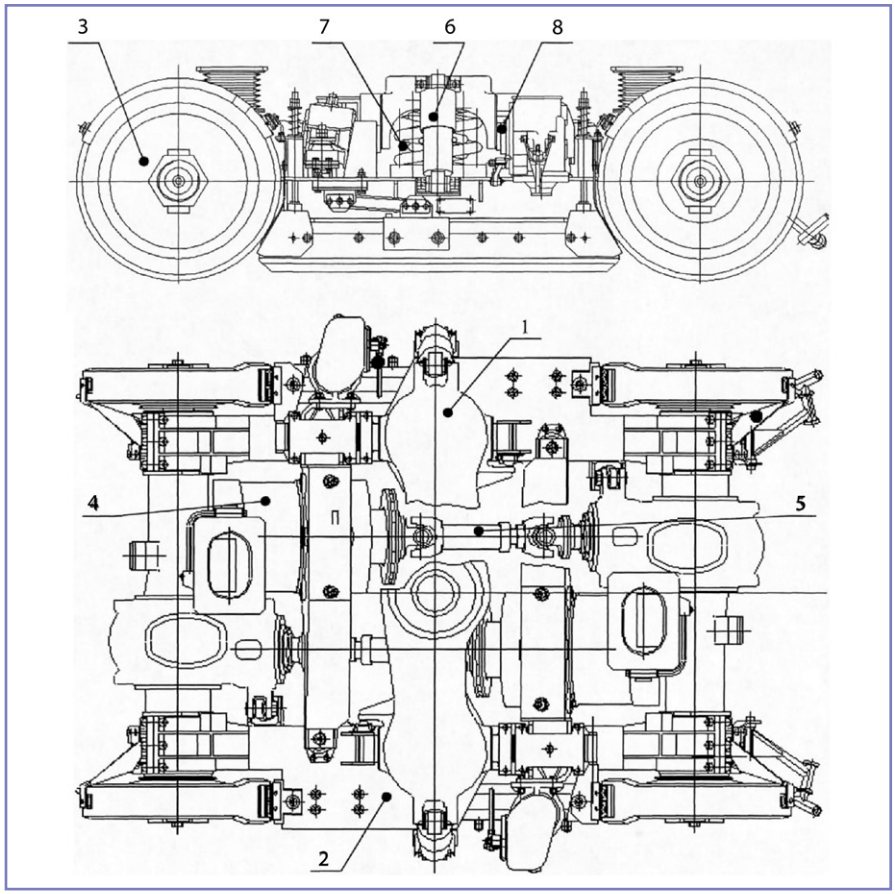


Рис. 2. Тележка трамвайного вагона модели «Спектр»:
1 – надрессорная балка; 2 – продольная балка; 3 – моноблочное колесо;
4 – тяговый электродвигатель; 5 – карданный вал;
6 – гидравлический гаситель колебаний;
7 – пружины рессорного подвешивания; 8 – резиновые амортизаторы.

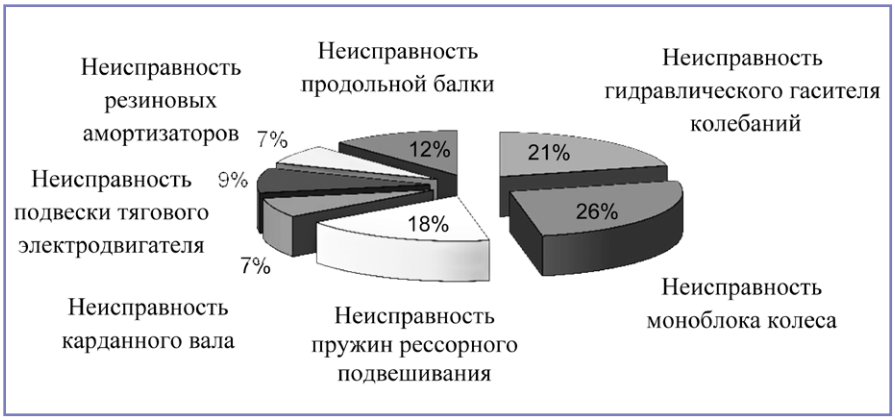


Рис. 3. Диаграмма отказов элементов ходовых частей трамвайных вагонов модели «Спектр».

Ходовые части трамвайного вагона

Трамвайные вагоны модели «Спектр» оборудованы двухосными поворотными тележками, основными частями которых являются рама, колесные пары с буксовыми узлами, тяговая передача, тормозные устройства, рессорное подвешивание. Обследованию технического состояния подвергались тележки трамвайных вагонов серии «Спектр» (рис. 2), поступающие в текущий ремонт.

В результате исследования технического состояния были выявлены основные неисправности ходовых частей, большая часть которых сказывается на безопасности движения. Из диаграммы распределения отказов ходовых частей, представленной на рис. 3, можно сделать вывод, что наиболее повреждаемым элементом является рессорное подвешивание (неисправность гидравлического гасителя колебаний – 21%, неисправность пружин центрального рессорного подвешивания – 18%).

Наиболее характерными неисправностями для тележек трамвайных вагонов модели «Спектр» являются образование трещин в продольных балках в местах соединения с кожухами редукторов, излом пружин центрального рессорного подвешивания, просадка резиновых амортизаторов, обрыв болтов подвески тягового электродвигателя, разрушение уплотнительной втулки и изгиб штока гидравлического гасителя в центральной ступени подвешивания, ослабление крепления моноблока колеса [3].

Структура имитационной модели

С целью выбора рациональных параметров элементов ходовых частей трамвайных вагонов разработана комплексная электромеханическая имитационная модель трамвая с асинхронными двигателями. Разработка

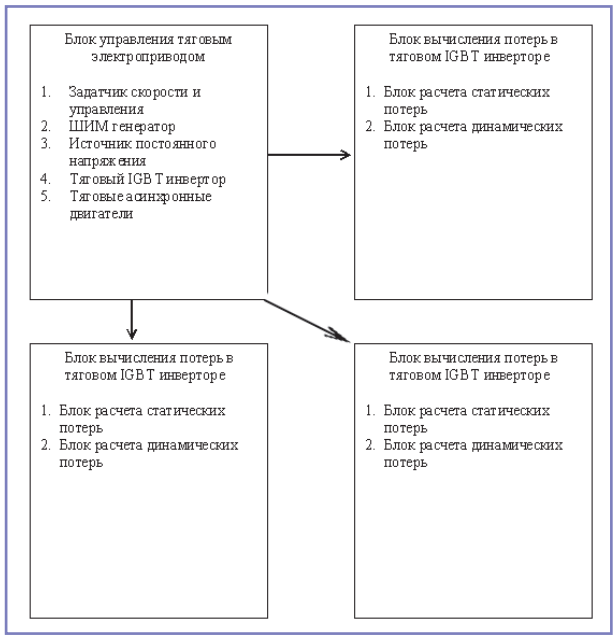


Рис. 4. Общий функциональный вид имитационной модели тягового электропривода трамвая в SimPowerSystems.

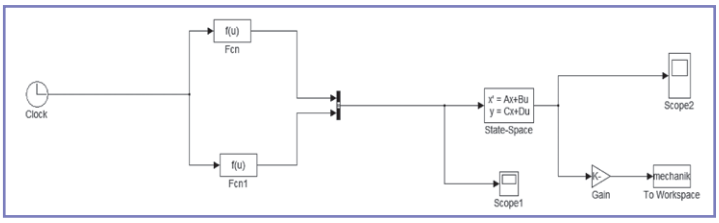


Рис. 5. Модель расчета вертикальных колебаний и силы в гасителях колебаний.

имитационной модели осуществлена с помощью программы Matlab в приложении SimPowerSystems и системы автоматизированного проектирования CATIA V5.

Цель создания имитационной модели – определение рациональных конструктивных решений механической системы вагона на основе кинематического, динамического и прочностного анализа.

На сегодняшний момент развитие систем моделирования позволяет решать комплекс задач по проектированию систем управления тяговым электроприводом электроподвижного состава и созданию трехмерных моделей с последующими кинематическим и динамическим расчетами. Применение систем моделирования позволяет снизить затраты на создание испытательного образца и оценить степень эффективности применения того или иного варианта модели.

Программа Matlab/Simulink используется для непосредственного решения проблем регулирования систем электропривода. Некоторые изготовители подвижного состава применяют хорошо зарекомендовавшие себя программы и одновременно стремятся обеспечивать обмен исходными данными и результатами расчетов между моделями разных систем. Для этого используют интерфейсы, позволяющие реализовать обмен данными между моделями механических и регуляционных процессов уже на первой стадии разработки. Это дает возможность своевременно получать как можно более точную информацию о поведении электромеханической системы как о макросистеме и непосредственно сопоставлять его с поведением физической системы [1, 2].

Совместное (параллельное) моделирование электромеханической модели в программном комплексе Matlab/Simulink и САПРе высокого уровня CATIA V5 позволяет более детально рассматривать варианты технических решений и выбирать наиболее рациональный из них.

В программном комплексе Matlab/Simulink осуществлено моделирование динамики движения трамвая, перемещения, скорости, ускорения, механических нагрузок.

Общий функциональный вид имитационной модели тягового электропривода трамвая в SimPowerSystems представлен на рис. 4 [4, 7].

Данные моделирования в программном комплексе Matlab/Simulink на основе программ, написанных на языке Matlab, передаются в проектную таблицу Excel, которая синхронизируется с САПР CATIA V5. В CATIA V5 строятся 3D модели деталей и сборок механической части трамвая: тележка, колесные пары, пружины центрального рессорного подвешивания и т.д.

Данные по механическим нагрузкам через таблицу Excel передаются в 3D модели для последующего динамического и прочностного расчетов.

Система дифференциальных уравнений динамики движения трамвая решается в пакете Matlab/Simulink. Общий вид модели представлен на рис. 5 [5, 6].

Блоки Fcn рассчитывают возмущения со стороны пути, блок State-Space производит вычисление дифференциальных уравнений движения трамвая, на осциллографы Scope 1 и Scope 2 выводятся изменения значений возмущающих воздействий и приложенных сил к тележке трамвая. Блок To Workspace производит запись полученных значений в файл Mechanik.

Программный файл m-файл export3, интегрированный в данную модель, после окончания расчета выгружает полученные значения нагрузок в виде проектной Excel-таблицы, которая синхронизируется с САПР CATIA V5.

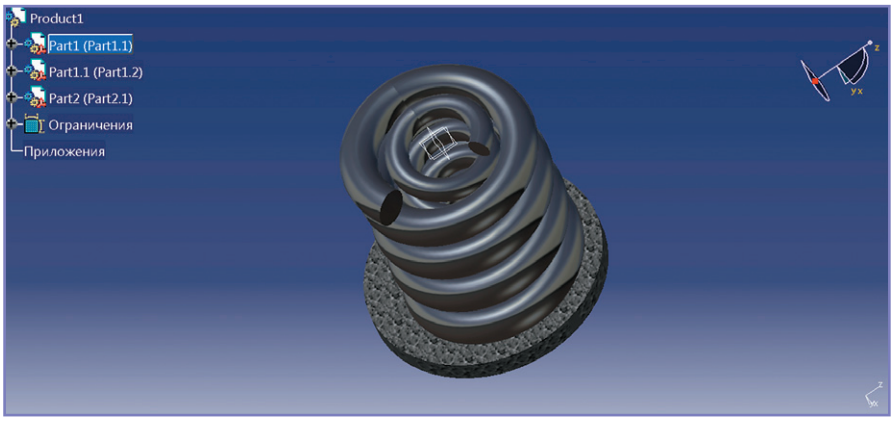


Рис. 6. 3D модель центрального рессорного подвешивания.

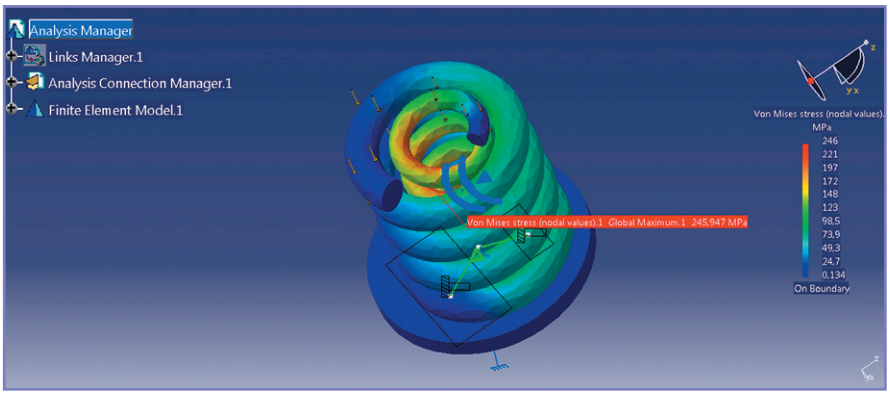


Рис. 7. Прочностной расчет в цилиндрической рессоре.

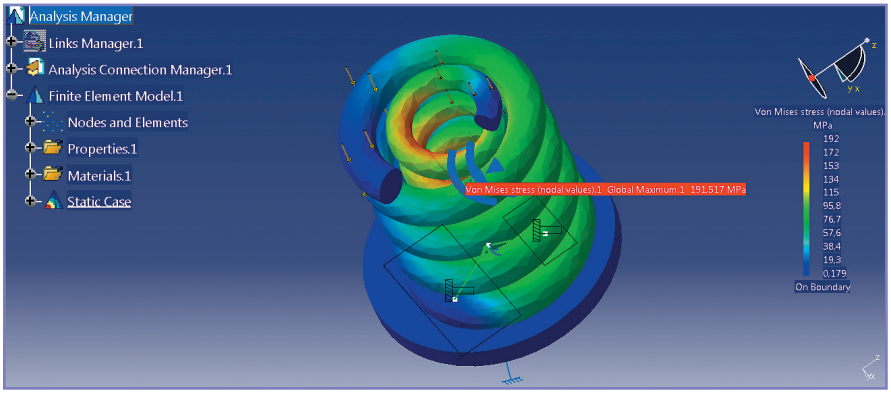


Рис. 8. Результат прочностного расчета с новыми значениями диаметров пружин.

Результаты моделирования

Для примера анализа выбрано центральное рессорное подвешивание трамвая, 3D модель которого представлена на рис. 6.

Пружины для рессорного подвешивания изготовляются из круглой, горячекатаной, углеродистой стали марок Ст. 60 и Ст. 65 по ГОСТ 1050–57. Данные по материалам вносятся в данную модель для последующего прочностного расчета.

Цилиндрические рессоры (пружины) состоят из двух цилиндрических пружин с диаметром стального прутка 33 мм, цилиндрической стальной пружины с диаметром прутка 20 мм, с правой и с левой навивкой соответственно.

На основе проведенного прочностного анализа получены следующие значения: максимальная напряженность в цилиндрической рессоре составляет 245 Мпа, максимальное смещение пружин – 8 мм (рис. 7).

CAE-система CATIA располагает модулем оптимизации Product Engineering Optimizer, который позволяет рассчитать оптимальные размеры деталей с целью снижения максимальных напряжений.

Зададим требуемое максимальное напряжение в 200 Мпа. Математический алгоритм оптимизации, применяемый в данном модуле, – алгоритм модельной закалки. В результате проведенного расчета получены следующие значения, которые выгружаются в виде Excel-таблицы (таблица 1). В ней указываются оптимизируемые параметры на каждом шаге итерации.

В итоге внешняя пружина рассчитана с диаметром стального прутка 32 мм, внутренняя пружина – с диаметром прутка 22 мм (округлено до целых значений). Максимальное напряжение, согласно расчету, снижено до 200 Мпа.

Повторный прочностной расчет с новыми (округленными) значениями диаметров пружин показал снижение максимального напряжения до 191,5 Мпа, максимальное смещение пружин – 6 мм (рис. 8).

В разделе «Свойства» система CATIA V5 позволяет определить механические свойства детали. Получены следующие результаты:

- масса внешней пружины до оптимизации – 12,2 кг;
- масса внутренней пружины до оптимизации – 3,2 кг;
- общая масса до оптимизации – 15,4 кг;
- масса внешней пружины после оптимизации – 11,5 кг;
- масса внутренней пружины после оптимизации – 3,9 кг;
- общая масса после оптимизации – 15,4 кг.

Таким образом, масса пружин не изменилась, но при этом максимальное механическое напряжение снизилось на 21,8%, и снизилось максмальное смещение пружин.

Совместное использование Matlab/Simulink и САПР высокого

Таблица 1. Итоговая таблица оптимизации пакета Product Engineering Optimizer.

`Nb Оценки`	`Наилучшее` (MPa)	`Давление максим` (MPa)	`Par11\Тело детали\ Ребро.1\Эскиз.6\Радиус.18\ Радиус` (mm)	`Parti.1\Тело детали\ Ребро.1\Эскиз.6\ Радиус.18\Радиус` (mm)
0	245,946992	245,946992	16,5	10
1	182,232016	182,232016	16,68485999	11,2042649:.
2	182,232016	140,850416	16,94366398	12,89023579
3	182,232016	180,539888	16,68485999	11,35351864
4	182,232016	156,092528	17,24601553	12,87986972
5	185,046368	185,046368	16,4552082	11,12848874
6	200,357872	200,357872	16,1336957	10,81344688
7	200,357872	227,314784	15,6835782	10,37238828
8	200,357872	204,327392	14,13837904	11,08894029
9	200,357872	216,610736	14,40187409	10,55751576
10	200,357872	194,622864	14,13370775	11,89241935
11	200,357872	186,767824	13,75827488	13,76128436
12	200,357872	207,476512	13,83372442	13,66344695
13	200,357872	205,947168	13,93935378	13,52647456
14	200,357872	229,350928	14,08723489	13,33471323
15	200,357872	182,232016	16,68485999	11,2042649
16	200,357872	200,357872	16,1336957	10,81344688

уровня CATIA V5 позволяет повысить эффективность моделирования сложных электромеханических систем с целью оптимизации конструктивных размеров деталей механической части трамвайного вагона.

Работа выполнена в рамках договора с Минобрнауки РФ от 12 февраля 2013 г. № 02.G25.31.0004.

Литература:

1. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Matlab 6.0: Учебное пособие. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 320 с.
2. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в Matlab, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
3. Гейзер А.И. Трамвайные вагоны моделей 71–402 и 71–403 с асинхронным приводом производства ФГУП «Уралтрансмаш», Транспорт Урала. № 2 (5)/2005. С. 46–51.
4. Сафин А.Р., Мисбахов Р.Ш., Гуреев В.М. Разработка рациональной структуры тягового электропривода трамвая в среде моделирования электроэнергетических объектов программы Matlab // Мехатроника, автоматизация, управление. 2015. Т. 16. № 2. С. 111–116.
5. Грачёва Е.И., Ившин И.В., Сафин А.Р. Разработка рациональной схемы управления тягового электропривода трамвая в среде моделирования программы Matlab // Электрика. 2015. № 6. С. 28–34.
6. Сафин А.Р., Мисбахов Р.Ш., Гуреев В.М. Обоснование рациональной схемы управления тяговым электроприводом трамвая на основе разработки имитационной модели // Электроника и электрооборудование транспорта. 2014. № 3. С. 19–22.
7. Сафин А.Р. Выбор рациональных схем управления тяговым электроприводом трамвая на основе разработки имитационной модели // Электротехника. 2013. № 1. С. 57–61.

Сафин Альфред Робертович – родился в 1981 году. В 2004 году окончил Казанский государственный энергетический университет. Кандидат технических наук, доцент. Защитил диссертацию по теме: «Разработка энергосберегающих схем и алгоритмов управления тяговыми двигателями постоянного тока электроподвижного состава». Опыт работы – 8 лет. В настоящее время работает доцентом кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Казанского государственного энергетического университета. Имеет 35 статей и тезисов, 3 патента, 5 учебно-методических пособий.

Мисбахов Ринат Шаукатович – родился в 1983 году. Окончил Казанский государственный технический институт им. А.Н. Туполева (КГТУ-КАИ) по специальности «Теплофизика». Кандидат технических наук. В 2010 году защитил диссертацию по теме: «Влияние добавок водорода на технико-экономические и экологические показатели газовых и дизельных двигателей». Опыт работы – 11 лет. В настоящее время работает доцентом кафедры «Котельные установки и парогазогенераторы» (КУПГ) ВПО «КГЭУ». Имеет 38 статей и тезисов, 1 патент, 3 учебно-методических пособия, 1 монографию.

Гуреев Виктор Михайлович – родился в 1960 году. Окончил Казанский государственный технический институт им. А.Н. Туполева (КГТУ-КАИ) по специальности «Двигатели летательных аппаратов». Доктор технических наук, профессор. В 2010 году защитил диссертацию по теме: «Повышение эффективности теплонасосных установок на основе численного и физического моделирования». Опыт работы – 31 год. В настоящее время является ведущим научным сотрудником научно-исследовательской лаборатории «Физико-химические процессы в энергоустановках» (НИЛ «ФХПЭ»). Имеет 150 статей и тезисов, 51 патент, 19 учебно-методических пособий.

Safin Alfred – was born in 1981. In 2004 he graduated from Khazan State Power Engineering University. Candidate of Engineering Science, assistant professor. Defended his dissertation on the subject «Designing of energy-conservative schemes and configurations of controlling of direct-current railway motors of electrically propelled vehicles». He has 8 years of work experience. At the present time he works as the assistant professor of «Power supply of industrial enterprises» Department in Khazan State Power Engineering University. He has 35 articles and theses, 3 patents, 5 guidance manuals.

Misbakhov Rinat – was born in 1983. He graduated from Kazan State Technical Institute named after A.N. Tupolev (GKTU-KAI) with specialization in «Thermophysics». He is a candidate of Engineering Sciences. In 2010 he defended a thesis on the subject: «Influence of hydrogen additives on technical-and-economic and environmental indexes of gas and diesel motors». His work experience is 11 years. At present he works as associate professor of «Boiler units and steam generators» (BUSG) department of VPO «KGEU». He has 38 articles and theses, 1 patent, 3 study guides, 1 monograph.

Gureyev Viktor – was born in 1960. He graduated from Kazan State Technical Institute named after A.N. Tupolev (GKTU-KAI) with specialization in «Motors of aircrafts». He is a Doctor of Sciences, professor. In 2010 he defended a thesis on the subject: «Efficiency improvement of heat-pump systems on the basis of numerical and physical modeling». His work experience is 31 years. At present he works as leading research associate of Scientific Research Laboratory «Physico-chemical processes in electric power plants» (SRL «PCPEPP»). He has 150 articles and theses, 51 patents, 19 study guides.

Влияние фазы включения напряжения на полное время срабатывания токоограничивающих выключателей

// Impact phase of energization on full operation time of current-limiting circuit breaker //

Пивоваров П.Н., Бочкарев В.Н., к.т. н.,
ОАО «ВНИИР-Прогресс», г. Чебоксары

В работе оценивается влияние фазы включения напряжения на время достижения контролируемой величиной уставки срабатывания защиты от КЗ в судовых сетях переменного тока.
Ключевые слова: судовые электроэнергетические системы, фаза включения напряжения, релейная защита, производная тока, быстродействие.

The report aims to evaluate impact of energization phase on time to reach control setting for operation of fault protections in marine electrical systems.
Keywords: marine electric power systems, energization phase, relay protection, current derivative, quick response.

Весьма значительные токи короткого замыкания (КЗ) в низковольтных судовых сетях (140–250 кА) обусловили широкое применение быстродействующих защит, реагирующих на di/dt, совместно с токоограничивающими выключателями. Это позволило за 3–5 мс отключать ток КЗ либо уменьшать его, разделяя параллельно работающие на точку КЗ 2–3 генератора так, что этот уменьшенный в 2–3 раза ток КЗ в состоянии отключить селективный, не токоограничивающий выключатель питаемого присоединения, имеющий ограничения по предельной коммутационной способности.

В указанном времени срабатывания 0,6 мс – время срабатывания защиты типа УБЗ-53 (ТУ 16–536.673–81), 3–5 мс – время срабатывания токоограничивающего выключателя типа АБЭ (ТУ 16–526.452–78).

В сетях постоянного тока, где ток КЗ нарастает по экспоненте, значение di/dt максимально при t = 0, и время существования КЗ определяется только суммарным временем срабатывания защиты и выключателя.

В сетях переменного тока мгновенные значения тока и его производной существенно зависят от фазы напряжения в момент возникновения КЗ, и к времени срабатывания защиты и выключателя добавляется время нарастания контролируемой защитой величины от нуля или некоторого значения до уставки срабатывания защиты. Назовем это время временем распознавания защитой появления аварийного режима, то есть КЗ.

Рассмотрим КЗ на «холостой» линии или включение генератора на существующее КЗ вблизи генератора. Из [1] используем следующие параметры цепи КЗ:

$I_{нагр}(0) = 0$ – ток нагрузки в момент КЗ;

$\varphi_{к.з.} = 80^{\circ}$ – угол цепи КЗ $\varphi_к = \text{arctg}(\omega L_к/R_к)$;

$T_{к.з.} = 0.015$с – постоянная времени цепи КЗ $T_к = L_к/R_к$;

$I_{ном} = 1$ кА.

Выражения для мгновенного значения тока КЗ и его производной

$$i_к = I_к^{\max}\left[\sin(\omega\cdot t+\alpha-\varphi_к)- \sin(\alpha-\varphi_к)\cdot e^{-\frac{t}{T_к}}\right] \quad (1)$$

$$i'_к = I_к^{\max}\left[\omega\cdot\cos(\omega\cdot t+\alpha-\varphi_к)+ \frac{1}{T_к}\cdot\sin(\alpha-\varphi_к)\cdot e^{-\frac{t}{T_к}}\right] \quad (2)$$

Для определения времени нарастания мгновенного значения тока КЗ до значения уставки срабатывания реле максимального тока t_{iycm} подставим в левую часть выражения (1) значения этой уставки, например, $2I_н$, а ток КЗ в правой части (1) также в кратности к номинальному току генератора – $10I_н$ и поделим обе части равенства (1) на – $10I_н$. С учетом принятых значений $\varphi_к$ и $T_к$ получим

$$0{,}2 \le \left|\sin(\omega\cdot t+\alpha-80)- \sin(\alpha-80)\cdot e^{-\frac{t}{15}}\right| \quad (3)$$

Правая часть неравенства берется по модулю, поскольку измеряются положительные и отрицательные полуволны тока.

Приняв уставку срабатывания реле производной тока [2] равной 889 А/мс и проделав те же подстановки в (2), получим следующее равенство

$$0{,}0889 \le \left|0{,}314\cdot\cos(\omega\cdot t+\alpha-80^{\circ})+ 0{,}0667\cdot\sin(\alpha-80^{\circ})\cdot e^{-\frac{t}{15}}\right| \quad (4)$$

Задавшись рядом значений α в диапазоне 0–360° с шагом, например, 9°, найдем значение t с шагом 0,5 мс в диапазоне 0–20 мс, обращающее (3) в тождество. Это позволит построить зависимость $t_{iycm} = f(\alpha)$ для реле тока.

Такая же процедура с выражением (4) даст зависимость $t_{iycm} = f(\alpha)$ для реле производной тока. Сравнение этих зависимостей позволит оценить фактический выигрыш в быстродействии при применении реле производной тока вместо реле максимального тока, реагирующего на мгновенные значения тока.

На рис. 1–3 представлены полученные зависимости. Из них видно, что задержка срабатывания реле по производной может достигать значений 13,5 мс в наихудшем случае при α, равном 171° (рис. 3), при этом реле

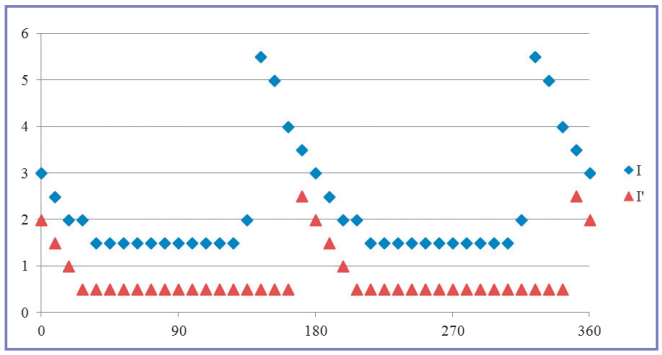


Рис. 1. Зависимость времени срабатывания (мс) от угла α при $I_{уст} = 2$ и $I'_{уст} = 0,889$.

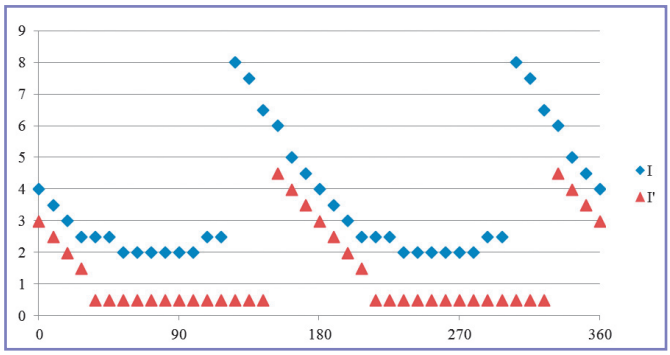


Рис. 2. Зависимость времени срабатывания (мс) от угла α при $I_{уст} = 4$ и $I'_{уст} = 1,778$.

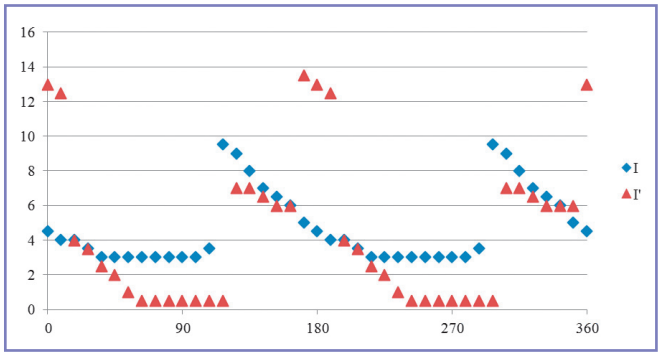


Рис. 3. Зависимость времени срабатывания (мс) от угла α при $I_{уст}$=6 и $I'_{уст}$=2,667.

максимального тока срабатывает быстрее – задержка составляет 5 мс.

Кроме того, из рис. 1 видно, что влияние фазы включения на время задержки реле максимального тока лежит в диапазонах от 0° до 36°, от 126° до 216° и от 306° до 360°. Для реле производной тока это диапазоны от 0° до 27°, от 162° до 207° и от 342° до 360°.

На рис. 2 представлены аналогичные зависимости для уставки по току 4 кА и по производной 1,778 кА/мс. При этом увеличились амплитуда и диапазон задержки. Для реле максимального тока получились диапазоны влияния фазы включения на время задержки от 0° до 54°, от 99° до 234° и от 279° до 360°. Для реле производной тока, соответственно, от 0° до 36°, от 144° до 216° и от 324° до 360°.

На рис. 3 представлены зависимости для уставки 6 кА по току и 2,667 кА/мс по производной. Диапазоны задержки для реле максимального тока от 0° до 36°, от 99° до 216° и от 279° до 360°. Для реле производной тока, соответственно, от 0° до 63°, от 117° до 243° и от 297° до 360°.

Выводы

Проведенные вычисления показали, что к собственному времени срабатывания защиты по di/dt и по i необходимо добавлять до 13,5 мс – в зависимости от кратности уставки – при оценке фактического быстродействия защиты.

При малых кратностях тока уставки к току КЗ при α, близком к 0°, 180° и 360°, возможна задержка срабатывания реле по производной тока большая, чем для реле тока, как это видно на графике 3.

Указанные особенности следует учитывать не только для защит по производной тока, но и для других быстродействующих защит, реагирующих на мгновенные значения тока (например, дифференциально-токовые защиты).

Для уменьшения зависимости времени распознавания КЗ от фазы включения напряжения необходимо использовать датчики во всех трех фазах.

Литература:

1. Отраслевой стандарт. Судовые электроэнергетические системы. Методы расчета переходных процессов. ОСТ 5Р.6181–81.

2. Отраслевой стандарт. Судовые электроэнергетические системы переменного тока. Правила выбора и методы расчета электрической защиты. ОСТ 5Р.6152–2003. Стр. 146–148.

Пивоваров Павел Николаевич – родился в 1990 году. В 2013 году окончил магистратуру Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова по профилю «Автоматика энергосистем». Опыт работы – 6 лет. В настоящее время работает научным сотрудником отдела устройств защиты и автоматики ОАО «ВНИИР-Прогресс».

Бочкарев Вадим Наркисович – в 1961 году окончил Уральский политехнический институт по специальности «Электрические машины и аппараты». Кандидат технических наук. В 1989 году защитил диссертацию на тему: «Повышение эффективности токовых защит от коротких замыканий в корабельных электроэнергетических системах». В настоящее время работает главным конструктором по морской технике ОАО «ВНИИР-Прогресс», является вице-президентом Академии Электротехнических наук Чувашской Республики. Заслуженный изобретатель РФ. Имеет 132 научные публикации, в числе которых 60 патентов и авторских свидетельств на изобретения.

Pivovarov Pavel – was born in 1990. In 2013 he graduated from the Chuvash State University named after I.N. Ulyanov with a master's gedree in «Power System Automation» profile. He was 6 years of work experience. At present he works as researcher of the department of protection and automation devices in JSC «VNIIR-Progress».

Bochkaryev Vadim – in 1961 graduated from Uralskiy Polytechnic Institute with specialization in «Electrical cars and devices». He is a candidate of Engineering Sciences. In 1989 he defended a thesis: «Improvement of the efficiency of current protection against short circuits in marine electro energy-systems». At present he works as chief designer in marine equipment at JSC «VNIIR-Progress», vice-president in the Academy of Electrical Sciences of the Chuvash Republic. He is an honored inventor of the Russian Federation. Ha has 132 scientific publications, including 60 patents and inventor's certificates.

Синтез системы управления автономного асинхронного генератора

// Synthesis of autonomous asynchronous generator control system //

Доманов В.И., к.т.н.,
Доманов А.В., к.т.н.,
Халиуллов Д.С.,
ФГБОУ ВПО «УлГТУ», г. Ульяновск

В работе рассматривается синтез системы управления автономного асинхронного генератора с обмоткой возбуждения. Проведено описание работы такого генератора, составлена структурная схема подчиненного регулирования. Обосновывается, что передаточная функция асинхронного генератора является существенно нелинейной и зависит от колебаний нагрузки. Для повышения качества системы управления предлагается выполнить линеаризацию и с помощью упреждающей коррекции снизить чувствительность к параметрическим изменениям. Приводятся расчеты, подтверждающие эффективность принятых решений.
Ключевые слова: асинхронный генератор, обмотка возбуждения, поток, регулятор, переходный процесс, подчиненное регулирование, линеаризация, упреждающая коррекция.

The paper deals with the synthesis of autonomous asynchronous generator control system with excitation winding. A description of such a generator, a block diagram is made subordinate regulation. It is proved that the transfer function of the asynchronous generator is essentially nonlinear and depends on load fluctuations. To improve the quality control system are invited to perform the linearization and using preemptive correction to reduce the sensitivity to parametric changes. Calculations confirm the effectiveness of decisions.
Keywords: asynchronous generator, excitation winding, flow regulator, transient subordinate regulation, linearization, preemptive correction.

В настоящее время электромашинные генераторы широко используются в различных областях, в том числе на автономных объектах. При этом применяются как синхронные, так и асинхронные машины (АМ). В подавляющем большинстве случаев работа АМ в режиме генератора обеспечивается за счет включения конденсаторов [1] или другими способами без использования обмотки возбуждения (ОВ). В таком режиме работы АМ имеются недостатки, в частности возможность потери генерации [1].

В статье рассматривается синтез системы управления генераторной установкой на основе АМ с обмоткой возбуждения (АГВ). В этом случае исключаются вопросы, связанные с поддержанием частоты выходного напряжения генератора, так как она будет соответствовать частоте напряжения, подаваемого на обмотку возбуждения [2].

При подаче переменного напряжения на ОВ асинхронного генератора (АГ) протекает ток, который создает пульсирующий поток Φ_B. Этот поток, пересекая обмотки ротора, наводит ЭДС трансформации [2], создающую токи в короткозамкнутом роторе. Эти токи формируют магнитный поток ротора $\Phi_{2.1}$, направленный навстречу потоку возбуждения. При вращении обмотки ротора пересекают результирующий магнитный поток Φ_Σ

$$\Phi_\Sigma = \Phi_B - \Phi_{2.1}$$

При этом в обмотках ротора наводится ЭДС вращения, под действием которой по ротору протекают токи, создающие магнитные токи $\Phi_{2.2}$. Он наводит ЭДС в выходных обмотках генератора. На основании этого была составлена структурная схема АГВ (рис. 1).

Напряжение возбуждения поступает на звено $W_1(p)$, на выходе которого формируется ток I_B, который, поступая на звено $W_2(p)$, формирует поток Φ_B

$$W_1(p) = \frac{K_1}{T_1 p + 1};\ W_2(p) = \frac{K_2}{T_2 p + 1}$$

где K_1 и T_1 – коэффициент и постоянная времени цепи возбуждения звена;

K_2 и T_2 – коэффициент и постоянная времени звена формируемого потока. $W_3(p)$ характеризует цепь ротора АГВ

$$W_3(p) = \frac{K_3}{T_3 p + 1}$$

где K_3 и T_3 – коэффициент и постоянная времени цепи ротора.

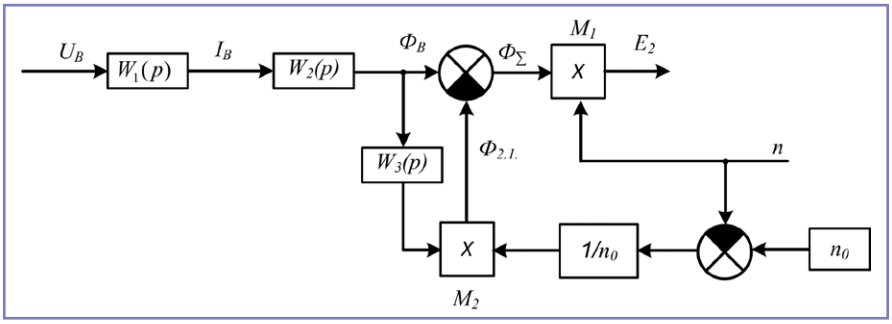


Рис. 1. Структурная схема АГВ.

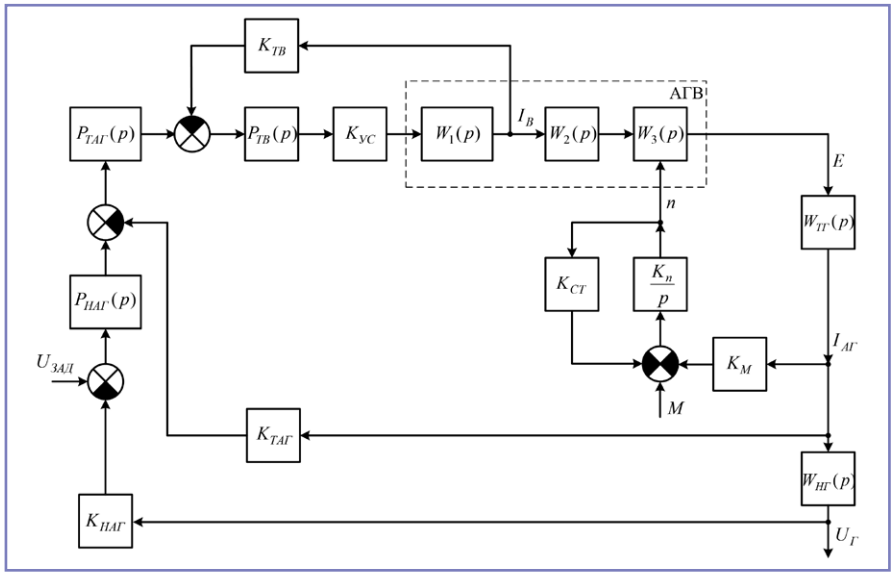


Рис. 2. Структура подчиненного регулирования АГВ.

Если n = 0, то на выходе множительного звена M_1 поток $\Phi_{2.2}$ равен нулю и, соответственно, $E_2 = 0$. При вращении ротора АГВ начинает снижаться $\Phi_{2.1}$, возрастают Φ_Σ, $\Phi_{2.2}$ и E_2.

Для стабилизации напряжения АГВ была разработана структура подчиненного регулирования [3] (рис. 2), где $K_{ТВ}$, $K_{ТАГ}$, $K_{НАГ}$ – коэффициенты обратных связей по току возбуждения, току и напряжению асинхронного генератора соответственно. $P_{ТВ}(p)$, $P_{ТАГ}(p)$, $P_{НАГ}(p)$ – регуляторы соответствующих координат

$$W_5(p) = \frac{1}{Z_\Sigma};\ Z_\Sigma = Z_{АГ} + Z_H \quad ;$$

$Z_{АГ}$ – сопротивление обмоток АГВ;
$Z_Н$ – сопротивление нагрузки

$$W_6(p) = Z_H$$

$K_{СТ}$ – коэффициент вязкого трения;
$K_М$ – коэффициент, связывающий момент сопротивления АГВ с током нагрузки.

Неизменяемая часть системы содержит также усилитель КУС, напряжение с выхода которого поступает на обмотку возбуждения. К валу АГ прикладывается внешний момент М, который может изменяться. Уравнение баланса моментов для рассматриваемой схемы имеет вид

$$J\frac{d\omega}{dt} = M - M_C - nK_{CT}$$

где J – суммарный момент инерции ротора АГ и кинематической цепи;

$M_C = I_I K_M$ – момент сопротивления, создающийся генератором при его нагружении.

Передаточная функция структурной схемы от $\Phi_в(P)$ до $E_2(P)$ имеет вид

$$W_{ФЕ}(p) = \frac{E_2(p)}{\Phi_B(p)} =$$

$$= n(p)[\Phi_B(p) - \Phi_{2.1}(p)] =$$

$$= n(p)\left[1 + W_3(p)\frac{n(p) - n_0}{n_0}\right]$$

При построении системы управления АГВ по структуре подчиненного регулирования первым рассчитывается контур регулирования тока возбуждения. Используя известную методику [3] и настраивая этот контур на технический оптимум, получаем

$$W_{KTB}(p) = \frac{1/K_{TB}}{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1} \approx$$

$$\approx \frac{1/K_{TB}}{T_{TB}p + 1}$$

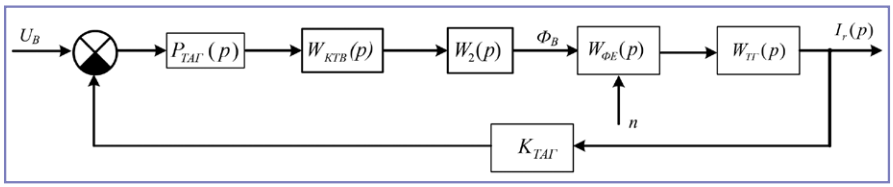


Рис. 3. Структурная схема контура тока генератора.

где $K_{ТВ}$ – коэффициент обратной связи по току возбуждения;

T_μ – сумма малых постоянных контура ТВ;

$T_{ТВ}$ – постоянная времени контура ТВ.

Структурная схема для расчета контура тока генератора приведена на рис. 3.

Контур тока АГВ оказывается нелинейным, зависящим от скорости (n) и нагрузки $Z_Н$. Для сохранения качественных показателей контура во всех режимах работы используем линеаризацию в функции скорости и упреждающую коррекцию. Передаточная функция, формирующая ток генератора $W_{ТГ}(p)$, описывается выражением

$$W_{ТГ}(p) = \frac{K_{ТГ}}{T_{ТГ}p + 1}$$

где $K_{ТГ} = \frac{1}{Z_\gamma + Z_H}$ – коэффициент передаточного звена;

$T_{ТГ}$ – постоянная времени.

Пусть $K_{ТГ}$ и $T_{ТГ}$ постоянны.

При таких условиях регулятор $P_{ТАГ}$ при настройке контура тока АГВ на технический оптимум принимает вид

$$W_{РТ}(p) = \frac{K_{ТВ}}{2T_2K_2K_TKW'_{ФЕ}(p)}\frac{T_Tp + 1}{p}$$

где $W'_{ФЕ}(p)$ – настроечное значение передаточной функции с фиксированными параметрами.

В этом случае передаточная функция замкнутого контура тока АГВ описывается выражением

$$W_{КТ}(p) = \frac{1/K_T}{\frac{W'_{ФЕ}(p)}{W_{ФЕ}(p)}2T_\Sigma p(T_\Sigma p + 1) + 1}$$

Возможны два пути настройки этого контура:

- зафиксировать параметры звена $W'_{ФЕ}(p)$ таким образом, чтобы во всех режимах работы показатель колебательности был не выше, чем при стандартной настройке;
- провести линеаризацию контура, используя сигнал по скорости вращения вала АГВ.

Первый путь более простой, но при этом параметры переходного процесса будут переменными, зависящими от режима работы, и настройка на оптимум будет соблюдаться только в одной точке. Во всех остальных случаях демпфирование в контуре регулирования будет выше оптимального.

Во втором случае качественные показатели контура тока АГВ будут оставаться постоянными, независимо от режима работы. Рассмотрим более подробно возможность линеаризации контура. Для этого необходимо сформировать компенсирующую цепь с передаточной функцией $W_{ФЕ}(p)$. Это можно сделать, создав модель структурной схемы от Φ_B до E_2 (рис. 4). Компенсирующий сигнал U_K с выхода модели подается на множительное звено, которое необходимо включить в контур регулирования тока АГВ за регулятором $W_{РТ}(p)$. При этом для сохранения масштабов сигналов в контуре регулирования необходимо:

• на множительном звене установить коэффициент передачи, равный единице;

• исключить из передаточной $W_{РТ}(p)$ звено $W'_{ФЕ}(p)$.

При этих условиях линеаризация контура позволяет получить передаточную функцию, соответствующую стандартной настройке на технический оптимум, независимо от изменения скорости вращения вала АГВ

$$W_{КТ}(p) = \frac{1/K_T}{2T_\Sigma p(T_\Sigma p + 1) + 1}$$

Для снижения чувствительности контура напряжения АГВ к изменению сопротивления нагрузки (звено $W_{ТТ}(p)$) можно использовать упреждающую коррекцию [4–6].

Контур регулирования напряжения АГВ настраивается на технический оптимум. Передаточная функция замкнутого контура $W_{КН}(p)$ принимает вид

$$W_{КН}(p)\frac{y/K_{НАГ}}{2T_\Sigma^2 p^2 + 2T_\Sigma p[(1-xy)v + xy] + y}$$

где $x = \frac{K'_{ТГ}}{K_{ТГ}}$, $y = \frac{T'_{ТГ}p + 1}{T_{ТГ}p + 1}$;

$K'_{ТГ}$ и $T'_{ТГ}$ – настроечные значения;

$K_{ТГ}$ и $T_{ТГ}$ – текущие значения;

v – коэффициент передачи упреждающего звена.

В этом случае невозможно провести линеаризацию, аналогичную примененной в контуре регулирования тока генератора. Поэтому эффективным методом снижения чувствительности к параметрическим изменениям является использование упреждающей коррекции. Передаточная функция $W_{КН}(p)$ аналогична выражению (17) в [6]. Поэтому результаты, полученные в [6], полностью соответствуют для $W_{КН}(p)$.

Проведенные исследования позволили:

• получить структуру АГВ;

• выполнить линеаризацию контура тока;

• снизить чувствительность системы к параметрическим возмущениям.

Литература:

1. Бертинов А.И. Специальные электрические машины / А.И. Бертинов, Д.А. Бут, С.Р. Мизюрин и др. – М.: Энергоатомиздат, 1988, – 522 с.

2. Волков Н.И. Электромашинные устройства автоматики / Н.И. Волков, В.П. Миловзоров. – М.: Высшая школа, 1986, – 335 с.

3. Анугин А.С. Система управления электроприводов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015, – 373 с.

4. Боровиков М.А. Расчет быстродействующих систем автоматизированного электропривода и автоматики. – Издательство Саратовского университета, 1980, – 390 с.

5. Розенвассер Е.Н. Чувствительность систем автоматического управления / Е.Н. Розенвассер, Р.М. Юсупов. – Л.: Энергия, 1960, – 228 с.

6. Доманов А.В. Синтез автономных электроприводов с низкой чувствительностью к параметрическим возмущениям / А.В. Доманов, В.И. Доманов, Н.В. Мишин // Электроника и электрооборудование транспорта, 2015, № 1. – с. 41–44.

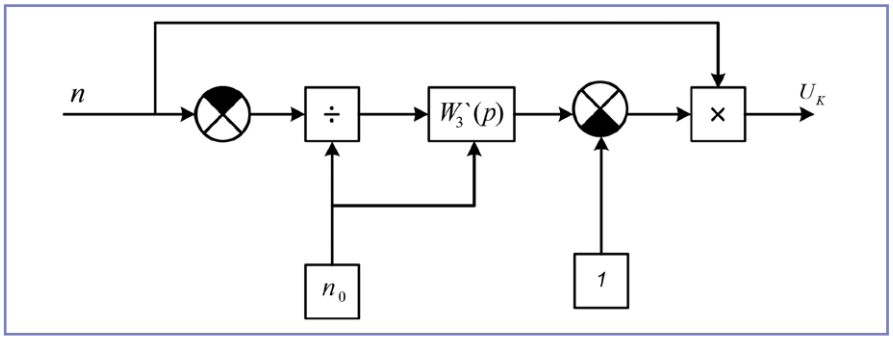


Рис. 4. Модель структурной схемы.

Доманов Виктор Иванович – родился в 1950 году. Окончил в 1972 году Ульяновский политехнический институт по специальности «Авиаприборостроение». В 1980 году защитил кандидатскую диссертацию по теме: «Методика расчета и исследования следящих систем с устройствами упреждающей коррекции для токарных станков с ЧПУ». Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» энергетического факультета УлГТУ. Имеет 144 научных труда, автор 16 изобретений.

Доманов Андрей Викторович – родился в 1976 году. Окончил в 1999 году Ульяновский государственный технический университет по специальности «Измерительно-вычислительные комплексы и системы». В 2002 году защитил кандидатскую диссертацию по теме: «Разработка и исследование электроусилителя рулевого управления легковых автомобилей на основе бесконтактных двигателей». Кандидат технических наук, доцент, директор Экспертно-аналитического центра Научно-исследовательского технологического института им. С.П. Капицы УлГУ. Имеет 107 научных трудов, автор 11 изобретений.

Халиуллов Динар Салаватович – родился в 1994 году. Окончил в 2015 году Ульяновский государственный технический университет по направлению «Электропривод и автоматика промышленных установок». Имеет 6 научных трудов, автор 1 изобретения.

Domanov Viktor – was born in 1950. In 1972 he graduated from Ulyanovsk Polytechnic Institute specializing in «Aircraft instrumentation». In 1980 has protected Ph. D. thesis by the theme «The method of calculation and research tracking systems with pre-emptive corrective devices for lathes numerically controlled». Ph. D., docent of sub-facility «Electric drives and automation of industrial installations» in Ulyanovsk State Technical University. He has 144 scientific publications, author of 16 inventions.

Domanov Andrey – was born in 1976. In 1999 he graduated from Ulyanovsk State Technical University specializing in «The measuring-computing complexes and systems». In 2002 has protected Ph. D. thesis by the theme «Development and investigation of electrical power steering of passenger cars on the basis of contactless engines». Ph. D., docent, director of Expert-Analytical Center Scientific-Research Technology Institute of Ulyanovsk State University. He has 107 scientific publications, author of 11 inventions.

Haliullov Dinar – was born in 1994. In 2015 he graduated from Ulyanovsk State Technical University specializing in «Electric drive and automation of industrial plants». He has 6 scientific publications, author of 1 invention.

ЭЭТ № 5-6 2015

Из опыта применения конструкционных термопластов в изделиях электротехники

// From experience of use of constructional thermoplastics in electrical equipment //

Иванов И.П., к.т. н.,
Моисеев С.А., Петров О.А.,
ОАО «ВНИИР-Прогресс», г. Чебоксары

Паршиков Ю.Г., д.т. н., Саморядов А.В., д.т. н.,
Сигейкин Г.И., д. хим. н.,
МЦАИ РАН, г. Москва

Приказщиков А.В., к.т. н.,
ООО «Конструкторское бюро электроаппаратуры»,
г. Чебоксары

Рассмотрены вопросы применения различных видов конструкционных пластмасс в электротехнических изделиях, проведен сравнительный анализ и выделены особенности применения термопластичных полимерных материалов в изделиях электротехники для транспорта.
Ключевые слова: пластмасса, прессматериалы, термопластичные полимеры, дугостойкость, электротехнические изделия.

Questions of application of different types of constructional plastic in electrotechnical products are considered, the comparative analysis is carried out and features of use of thermoplastic polymer materials in products for electrical transport are marked out.
Keywords: plastic, press materials, thermoplastic polymers, arc resistance, electrical equipment products.

В производстве изделий электротехнического назначения уже более 60 лет применяются прессматериалы на основе фенолоформальдегидных, мочевино-, меламиноформальдегидных (аминопласты) и ненасыщенных полиэфирных смол. Основными представителями фенолоформальдегидных прессматериалов являются однонаправленные стекловолокниты марок АГ-4С, АГ-4В, АГ-4НС (ГОСТ 20437–89), дозирующиеся стекловолокниты марок ДСВ-2 и ДСВ-4 (ГОСТ 17478–95) и фенопласты (ГОСТ 28804–90), насчитывающие более 200 марок [1]. Аминопласты представлены следующими основными марками: КФА, МФБ, МФВ, МФД, МФЕ (ГОСТ 9359–90), МФСА-1 и МФСА-2 (ТУ 2253–038–05015213–2005). Широкий марочный ассортимент материалов на основе ненасыщенных полиэфиров представлен в справочниках [1–4].

В 70-х годах прошлого века, благодаря разработкам фирмы Bayer, в Европе и США появились дозирующиеся тестообразные полимерные компаунды на основе полиэфирных ненасыщенных смол, упрочненные стекловолокном, получившие названия BMC и DMC [5]. В РФ за ними закрепилось название «Премиксы». Способность к дозированию упростила процесс их прессования и обеспечила возможность переработки высокопроизводительным методом литья под давлением. Высокая текучесть позволила получать тонкостенные детали сложной конфигурации, а низкая усадка и повышенная скорость отверждения премиксов позволили улучшить внешний вид и повысить точность размеров [5–7] при рабочем диапазоне температур от –60 до +130^{0}С.

К недостаткам премиксов следует отнести общую для всех прессматериалов неспособность к вторичной переработке и ограниченный срок хранения (3–4 месяца).

В РФ промышленное производство премиксов (ГОСТ 30095–95) начало осуществляться относительно недавно [6]. Премиксы марки DMC изготавливаются по ТУ 2253–013–00204961–01 (ОАО «Тверьстеклопластик») [7]. В последнее время в изделиях транспортного машиностроения и других отраслях промышленности РФ премиксы начинали применяться взамен прессматериалов АГ-4В и ДСВ [5].

В последнее десятилетие в связи с ужесточением требований к технологическим характеристикам пластмасс и экологическим требованиям их производства и переработки в США и странах ЕС наблюдается тенденция более широкого применения литьевых пластмасс при одновременном значительном сокращении производства прессматериалов. Данная тенденция обусловлена бурным развитием производства термопластичных полимерных материалов (ТПМ) конструкционного назначения, называемых инженерными термопластами, и их высокой технологичности: время цикла литья ТПМ составляет от 5 до 60 секунд (в зависимости от толщины детали), а литьевых прессматериалов – от 1,5 до 3,0 минут на 1 мм толщины детали. Дополнительным фактором является малый срок хранения прессматериалов, составляющий от 3 до 6 месяцев, в отличие от термопластов, сохраняющих свои свойства до переработки в течение нескольких лет.

Анализ производства и потребления прессматериалов в России показал, что их главными потребителями являются предприятия-производители изделий низковольтной и высоковольтной аппаратуры, причем общее потребление прессматериалов в РФ продолжает расти [3]. Это отклонение РФ от мировых

тенденций в части изделий электротехнического назначения можно объяснить тем, что в РФ основное развитие получили ТПМ конструкционного назначения. Они практически полностью заменили прессматериалы в производстве изделий не только транспортного назначения, но и в таких массовых производствах, как машиностроение, приборостроение, военная, специальная и бытовая техники.

За рубежом в изделиях электротехнического назначения наиболее широкое применение нашли ТПМ на основе полиамида-66 (ПА-66), полибутилентерефталата (ПБТ) и полисульфона (ПСф). Рассмотрим кратко их свойства. Материал ПА-66 сочетает в себе ударную прочность, жесткость и стойкость к ползучести, обладает низким коэффициентом трения, хорошим усталостным сопротивлением, стойкостью к истиранию и высокой стойкостью к органическим растворителям, маслам, топливам, различным консервантам. В таблице 1 приведены свойства материалов, наполненных органическими и минеральными волокнистыми, дисперсными и другими типами наполнителей самого различного назначения [10, 11, 12].

Как видно из данных таблицы 1, стеклонаполненные марки ПА-66 имеют высокие показатели прочности при разрыве ($\sigma_{рр}$), изгибающего напряжения при максимальной нагрузке (σ_f) и ударной вязкости (a_n). Высокая температура изгиба под нагрузкой 1,8 МПа ($T_{1,8}$) обеспечивает длительную работоспособность изделий при 150–160^{0}С.

Основными областями применения полиамидов являются автомобилестроение, машино- и приборостроение. Из негорючих марок ПА-66, имеющих высокие показатели электрической прочности ($E_{пр.}$), удельного объемного и поверхностного электрического сопротивлений, составляющих 10^{13}Ом·м и 10^{15}Ом соответственно, изготавливают детали для электротехнической аппаратуры управления и защиты: реле, пакетные переключатели, автоматические выключатели, автоматы защиты сети, электромагнитные контакторы и т.д., которые устанавливаются на колесной и гусеничной технике, авиационном и морском транспорте.

Таблица 1. Свойства композиций на основе полиамида ПА-66.

Характеристика материала		Содержание СТВ*, %	$\sigma_{рр}$, МПа	σ_f, МПа	a_n, кДж/м^2	$T_{1,8}$, ^{0}С	$E_{пр.}$, кВ/мм	ρ_v, Ом. м
Наименование, производитель, страна	Марка							
Ultramid® BASF, Германия	A3WG3	15	130	200	45	240	450[1)]	10^{13}
	A3W G7	35	150	210	90	245	550[1)]	10^{13}
	A3X2 G7[2)]	35	120	-	70	250	650[1)]	10^{13}
	A3X4 G7[2)]	35	130	-	65	250	600[1)]	10^{13}
Zytel® DuPont, США	70 G13HSL	13	120	-	90	240	600[1)]	10^{13}
	70G30HSL	30	195	270	82	255	400[1)]	10^{13}
	FR70G-25VO[2)]	25	125	-	45	243	325[1)]	10^{13}
Технамид® «Полипластик», Россия	А-СВ30-ЛТО	30	155	240	55	240	30	10^{12}
	А-СВ 25--ОД[2)]	25	130	160	32	245	30	10^{13}

1) Сравнительный индекс пробоя CTI, тест А (стандарт IEC 60093).
2) Негорючая марка.
* СТВ – стекловолокно.

Таблица 2. Свойства материалов на основе ПБТ [29–30, 32, 36].

Характеристика материала		Плотность, г/см^3	Содержание СТВ, %	$\sigma_{рр}$, МПа	a_n, кДж/м^2	$T_{1,8}$, ^{0}С	$E_{пр.}$, кВ/мм	Индекс пробоя[1)]
Наименование, производитель, страна	Марка							
Ultradur® BASF, Германия	B2550	1,30	-	57	н/р	65	40	500
	B4300 G4	1,45	20	115	54	205	37	300
	B4406 G4FR[2)]	1,60	20	125	50	200	40	200
	B4030 G6	1,48	30	125	80	205	36	375
	B4040 G10	1,73	50	155	69	205	36	-
Valox® GE Plastics, США (Sabic, Саудовская Аравия)	325	1,31	-	51	н/р	-	23	290[3)]
	4012	1,39	10	82	40	170	17	250
	4022	1,45	20	120	42	205	18	-
	4031	1,54	30	135	65	210	18	250
								150[3)]
Crastin® DuPont, США	S600F10 NC	1,30	-	57	н/р	50	26	600
	S600FR NC[2)]	1,46	-	65	70	65	25	225
	SK615SF NC	1,54	30	150	60	210	31	370
	SK645FR NC[2)]	1,71	30	125	53	210	28	250
Технотер® «Полипластик», Россия	А-СВ30-Т	1,53	30	140	40	200	25	350[4)]
	А-СВ30--ОДИ[2)]	1,68	30	135	44	200	22	200[4)]

1) Сравнительный индекс пробоя (стандарт IEC 60112).
2) Негорючая марка.
3) Сопротивление дуги, с (стандарт ASTM D495).
4) Контрольный индекс трекингостойкости, В (ГОСТ 27570.0).

К недостаткам ПА-66 и материалов на его основе следует отнести гигроскопичность, приводящую к снижению прочностных, диэлектрических свойств и изменению геометрических размеров деталей.

Применение ПБТ и композиций на его основе активно развивается в последние 10 лет [13]. Толчком послужило его успешное использование в электротехнике и электронике. В ПБТ совмещены высокие физико-механические и электрические свойства (таблица 1) с химической стойкостью и стабильностью размеров [11, 13]. Детали из ПБТ могут успешно работать в условиях механических, термических и электрических нагрузок. Превосходный внешний вид в сочетании с перечисленными свойствами делает ПБТ незаменимым материалом в производстве широкой номенклатуры изделий. Температура длительного использования ПБТ без изменения механических и диэлектрических свойств составляет 120^{0}С, для стеклонаполненного ПБТ – до 155^{0}С, кратковременно – до 210^{0}С [11–15].

По ассортименту и уровню характеристик отечественные материалы на основе ПБТ не уступают лучшим зарубежным аналогам (таблица 2).

Недостатком материалов на основе ПБТ является их недостаточная стойкость к щелочам, некоторым

Таблица 3. Свойства материалов на основе ПСф [10, 14–15].

Характеристика материала		Плотность, г/см^3	Содержание СТВ, %	$\sigma_р$, МПа	a_n, кДж/м^2	$T_{1,8}$, ^{0}C	$E_{пр.}$, кВ/мм	Индекс пробоя[1)]
Наименование, производитель, страна	Марка							
Udel®	P-1700	1,24	-	70	0,069[2)]	174	17	-
Solvay SP,	GF 110	1,33	10	78	0,048[2)]	179	19	-
США	GF 120	1,40	20	97	0,053[2)]	180	19	-
	GF 130	1,49	30	108	0,069[2)]	181	19	-
Radel®	R-5000	1,29	-	70	0,069[2)]	207	15	-
Solvay SP,	RG-5010	1,39	10	85	0,075[2)]	220	16	-
США	RG-555030	1,55	30	119	0,084[2)]	220	16	-
	E1010 NAT	1,37	-	90	н/р	203	37	125
	E201 G4 UN	1,53	20	130	60	222	37	125
Ultrason®	E2010 G6 UN	1,60	30	150	55	223	37	125
BASF,								
Германия	S1010 NAT	1,24	-	80	н/р	176	40	125
	S201 G4 UN	1,40	20	115	50	184	46	125
	S2010 G6 UN	1,49	30	126	40	185	45	125

1) Сравнительный индекс пробоя (стандарт IEC 60112).
2) Ударная вязкость по Изоду с надрезом, кДж/м.

Таблица 4. Свойства композиционных материалов.

Наименование показателя	АГ-4В	МФСА-1	Технотер А СВ30-ОДИ	Технамид А СВ25-ОД
Плотность, кг/м^3	1,80	-	1,68	1,56
Прочность при разрыве, МПа	-	-	135	130
Изгибающее напряжение при максимальной нагрузке, МПа	≥168	≥ 90	210	160
Модуль упругости при изгибе, МПа	22000		9500	8000
Ударная вязкость, кДж/м^2	≥69	≥ 40	44	32
Температура плавления, ^{0}C	-	-	222	260
Температура изгиба под нагрузкой 1,8 МПа, ^{0}C	280[1)]	200[1)]	200	245
Температура длительной эксплуатации, ^{0}C	160-170	130	140	140-150
Водопоглощение в воде за 24 часа, %	0,2	0,5	0,2	-
Уд. объемн. электр. сопр., Ом. см	10^{13}	≥ 10^{12}	10^{16}	10^{15}
Уд. поверхн. электр. сопр., Ом	10^{13}	≥10^{13}	-	-
Электрическая прочность, кВ/мм	≥14	≥ 10	22	30
Дугостойкость, с	-	≥ 180	-	-
Контр. индекс трекингостойкости (справочный показатель)	-	КИТ 500-0,6	200	250

1) Теплостойкость по Мартенсу.

растворителям и средствам дегазации, дезактивации и дезинфекции.

Полисульфоны имеют высокие прочностные свойства, которые зависят от строения исходного полимера (таблица 3), обладают высокой устойчивостью к термоокислительной деструкции [14, 16–17], хорошими диэлектрическими свойствами, стойки к гидролизу и действию водных растворов кислот и щелочей. Температура длительной эксплуатации изделий из ПСф составляет 160^{0}C, кратковременно – до 190^{0}C. Производимый ОАО «Институт пластмасс им. Г.С. Петрова» ПСф по комплексу свойств практически не уступает полимеру марки Udel P-1700 [18].

Области применения ПСф разнообразны и включают электронику, электротехнику, самолето- и автомобилестроение, медицинское оборудование, товары бытового назначения и упаковку [14, 17–18]. К недостаткам ПСф следует отнести низкую стойкость к ультрафиолету, высокую стоимость (2000–2500 руб./кг) и недостаточную химическую стойкость: он растворяется в полярных растворителях и разрушается эфирами, хлорированными и ароматическими углеводородами [13, 16–17].

Для экспериментальной оценки применимости ТПМ в изготовлении дугостойких деталей коммутационной аппаратуры были опробованы стеклонаполненный негорючий полибутилентерефталат марки Технотер А-СВ30-ОДИ (ТУ 2253–025–11517367–2013) и стеклонаполненный негорючий ПА-66 марки Технамид А СВ25-ОД (ТУ 2224–005–11517367–2003). Выбранные материалы серийно производятся НПП «Полипластик» (г. Москва), не дефицитны, высокотехнологичны и по стоимости вполне конкурентоспособны с прессматериалами. По уровню прочностных характеристик и температуре длительной эксплуатации они несколько уступают прессматериалу АГ-4В, но превосходят аминопласт МФСА-1 (таблица 4). По показателям удельного объемного и поверхностного электрического сопротивлений и электрической прочности Технотер и Технамид превосходят прессматериал АГ-4В и аминопласт.

Несмотря на паритетность характеристик полимерных материалов (таблица 4), собранные с изготовленными из выбранных материалов коммутационными корпусами переключатели модели ПП51–3421 выдержали все виды испытаний, за исключением испытаний на коммутационную способность: после отключения тока и погасания дуги в течение 2–3 секунд наблюдалось свечение (горение) в зоне действия дуги.

Полученный результат показывает, что свойства, приведенные в таблице 4, вероятнее всего, не являются определяющими, то есть отвечающими за работоспособность изделия, и позволяет выделить следующие особенности применения ТПМ в изделиях электротехнического назначения. Во-первых, отсутствуют четкие требования, предъявляемые к пластмассам электротехнического назначения: практически во всех источниках технической литературы [2, 5–6, 13, 19] рекомендуется для коммутационной и распределительной аппаратуры использовать материалы с теплостойкостью в пределах 200^{0}C, а все остальные требования к свойствам излагаются в общем виде (мате-

риал должен быть прочным, жестким, трудновоспламеняемым, иметь высокую атмосферостойкость, обеспечивать стабильность размеров изделия, обладать высокими диэлектрическими характеристиками, в том числе высокой дугостойкостью).

Во-вторых, из перечня свойств, регламентированных ГОСТ 25288–82 для пластмасс электроизоляционного назначения (раздел 4), определение наиболее важного для электротехники показателя – дугостойкости – обязательно только для аминопласта. По этой причине данный показатель не приводится для всех ТПМ и прессматериалов АГ-4 и ДСВ не только в научно-технической литературе, но и в проспектах производителей. Ко всему прочему, определение этого и аналогичных показателей проводится в разных странах по разным методикам, сравнивать которые между собой некорректно: в России определяют дугостойкость (ГОСТ 10345.1–78), в США и Европе – сопротивление дуги (ASTM D495), сравнительный индекс пробоя (IEC60112) и сравнительный индекс пробоя CTI, тест А (IEC60093).

В-третьих, свойства пластмасс электротехнического назначения исследованы явно недостаточно, поскольку отсутствуют сведения по основным закономерностям формирования электроизоляционных свойств в зависимости от структуры используемого полимера, композиционного состава материала и их влияния на эксплуатационные характеристики электротехнической аппаратуры. Подтверждением данному утверждению является простой анализ данных таблиц 1–3, из которого следует, что влияние наполнителей и добавок на показатели дугостойкости (индекс пробоя) неоднозначно: например, стеклонаполнение снижает индекс пробоя ПБТ (таблица 2), разнонаправлено влияет на полиамиды Ultramid и Zytel (таблица 1) и не влияет на ПСф (таблица 3). Также неоднозначное влияние оказывает введение негорючих и модифицирующих добавок.

Выводы

Изложенное выше позволяет сделать следующие выводы.

1. Основной тенденцией в разработке и производстве изделий электротехники и электроники в США и странах ЕС, по данным научно-технической и патентной литературы, является широкое применение высокотехнологичных литьевых инженерных и высокотермостойких термопластов взамен прессматериалов, что существенно улучшает технико-экономические показатели и повышает культуру производства.

2. Проведены экспериментальные исследования выпускаемых в РФ стеклонаполненных негорючих литьевых пластмасс электротехнического назначения на основе полиамида-66 и полибутилентерефталата и установлено, что изделия электротехнического назначения с коммутационными корпусами из указанных пластмасс не обеспечивают требуемой дугостойкости и коммутационной способности.

3. Применение ТПМ в изготовлении дугостойких деталей является актуальной научно-технической задачей, для решения которой необходимо проведение широких исследований по основным закономерностям формирования электроизоляционных свойств в зависимости от структуры используемого полимера, композиционного состава материала и их влияния на эксплуатационные характеристики электротехнической аппаратуры. Отсутствие в ГОСТе 25288–82 требования определения показателя «Дугостойкость» для ТПМ и недостаточная изученность свойств пластмасс электротехнического назначения осложняют решение данной задачи.

Литература:

1. Справочник по пластическим массам / Под ред. Катаева В.М., Попова В.А., Сажина Б.И. – М.: Химия, 1975. – Т. 2. – 568 с.
2. Технические свойства полимерных материалов / Под ред. Крыжановского В.К. – СПб.: Профессия, 2005. – 248 с.
3. Обзор рынка прессматериалов на основе термореактивных связуюших в России / Сайт megaresearch.ru.
4. Справочник по пластическим массам / Под ред. Гарбара М.И., Катаева В.М., Акутина М.С. – М.: Химия, 1969. – Т. 2. – 520 с.
5. Новая жизнь реактопластов // Пластикс. – 2007. – № 1–2 (47–48) / Сайт ExpoElectro.ru.
6. Полимерные композиционные материалы. Достоинства, проверенные практикой / Сайт expoelectro.ru.
7. Полиэфирные премиксы / Сайт ruscompozit.com.
8. Основные направления развития композиционных термопластичных материалов. – М.: Химия, 1988. – 48 с.
9. Калинчев Э.Л., Саковцева М.Б. Выбор пластмасс для изготовления и эксплуатации изделий. – Л.: Химия, 1987. – 416 с.
10. BASF Plastics / Сайт www.plasticsportal.com/ultramid.
11. Марочный ассортимент композиционных материалов. Таблицы свойств. – М.: НПП «Полипластик», 2014. – 44 с.
12. Семейство продуктов Zytel / Сайт www.dupont.com.
13. Дариенко И.Н. Применение современных конструкционных полимеров в машиностроении // Экспертный союз. – 2012. – № 3 / Сайт unionexpert.ru.
14. Барвинский И.А., Барвинская И.Е. Справочник по литьевым термопластичным материалам / Сайт barvinsky.ru.
15. Пластинфо. База полимеров / Сайт plastinfo.ru.
16. Бюллер К.-У. Тепло- и термостойкие полимеры. – М.: Химия, 1984. – 1056 с.
17. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. – СПб.: Профессия, 2006. – 624 с.
18. Пексимов О.Е., Балабанова В.А., Динзбург И.Л., Казаков С.И. Исследование эксплуатационных свойств теплостойких полисульфонов // Технологии и материалы для экстремальных условий (термопласты конструкционного назначения): 9-я Всероссийская научная конференция. Туапсе. 8–13 сентября 2014 г. – Туапсе, 2014. – С. 89–95.
19. Современные дугостойкие и теплостойкие электроизоляционные материалы для электротехнической промышленности / Сайт rosizolit.ru.

Иванов Иван Петрович – в 1970 году окончил электротехнический факультет Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова. Кандидат технических наук, имеет ученое звание «Старший научный сотрудник». В 1978 году защитил диссертацию по теме: «Исследование и расчет магнитных систем герконов повышенной мощности». В настоящее время работает заместителем генерального директора ОАО «ВНИИР-Прогресс».

Моисеев Сергей Алексеевич – в 2001 году окончил электротехнический факультет Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова. В настоящее время работает заместителем генерального директора ОАО «ВНИИР-Прогресс».

Паршиков Юрий Григорьевич – в 1996 году окончил инженерный факультет Военно-инженерной академии. Доктор технических наук, доцент. В 2011 году защитил диссертацию по спецтеме. В настоящее время работает директором МЦАИ РАН.

Петров Олег Александрович – в 1997 году окончил электротехнический факультет Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова. В настоящее время работает заведующим лабораторией ОАО «ВНИИР-Прогресс».

Приказщиков Александр Викторович – в 2007 году окончил электротехнический факультет Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова. Кандидат технических наук. В 2011 году защитил диссертацию по теме: «Моделирование клапанных электромагнитов и усовершенствование методик их проектного расчета». В настоящее время работает генеральным директором ООО «Конструкторское бюро электроаппаратуры».

Саморядов Александр Владимирович – в 1975 году окончил органический факультет Московского химико-технологического института имени Д.И. Менделеева. Доктор технических наук. В 2007 году защитил диссертацию по спецтеме. В настоящее время работает главным научным сотрудником МЦАИ РАН.

Сигейкин Геннадий Иванович – в 1970 году окончил инженерный факультет Военной Краснознаменной академии химической защиты. Доктор химических наук, имеет ученое звание «Старший научный сотрудник». В настоящее время работает научным сотрудником МЦАИ РАН.

Ivanov Ivan – in 1970 graduated from electrical engineering faculty of the Chuvash State University named after I.N. Ulyanov. He is a Candidate of Engineering Sciences, has a degree of senior scientist. In 1978 he defended a thesis on the subject: «Research and calculation of increased power magnetically operated sealed switch systems». At present he works as deputy general manager in «VNIIR-Progress» JSC.

Moiseyev Sergey – in 2001 graduated from electrical engineering faculty of the Chuvash State University named after I.N. Ulyanov. At present he works as deputy general manager in «VNIIR-Progress» JSC.

Parshikov Yuriy – in 1996 graduated from engineering faculty of the Military-engineer academy. He is a Doctor of Engineering, docent. In 2011 he defended a thesis on the specialized topic. At present he works as director of MZAI RAN.

Petrov Oleg – in 1997 graduated from electrical engineering faculty of the Chuvash State University named after I.N. Ulyanov. At present he works as head of laboratory in «VNIIR-Progress» JSC.

Prikazshchikov Alexander – in 2007 graduated from electrical engineering faculty of the Chuvash State University named after I.N. Ulyanov. He is a Candidate of Engineering Sciences. In 2011 he defended a thesis on the subject: «Modelling of valve electromagnets and improvement of methods of their design calculation». At present he works as General Manager of «Design bureau of electric equipment».

Samoryadov Alexander – in 1975 he graduated from organic department of Moscow Institute of Chemical Technology named after D.I. Mendeleev. He is a Doctor of Engineering Sciences. In 2007 he defended a thesis on the specialized subject. At present he works as chief research associate in ICAS of Russian Academy of Sciences.

Sigeykin Gennadiy – in 1970 he graduated from engineering faculty of Military Red banner Academy of chemical defense. He is a Doctor of chemical Sciences, his academic title is chief research associate. At present he works as research associate in ICAS of Russian Academy of Sciences.

Ранжирование проблем качества автомобилей в эксплуатации и определение наименее надежных элементов системы электрооборудования

// Arranging of car quality problems in operation and determination of least reliable components of the electric equipment system //

Козловский В.Н., д.т. н.,
СамГТУ, г. Самара

Афиногентова Н.В., к.т. н.,
ПВГУС, г. Тольятти

Родин Н.Г.,
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва

В работе представлены результаты разработки и реализации методики ранжирования проблем качества автомобилей в эксплуатации в целом, определение наименее надежной системы автомобилей – системы электрооборудования, а также наименее надежных элементов данной системы.
Ключевые слова: качество, надежность, ремонтопригодность, удовлетворенность потребителей, автомобиль, система электрооборудования.

The work describes development and implementation results of arranging methods of car quality problems in operation in whole, determination of least reliable automobile system – electric equipment system as well as least reliable components of this system.
Keywords: quality, reliability, serviceability, customer satisfaction, car, electric equipment system.

Оценка эффективности качества автомобилей должна интегрировать в себе критерии, связанные с надежностью, через показатели безотказности и ремонтопригодности. Данное утверждение актуально практически для всех этапов жизненного цикла продукции, тем более, что на практике зачастую конструкторская ошибка проектирования в эксплуатации обходится в десятки раз дороже, чем ошибка производственная. Иными словами, для обеспечения хороших показателей безотказности автомобилей в эксплуатации, кроме всего прочего, необходимо создать систему эффективного ранжирования проблем на этапах проектирования, производства и эксплуатации. Такая система, с одной стороны, позволит оперативно вскрывать и решать текущие проблемы качества, а с другой – обеспечивать создание перспективного задела решенных проблем, который создаст фундамент для улучшения качества и конкурентоспособности автомобилей в целом [2, 3].

Рассматривая современные высокотехнологичные продукты машиностроения, к числу которых относится автомобиль, можно выделить несколько проблемных вопросов, которые должны быть отражены при решении задачи, связанной с разработкой методологии ранжирования отказов. Во-первых, современный автомобиль состоит из десятков тысяч деталей, узлов и агрегатов, что требует формализации перечня отказов через стандартизированный кодификатор. Во-вторых, устранение отказов, возникших в сложном техническом объекте, должно быть нормировано с точки зрения трудоемкости и затрат. В-третьих, компания-автопроизводитель должна наладить системную практику получения данных о качестве продукции в процессе проектирования, производства и эксплуатации. Решение перечисленных проблем в современной практике осуществляется путем разработки корпоративных информационных систем, в которые в виде электронных каталогов заносятся соответствующие параметры. Наиболее сложным является решение третьей проблемы, поскольку в данном случае требуется организовать систему постоянного потока данных о проблемах качества продукции в действующем производстве и в эксплуатации, который обеспечивает необходимый информационный объем для проведения мониторинга эффективности качества (рис. 1). Разработка и реализация организационно-технических мероприятий, решающих выделенные проблемы, – это один из основных приоритетов компаний в деле создания и совершенствования корпоративной системы менеджмента качества. Именно на данном этапе встает актуальная задача, связанная с созданием и внедрением в практику инструментария управления данными, который обеспечивает быстроту и полноту вскрытия проблем качества продукции с позиций безотказности и ремонтопригодности.

До недавнего времени в практике многих российских компаний при ранжировании отказов, по сути, учитывался один параметр – частота или приведенный, например, к гарантийному парку, уровень отказов по определенному коду кодификатора [1, 2]. При этом экономический аспект, связанный с затратами на устранение отказа в условиях предприятий фирменного автосервиса, считался второстепенным. Однако конкурентная среда, в условиях которой сегодня работают национальные автопроизводители, предопределила необходимость многофакторного исследования проблем качества и надежности исходя из уровня безотказности и денежного эквивалента трудоемкости устранения отказов машиностроительной продукции [7].

Таблица 1. Стабильность проявления проблем качества.

Длительность проявления, мес.	Величина перечня	Кол-во проявленных проблем	Затраты на устранение, руб.	Среднее количество проявлений	Процент от перечня	Нарастающий процент от перечня	Процент от количества дефектов	Процент от затрат
1	300	350	372 210	1,2	20,3	20,3	0,4	0,4
2	177	468	504 716	2,6	12,0	32,2	0,5	0,6
3	130	655	897 431	5,0	8,8	41,0	0,7	1,1
4	168	1 312	1 190 105	7,8	11,4	52,4	1,4	1,4
5	140	2 280	3 490 810	16,3	9,5	61,8	2,4	4,2
6	565	88 010	76 763 223	155,8	38,2	100,0	94,6	92,2

В настоящее время активно развивается методология многофакторного исследования критериев эффективности качества продукции в решении задачи ранжирования проблем [5, 10, 12, 13]. Именно поэтому в представленной работе предлагается методика вскрытия ключевых проблем качества высокотехнологичной продукции машиностроения, ориентированная на предприятия массового производства, реализация которой в виде программных кодов обеспечивает рост эффективности аналитических процессов управления качеством [9].

Целью данного исследования является разработка методики ранжирования проблем качества высокотехнологичной продукции машиностроения в массовом производстве с реализацией разработанных алгоритмов и программных комплексов, обеспечивающих эффективный процесс мониторинга качества продукции в практике крупного автопроизводителя. Кроме того, целями работы являются вскрытие ключевых проблем качества и надежности современных автомобилей и определение системы автомобиля с наихудшими показателями надежности.

Анализ спектра проблем в области качества высокотехнологичной продукции машиностроения показывает, что как его величина, так и состав не являются постоянными для различных месяцев выпуска. Часть проблем постоянна, то есть они появляются на автомобилях всех (или практически всех) месяцев выпуска. Другие характерны только для автомобилей данного или нескольких месяцев выпуска (например, в определенный сезон года, от одной поставляемой партии и т.п.) и не встречаются на других автомобилях [3, 4, 5, 6].

Для решения задачи определения стабильности проявления проблем рассмотрим количество месяцев выпуска, в которых проявлялась каждая из проблем, на примере данных из гарантии одного из ведущих автопроизводителей России за 2014 г. (таблица 1).

Как видно из таблицы, в перечне присутствуют постоянные проблемы, проявляющиеся на автомобилях всех (шести) анализируемых месяцев выпуска. Доля таких проблем составляет более 38% от величины полного перечня.

Из вышеизложенного следует, что для анализа проблем с целью применения к причинам корректирующих действий нет необходимости исследовать их все. Достаточно взять только постоянные, так как на них приходится 94,6% всех проявлений и 92,2% всех затрат на устранение проблем в гарантии.

Практика показывает, что для проявления проблем в период гарантийной эксплуатации требуется время, связанное как с длительностью поступления автомобиля к потребителю (доставка автомобиля до дилера, покупка), так и с началом и интенсивностью фактической эксплуатации (разной для различных потребителей). Таким образом, получить наиболее полную информацию об эксплуатации автомобиля в гарантийный период возможно не ранее чем через 30 месяцев после его выпуска. Естественно, что планирование и применение корректирующих действий к этому моменту становятся совсем не актуальными. Поэтому предлагается рассматривать проблемы, проявляющиеся на автомобилях только за определенный (укороченный) период эксплуатации (количество полных месяцев, прошедших с даты продажи до даты предъявления дефекта). В качестве периода эксплуатации взяты 6 месяцев, так как за этот период проявляется основная часть дефектов, определяющих основную часть затрат. За шесть месяцев эксплуатации проявляются 70% дефектов (рис. 1а) гарантийной

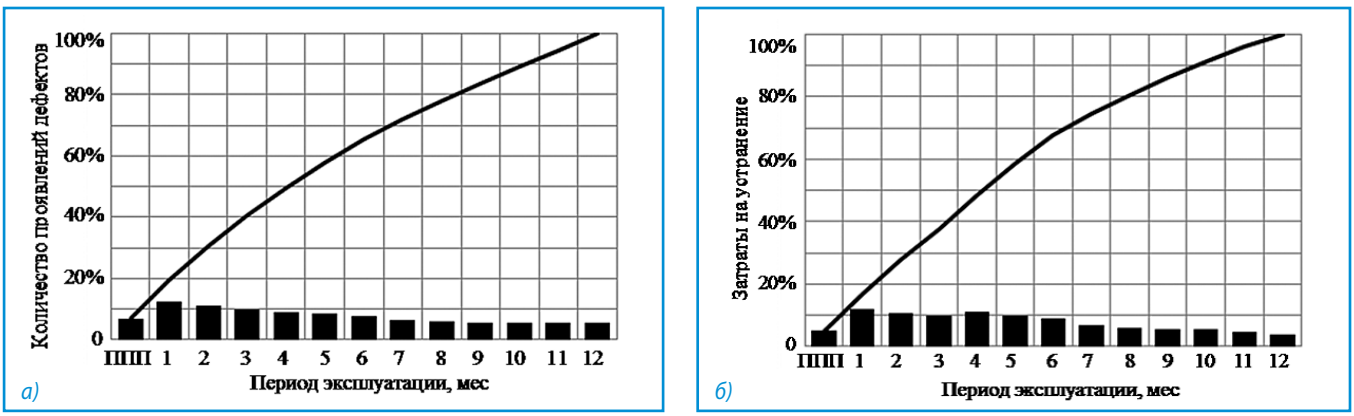


Рис. 1. Количество проявлений проблем качества (а) и затраты на их устранение (б) в зависимости от периода эксплуатации.

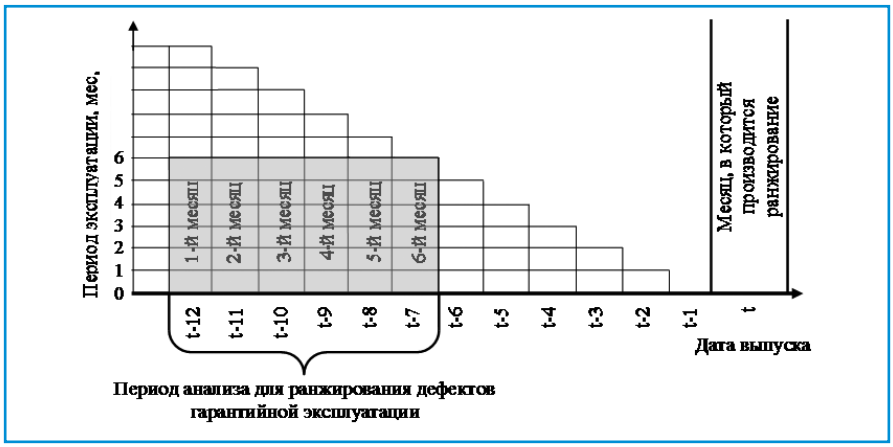


Рис. 2. Определение периода анализа для ранжирования дефектов гарантийной эксплуатации.

эксплуатации (при одногодичной гарантии). Затраты на их устранение также составляют около 70% от общих затрат (рис. 1б) за период гарантийной эксплуатации.

Выбор длительности периода анализа определяется только исходя из целей ранжирования проблем. При этом не рекомендуется брать длительность периода анализа менее трех месяцев, так как анализ таких линейных трендов не имеет смысла (через две точки можно провести только одну прямую). Рассмотрение слишком длинных периодов анализа и, соответственно, линий тренда параметров проблем может существенно исказить ситуацию, так как происходит значительный «уход в прошлое». В качестве периода анализа рассматривается период, равный 6 месяцам.

Начало (конец) периода анализа для ранжирования проблем гарантийной эксплуатации тесно связано с длительностью периода эксплуатации, так как необходимо обеспечить одинаковые (по длительности) условия эксплуатации автомобилей всех анализируемых месяцев выпуска [12]. Схема выбора периода анализа для ранжирования проблем качества в гарантийной эксплуатации при выбранном периоде эксплуатации, равном 6 месяцам, приведена на рис. 2.

Каждая проблема в области качества характеризуется набором элементарных показателей: частотой возникновения (количеством дефектов на один выпущенный автомобиль), значимостью (затратами или трудоемкостью устранения), трендом частоты возникновения [1]. Для преобразования значений различных элементарных показателей проблемы в сопоставимые (безразмерные) единицы производится их перевод в ранги с помощью шкал. Ранг показателя проблемы представляет собой результат сопоставления значения элементарного показателя с его граничными значениями (например, минимальным и максимальным). После того как элементарные значения показателей проблемы переведены в соответствующие ранги, производится их свертка в комплексный показатель – приоритетное число риска (ПЧР).

Как показывает практика, ранжирование проблем качества только по одному признаку (например, массовости или затратам) не является эффективным. Проводить корректирующие действия необходимо как для массовых, но малозначительных, так и для более редких, но значимых (дорогостоящих) дефектов, несоответствий или отказов (рис. 3, 4). Ранжирование проблем качества необходимо производить ежемесячно. Месяц, в котором производится ранжирование, называется расчетным месяцем.

Для определения приоритета устранения той или иной проблемы необходим комплексный показатель, включающий как минимум оценку массовости и оценку значимости (рис. 5).

Для каждой i-й проблемы рассчитывается количество ее проявлений на автомобилях, выпущенных в каждом месяце периода анализа D^i_1, D^i_2,…, D^i_N (N) – количество месяцев периода анализа влияния сезонности.

Для каждой проблемы вычисляется частота возникновения в каждом

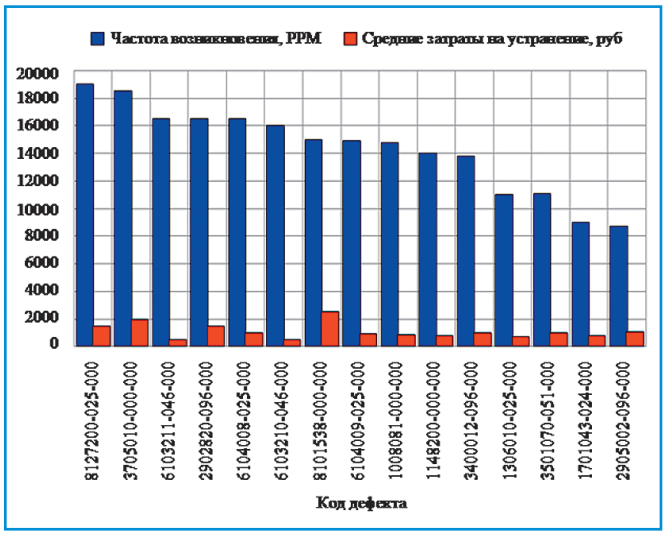


Рис. 3. Ранжирование проблем качества автомобилей в эксплуатации по частоте возникновения дефектов.

Рис. 4. Ранжирование проблем качества автомобилей в гарантийной эксплуатации по средним затратам на их устранение.

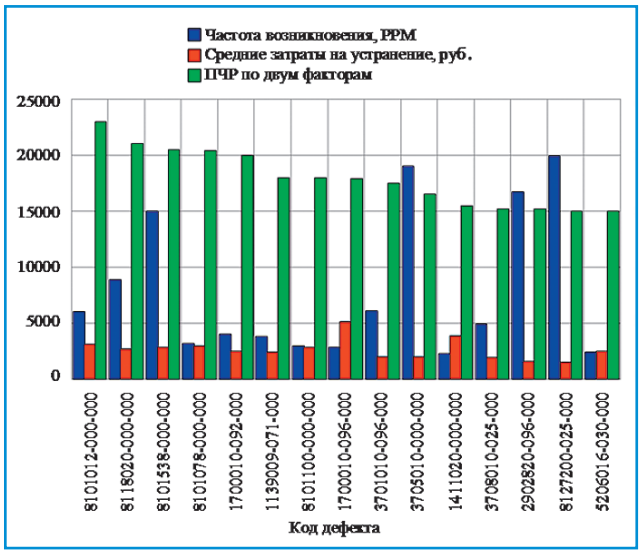


Рис. 5. Ранжирование проблем качества автомобилей по совокупности двух факторов: частоте возникновения и средним затратам на устранение.

месяце анализа по формуле

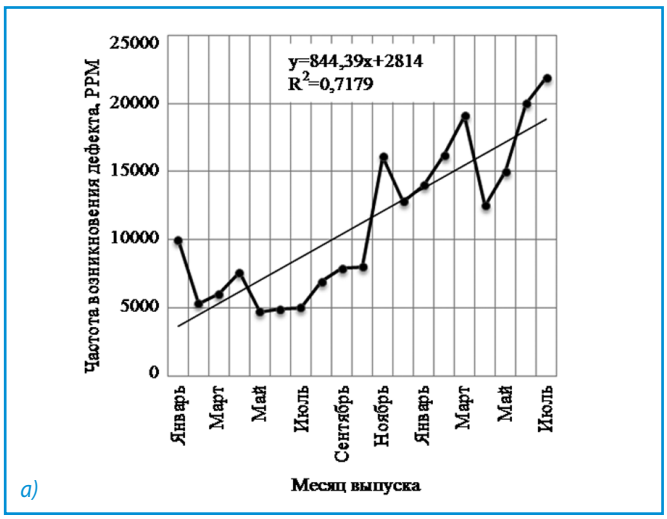
$$\bar{d}_n^i = \frac{D_n^i}{V_n} \cdot 10^6 \quad (1)$$

где n – порядковый номер месяца анализа влияния сезонности $(n = \overline{1,N})$,

V_n – количество автомобилей, выпущенных в каждом месяце.

Также в последнее время на первый план выходит задача наискорейшего обнаружения проблем, вероятность проявления которых на автомобиле растет (рис. 6). Поэтому для выделения проблем качества, причины которых необходимо устранить в первую очередь, предлагается также учитывать тренд частоты возникновения или тенденции изменения (роста или снижения) вероятности проявления.

Проявление некоторых проблем подвержено влиянию сезонных факторов (рис. 7), таких как различная интенсивность эксплуатации автомобилей, различные задержки продаж автомобилей (разница между датами выпуска и продажи автомобиля) и т.п. Вероятность проявления таких дефектов изменяется периодически (или описывается гармонической функцией). Следовательно, оценивание тенденций изменения проблем будет значительно зависеть от периода года, в который проводится анализ [9, 10, 11].



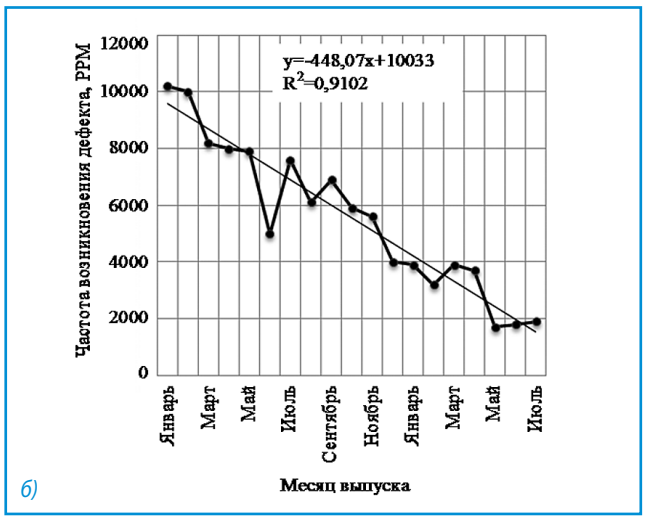
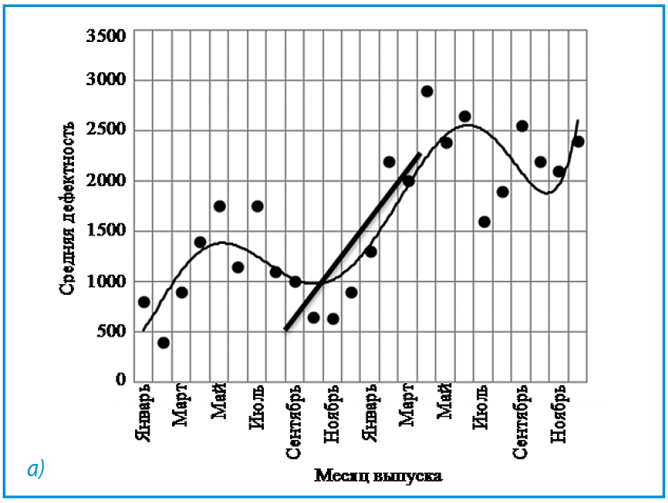


Рис. 6. Динамика частоты возникновения проблем качества: «растущая» 8127200–025–000 (а) и «снижающаяся» 1700010–096–000 (б).



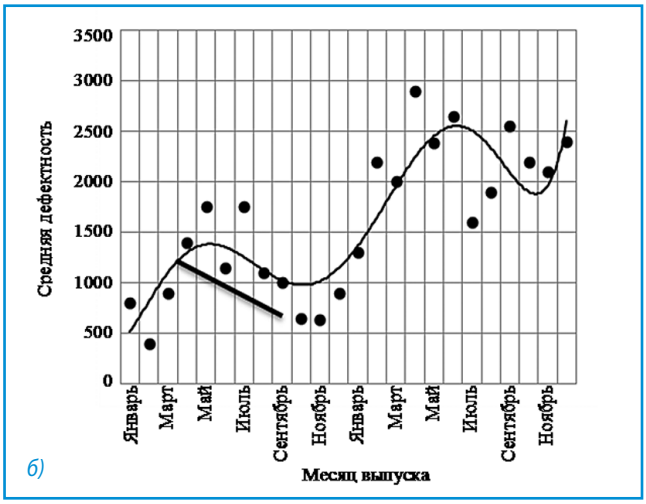


Рис. 7. Иллюстрация влияния сезонности (дефект 6105013–056–001): а) – линейный тренд растущего уровня дефектности; б) – линейный тренд снижающегося уровня дефектности.

Для снижения влияния сезонных факторов на результаты ранжирования необходимо проанализировать наличие сезонной составляющей во временном ряде, описывающем поведение частоты проявления дефекта, и, в случае ее значимости, провести коррекции с целью снижения влияния сезонности. Необходимо отметить, что сезонность может оказывать влияние не только на частоту проявления дефектов, но и на затраты. В случае необходимости можно провести аналогичные исследования для затрат.

Для всех рассматриваемых проблем качества продукции вычисляются параметры линии тренда частоты возникновения дефекта b^i и k^i, которые определяются по формулам

$$b^i = \frac{\left(\sum_{n=1}^{N} n^2\right)\cdot\left(\sum_{n=1}^{N} \bar{d}_n^i\right) - \left(\sum_{n=1}^{N} n\right)\cdot\left(\sum_{n=1}^{N} n\cdot\bar{d}_n^i\right)}{N\cdot\left(\sum_{n=1}^{N} n^2\right) - \left(\sum_{n=1}^{N} n\right)^2} \quad (2)$$

$$k^i = \frac{N\cdot\left(\sum_{n=1}^{N} n\cdot\bar{d}_n^i\right) - \left(\sum_{n=1}^{N} n\right)\cdot\left(\sum_{n=1}^{N} \bar{d}_n^i\right)}{N\cdot\left(\sum_{n=1}^{N} n^2\right) - \left(\sum_{n=1}^{N} n\right)^2} \quad (3)$$

Определение «остатков» после линейного приближения проводится по формуле

$$\bar{o}_n^i = \bar{d}_n^i - b^i - k^i n,\ n = \overline{1,N}, \quad (4)$$

Для полученного ряда «остатков» по каждому дефекту определяются параметры гармонического тренда: амплитуда α^i и начальная фаза τ_0^i по следующему алгоритму.

Для шести возможных значений начальной фазы $\tau = \overline{0,5}$ вычисляются предполагаемые амплитуды $a_0^i,\ldots, a_5^i$ гармонического тренда по формуле

$$a_\tau^i = \frac{\sum_{n=1}^{N}\left[\bar{o}_n^i\cdot\sin\left(\frac{\pi}{6}(n+\tau)\right)\right]}{\sum_{n=1}^{N}\left[\sin\left(\frac{\pi}{6}(n+\tau)\right)\right]^2} \quad (5)$$

В качестве амплитуды гармонического тренда α^i из $a_0^i,\ldots, a_5^i$ выбирается максимальная по модулю предполагаемая амплитуда.

В качестве начальной фазы τ_0^i из $\tau = \overline{0,5}$ выбирается фаза, при которой достигается максимальная амплитуда из $a_0^i,\ldots, a_5^i$.

Таким образом, гармоническое уравнение, описывающее тенденции изменения «остатков», имеет вид

$$\tilde{o}_n^i = a^i\cdot\sin\left(\frac{\pi}{6}\left(n+\tau_0^i\right)\right),\ n = \overline{1,N} \quad (6)$$

где τ_0^i – начальная фаза, полученная с учетом поправки.

С учетом (4) и (6) уравнение, описывающее тенденции изменения частоты возникновения комбинаций линейного и гармонического трендов, имеет вид

$$\tilde{d}_n^i = b^i + k^i n + a^i\cdot\sin\left(\frac{\pi}{6}\left(n+\tau_0^i\right)\right),\ n = \overline{1,N} \quad (7)$$

Оценка качества приближения фактических значений линейным трендом рассчитывается по формуле

$$F_{ЛИН} = \sum_{n=1}^{N}\left[\bar{o}_n^i\right]^2 \quad (8)$$

Оценка качества приближения фактических значений комбинацией линейного и гармонического трендов рассчитывается по формуле

$$F_{ЛИН+ГАРМ} = \sum_{n=1}^{N}\left[\bar{d}_n^i - \tilde{d}_n^i\right]^2 \quad (9)$$

Влияние гармонической составляющей тренда (и, следовательно, влияние сезонности на частоту проявления дефекта) признается значимым, если

$$\frac{F_{ЛИН+ГАРМ}}{F_{ЛИН}} \geq 1{,}5$$

Для каждой i-й из отобранных проблем рассчитываются количество ее проявлений на автомобилях, выпущенных в каждом месяце периода анализа $D_1^i, D_2^i, D_3^i, D_4^i, D_5^i, D_6^i$; затраты на устранение проблемы Z^i за весь период анализа.

Для проблем, влияние сезонности на которые признано значимым, проводится коррекция частоты возникновения в каждом месяце периода анализа по формуле

$$\bar{d}_n^i = \bar{d}^i - a^i\cdot\sin\left(\frac{\pi}{6}\left(n+\tau_0^i+g-2\right)\right) \quad (10)$$

где α^i и τ_0^i – параметры гармонического тренда (амплитуда и начальная фаза),

g – порядковый номер первого месяца анализа в календарном году ($g = \overline{1,12}$).

Частота возникновения проблемы за весь период анализа (в PPM) рассчитывается по формуле

$$\bar{d}_n^i = \frac{D^i}{\sum_{n=1}^{6} V_n}\cdot 10^6 \quad (11)$$

где V_n – количество автомобилей, выпущенных в каждом месяце периода анализа.

Значимость проблемы в гарантийной эксплуатации оценивается как средние затраты на устранение одного проявления за период анализа по формуле

$$\bar{z}^i = \frac{Z^i}{D^i} \quad (12)$$

Тренд частоты возникновения (с учетом его значимости) определяется по формуле

$$tr^i = \frac{k^i}{b^i + k^i}\cdot\left(R^i\right)^2\cdot 100\% \quad (13)$$

где b^i и k^i – коэффициенты линии тренда частоты возникновения дефекта, которые определяются по формулам, полученным по методу наименьших квадратов

$$b^i = \frac{91\sum_{n=1}^{6}\bar{d}_n^i - 21\left(\sum_{n=1}^{6} n\cdot\bar{d}_n^i\right)}{105} \quad (14)$$

$$k^i = \frac{6\sum_{n=1}^{6} n\cdot\bar{d}_n^i - 21\sum_{n=1}^{6}\bar{d}_n^i}{105} \quad (15)$$

$(R^i)^2$ – коэффициент корреляции, рассчитываемый по формуле

$$\left(R^i\right)^2 = \frac{\left(6\sum_{n=1}^{N} n\cdot\bar{d}_n^i - 21\left(\sum_{n=1}^{N}\bar{d}_n^i\right)\right)^2}{105\cdot\left(6\sum_{n=1}^{N}\left(\bar{d}_n^i\right)^2 - \left(\sum_{n=1}^{N}\bar{d}_n^i\right)^2\right)} \quad (16)$$

Ранг частоты возникновения проблемы ($R^i_{ВОЗН}$) – балльная оценка вероятности появления проблемы качества на выпущенном автомобиле – рассчитывается по формуле

$$R^i_{ВОЗН} = \begin{cases} 10 - 9\cdot\left|1 - \dfrac{\bar{d}^i}{\bar{d}^*}\right|^s & \bar{d}^i \leq \bar{d}^* \\ 10, & \bar{d}^i > \bar{d}^* \end{cases} \quad (17)$$

где $\bar{d}^*$ – граничное значение частоты возникновения проблемы,

s – параметр функции перевода (при $s = 1$ функция перевода линейная, при $s = 2$ функция перевода квадратичная и т.д.).

Вид зависимости ранга возникновения от частоты возникновения (при $s = 4$ и $\bar{d}^* = 10\,000$ PPM) приведен на рис. 8.

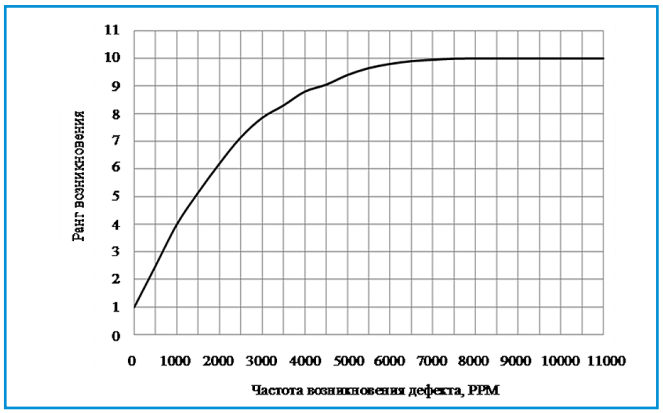


Рис. 8. Вид шкалы для ранга возникновения.

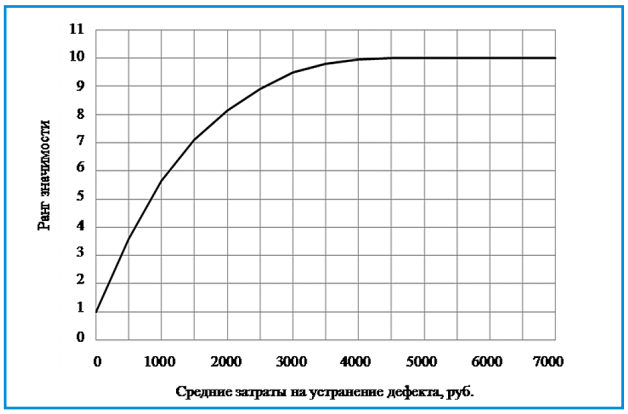


Рис. 9. Вид шкалы для ранга значимости.

Ранг значимости ($R^i_{ЗН}$) – балльная оценка затрат на устранение проблемы в гарантийной эксплуатации – рассчитывается по формуле

$$R^i_{ЗН} = \begin{cases} 10 - 9 \cdot \left| 1 - \dfrac{\bar{z}^i}{\bar{z}^*} \right|^s, & \bar{z}^i \le \bar{z}^* \\ 10, & \bar{z}^i > \bar{z}^* \end{cases} \quad (18)$$

где $\bar{z}^*$ – граничное значение средних затрат на устранение одного проявления проблемы,

s – параметр функции перевода.

Вид зависимости ранга значимости от средних затрат на устранение проблемы (при s = 4 и $\bar{z}^*$ = 6 000 руб.) приведен на рис. 9.

Ранг тренда ($R^i_{ТР}$) – балльная оценка тенденций изменения дефектности во времени – рассчитывается по формуле

$$R^i_{ЗН} = \begin{cases} 1, & tr_* < tr^i \\ 10 - 9 \cdot \left| \dfrac{tr^* - tr^i}{tr^* - tr_*} \right|^s, & tr_* \le tr^i \le tr^* \\ 10, & tr^i > tr^* \end{cases} \quad (19)$$

где tr_* и tr^* – нижнее и верхнее граничные значения трендов,

s – параметр функции перевода.

Вид зависимости ранга тренда от процента изменения частоты возникновения в месяц (при s = 1, tr_* = –20% и tr^* = 20%) приведен на рис. 10.

Приоритетное число риска проблемы (ПЧР) определяется по формуле

$$ПЧР = R_{ВОЗН} \cdot R_{ЗН} \cdot R_{ТР} \quad (20)$$

Ранжирование всех дефектов производится по убыванию значения ПЧР. Проблемы, имеющие наибольшее ПЧР, следует рассматривать для анализа их причин и планирования корректирующих действий, направленных на устранение наиболее значимых из этих причин.

Таким образом, алгоритм ранжирования проблем состоит из следующих этапов (рис. 11): получение перечня постоянных проблем качества продукции в анализируемый период; расчет значений элементарных показателей – для каждой постоянной проблемы осуществляется по формулам по всем показателям, входящим в комплексный ранг; перевод значений элементарных показателей в ранги – осуществляется при помощи шкал перевода; свертка элементарных рангов в комплексный – ПЧР; ранжирование проблем по ПЧР и выбор объектов для корректирующих действий.

В таблице 2 приведены результаты ранжирования проблем качества автомобилей в гарантийной эксплуатации одного из ведущих брендов России за 2014 г.

Результаты ранжирования проблем качества современного автомобиля (таблица 2) показывают, что наиболее существенный вклад в надежность транспортного средства имеет система электрооборудования. Статистические параметры отказов элементов системы электрооборудования, представленные в таблице 2 (выделены курсивом), показывают:

- в первой двадцатке проблем надежности девять проблем относятся к системе электрооборудования;
- наиболее существенное число проблем просматривается по позиции «Генератор» (3701010);
- по частоте возникновения отказов элементы системы электрооборудования занимают первое место;
- наиболее весомые совокупные затраты по устранению отказов в га-

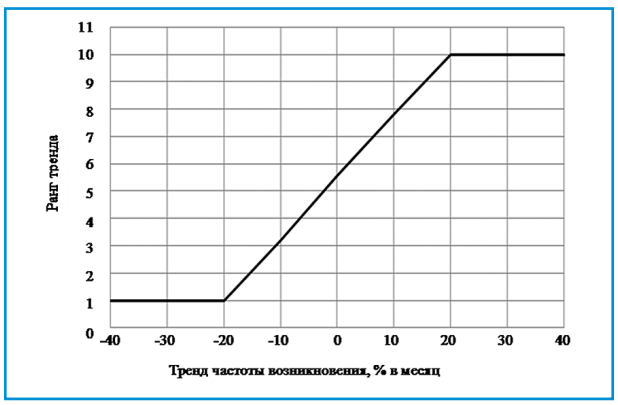


Рис. 10. Вид шкалы для ранга тренда.

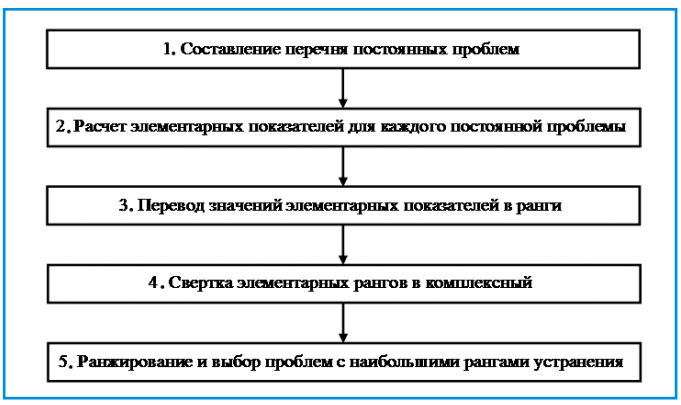


Рис. 11. Общая схема ранжирования проблем.

Таблица 2. Результаты ранжирования проблем качества.

№ п/п	Код и наименование проблемы качества	Частота возникновения	Затраты	Тренд	Ранг возникновения	Ранг значимости	Ранг тренда	ПЧР
1	3701010-096-000 Шум при работе генератора	6 253	1 568	-0,03	9,8	7,3	5,5	395
2	1700010-092-000 Затруднено переключение передач	4 125	2 468	-4,03	8,9	8,9	4,6	366
3	8118020-000-000	8 982	2 076	-6,39	10,0	3,4	4,1	339
4	1411020-000-000	1 998	3 746	-0,19	6,3	9,8	5,5	338
5	8101538-000-000 Дефект заслонки управления отопителем	15121	1 960	-6,41	10,0	8,2	4,1	331
6	8101078-000-000 Дефект электродвигателя с вентилятором	3 573	3 191	-6,87	8,5	9,6	4,0	320
7	3705010-000-000	19 068	1 370	-3,69	10,0	6,8	4,7	318
8	1008081-000-000	14407	538	10,99	10,0	3,8	8,0	305
9	3701051-000-000	2 664	1 605	0,00	7,4	7,4	5,5	301
10	3701010-145-000	2 518	1 622	0,00	7,2	7,5	5,5	294
11	5604514-227-000	633	2 822	80,34	3,1	9,3	10,0	286
12	1700010-053-000	1 705	5 026	-2,37	5,7	10,0	5,0	285
13	8101100-000-000 Дефект заслонки канала отопителя	3 053	2 747	-7,08	7,9	9,2	3,9	285
14	3708010-025-000	4 661	1 306	-3,91	9,3	6,6	4,6	284
15	1701043-024-000	9 469	845	-0,01	10,0	5,1	5,5	280
16	3705040-000-000	6 058	315	43,92	9,8	2,7	10,0	268
17	3701010-179-002	2 258	1 589	-0,67	6,8	7,4	5,4	267
18	1139009-071-000	3 638	2201	-8,89	8,5	8,6	3,5	255
19	5206016-030000 Разрушено ветровое стекло	2 209	2 437	-5,38	6,7	8,9	4,3	255
20	2215011-096-000 Шум левого привода передних колес	2 550	1 901	-5,96	7,2	8,0	4,2	242

рантии соответствуют системе электрооборудования.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Таким образом, в результате разработки и реализации методики ранжирования проблем качества высокотехнологичной продукции машиностроения получен комплексный программно-аналитический инструмент определения ключевых дефектов, несоответствий или отказов, которые наиболее существенно влияют на конкурентоспособность продукции. В качестве фундамента ранжирования выбраны два показателя, определяющих частоту возникновения и затраты на устранения проблем.

Реализация разработанной методики ранжирования проблем качества на практике обеспечивает возможность быстрого и объективного поиска наиболее важных проблем в области качества, что создает предпосылки для разработки и реализации глобальных корпоративных программ повышения конкурентоспособности продукции.

Литература:

1. Брандт З. Анализ данных. Статистические и вычислительные методы для научных работников и инженеров [Текст]: [пер. с англ.] / З. Брандт – М.: Мир, 2003. – 686 с.
2. Годлевский В.Е., Плотников А.Н., Юнак Г.Л. Применение статистических методов в автомобилестроении / Под ред. Васильчука А.В. – Самара: ГП «Перспектива», 2003. – 196 с.
3. Годлевский В.Е., Юнак Г.Л. Менеджмент качества в автомобилестроении: монография / Под ред. Васильчука А.В. – Самара: ООО «Офорт»; ЗАО «Академический инжиниринговый центр», 2005. – 628 с.
4. Ватсон Г. Методология «Шесть сигм» для лидеров, или как достичь 3,4 дефекта на миллион возможностей [Текст]: [пер. с англ.] Раскина А.Л.; [под науч. ред.] Адлера Ю.П. / Г. Ватсон – М.: РИА «Стандарты и качество», 2006. – 224 с.
5. Анализ видов и последствий потенциальных отказов. FMEA. Ссылочное руководство / Пер. с англ. – Н. Новгород: ООО СМЦ «Приоритет», 2012. – 282 с.
6. Козловский В.Н. Обеспечение качества и надежности электрооборудования автомобилей: монография. – Тольятти: ГОУ ВПО «ТГУ». – 2009. – 274 с.
7. Перспективное планирование качества продукции и план управления. APQP. Ссылочное руководство / Пер. с англ. – Н. Новгород: ООО СМЦ «Приоритет», 2012. – 221 с.
8. Панюков Д.И., Заятров А.В. Многофакторное исследование качества автомобилей // Грузовик. – 2015. – № 7. – С. 3–9.
9. Панюков Д.И., Козловский В.Н. Комплекс обеспечения качества системы электрооборудования автомобилей: монография. – Saarbrucken, Palmarium Academic Publishing, AV Akademikerverland GmbH & Co., Deutschland, 2014. – 360 с.
10. Строганов В.И., Клейменов С.И. Модели аналитических исследований качества и надежности легковых автомобилей в эксплуатации // Автомобильная промышленность. – 2013. – № 9. – С. 2–6.
11. Строганов В.И., Козловский В.Н. Аналитические исследования качества автомобилей в эксплуатации: монография. – Saarbrucken, Palmarium Academic Publishing, AV Akademikerverland GmbH & Co., Deutschland, 2013. – 142 с.
12. Строганов В.И., Козловский В.Н. Инновационные методы исследования качества и надежности электромобилей и автомобилей с гибридной силовой установкой: монография. – Москва. «МАДИ», 2012. – 260 с.
13. Строганов В. И., Козловский В.Н. Обеспечение качества электромобилей и гибридов в эксплуатации: монография. – Saarbrucken, Palmarium Academic Publishing, AV Akademikerverland GmbH & Co., Deutschland, 2015. – 397 с.

Козловский Владимир Николаевич – инженер по специальности «Электрооборудование автомобилей и тракторов», в 1999 году окончил Тольяттинский политехнический институт. Доктор технических наук. В 2010 году защитил докторскую диссертацию на тему: «Обеспечение качества и надежности системы электрооборудования автомобилей». Автор более 150 научных работ, в том числе 10 монографий. В настоящее время работает заведующим кафедрой «Теоретическая и общая электротехника» Самарского государственного технического университета (СамГТУ).

Афиногентова Наталья Валентиновна – родилась в 1962 году. В 1988 году окончила Всесоюзный заочный институт текстильной и легкой промышленности по специальности «Инженер – технолог». Кандидат технических наук, доцент. В 2004 году защитила диссертацию по теме: «Исследование и разработка спецодежды для рабочих автомобильной промышленности». Опыт работы – 20 лет. В настоящее время работает заведующим кафедрой «Управление качеством и технологии в сервисе» ФГБОУ ВПО «ПВГУС». Автор 60 статей, 2 патентов.

Родин Николай Геннадьевич – родился в 1983 году. В 2005 году окончил МАДИ по специальности «Инженер по электрооборудованию автомобилей». Опыт работы – 7 лет. В настоящее время учится в аспирантуре МАДИ и является региональным руководителем развития филиалов по техническому обучению BOSH. Автор 3 научных трудов.

Kozlovskiy Vladimir – is an engineer, specialization is «Car and tractor electric equipment», in 1999 he graduated from Tolyatty Polytechnic Institute. Doctor of Engineering. In 2010 he defended a Dphil in the subject: «Quality and safety assurance of car electric equipment system». He is an author of more than 150 scientific works, including 10 monographs. At present he works as department chairman «Theoretic and general electrotechnics» at the Samarskiy State Technical Univercity (SamGTU).

Afinogentova Natalia – was born in 1962. In 1988 she graduated from All-union corresponding textile and consumer industry institute with a specialization in «Industrial engineer». She is a Candidate of Technical Sciences, docent. In 2004 she defended a thesis in the subject: «Investigation and design of workwear for factory workers of the automobile industry». Her work experience is 20 years. At present she works as head of the department «Quality management and technology in customer care» at FGBOU VPO «PVGUS». She is an author of 60 articles, 2 patents.

Rodin Nickolay – was born in 1983. In 2005 he graduated from MADI with a specialization in «Car electrical engineer». His work experience is 7 years. At present he is a post-graduate student in MADI and regional leader of affiliation development in technical training BOSH. He is an author of 3 scientific works.

О лучших изобретениях России

В базу данных Роспатента «100 лучших изобретений России» за 2014 год включены несколько изобретений, относящихся к железнодорожному транспорту.

Патент № 2524505 «Способ управления движением поездов с использованием вариантных графиков»

Авторы: *Гургенидзе И.Р., Куранин Б.Н., Лысиков М.Г., Ляшенко С.И., Степанов А.В., Торорошенко С.В.*
Патентообладатель: *ОАО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте».*

Способ управления движением поездов с использованием вариантных графиков заключается в том, что в случае нарушения нормативного графика движения поездов по запросу диспетчера передают с поезда информацию о причинах задержки данного поезда. Полученную информацию вводят в вычислительный блок автоматизированного рабочего места диспетчера, в котором производят расчет вариантных графиков движения. Результаты расчета передают в дорожный сервер и выбирают оптимальный график для всех поездов участка, на котором произошла задержка. Выбранный оптимальный график передают через дорожный сервер на бортовую аппаратуру локомотивов поездов, находящихся на железнодорожном участке. После приема информации с локомотива отправляют подтверждение диспетчеру о приеме информации, после чего поезда продолжают движение согласно переданному им графику. Границы железнодорожного участка фиксируют на электронной карте реперными точками, которые соответствуют координатам выходных светофоров. Проследование поездами реперных точек фиксируют блоком мониторинга движения поездов. Достигается повышение пропускной способности.

Патент № 2513877 «Система интервального регулирования движения поездов на перегоне»

Авторы: *Киселева С.В., Кисельгоф Г.К., Коровин А.С., Розенберг Е.Н., Шустов Д.В., Шухина Е.Е.*
Патентообладатель: *ОАО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте».*

Изобретение относится к железнодорожной автоматике и телемеханике. Система интервального регулирования движения подвижных единиц рельсового транспорта на перегоне содержит путевые светофоры, рельсовые цепи защитных участков путевых проходных светофоров и блок-участков. Для каждого блок-участка установлены блок контроля рельсовых цепей, контроллер, блок передачи кодовых сигналов, блок включения кодирования и блок сигнальных показаний, соединенный с путевым проходным светофором. Также имеются блок передачи кодовых сигналов и блок включения кодирования. На каждом блок-участке установлен путевой приемопередатчик ближней цифровой радиосвязи, подключенный через блок сопряжения к контроллеру, который подключен к блоку контроля рельсовых цепей и к аппаратно-программному устройству автоматизированного рабочего места. В центре управления установлен приемопередатчик дальней цифровой радиосвязи, а на подвижной единице установлены бортовые приемопередатчики ближней и дальней цифровой радиосвязи, подключенные к бортовому устройству управления подвижной единицей. Достигается повышение надежности работы системы.

Патент № 2519793 «Система цифровой поездной радиосвязи для железнодорожного транспорта»

Авторы: *Васильев О.К., Вериго А.М., Слюняев А.Н.*
Патентообладатель: *ОАО «РЖД».*

Изобретение относится к технике электросвязи на железнодорожном транспорте. Система цифровой поездной радиосвязи для железнодорожного транспорта содержит объединенные IP-сетью радиосервер в диспетчерском пункте управления, ретрансляторы на станциях и локомотивные радиостанции. В диспетчерском пункте управления установлены соединенные между собой блок регистрации команды на переключение ретранслятора и блок управления, подключенные к радиосерверу. На каждом локомотиве размещены соединенные блок фиксации минимального уровня сигнала и блок формирования команды на переключение ретранслятора. Логические каналы локомотивной радиостанции подключены к блоку фиксации минимального уровня сигнала и к блоку формирования команды на переключение ретранслятора. Пульт управления поездного диспетчера соединен с радиосервером. Решение направлено на улучшение качества и надежности связи между диспетчером и машинистами.

Патент № 2534084 «Система интервального регулирования движения поездов на перегоне»

Авторы: *Батраев В.В., Киселева С.В., Кисельгоф Г.К., Красовицкий Д.М., Миронов В.С., Розенберг Е.Н., Стальнова И.В., Шухина Е.Е.*
Патентообладатель: *ОАО «РЖД».*

Изобретение относится к области железнодорожной автоматики и телемеханики. Система содержит центральный пункт диспетчерского контроля и управления, стационарный приемопередатчик, локомотивный приемопередатчик, локомотивные приемники кодовых сигналов АЛС. Выход блока определения текущей координаты поезда соединен с первым входом блока управления торможением, второй вход которого соединен с выходом блока приоритетного управления,

соединенного с блоком памяти, выход локомотивного приемопередатчика соединен с входом блока преобразования сигналов центра диспетчерского контроля и управления, выходы которого подключены, соответственно, к первому входу анализатора скорости движения локомотива и к первому входу блока идентификации. Первый выход локомотивного приемника соединен с входом блока преобразования сигналов АЛС, выходы которого подключены, соответственно, ко второму входу анализатора скорости движения локомотива и ко второму входу блока идентификации, выходы анализатора скорости движения локомотива и блока идентификации соединены, соответственно, с первым и вторым входами блока приоритетного управления, второй выход локомотивного приемника через формирователь сигнала запроса соединен с входом локомотивного приемопередатчика. Достигается повышение пропускной способности железнодорожных участков на перегонах с интервальным регулированием движения поездов.

Патент № 2517202 «Устройство для очистки стрелочного перевода»

Авторы: Вихрова Н.Ю., Гапанович В.А., Раков В.В., Розенберг Е.Н., Чернин М.А., Шевцов Б.В., Яшин А.И.

Патентообладатель: ОАО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте».

Изобретение относится к области железнодорожной автоматики и телемеханики, в частности, к устройствам для очистки стрелочных переводов. Устройство содержит установленные на элементах стрелки между рамным рельсом и остряком сопла, соединенные через подводящую магистраль с источником сжатого воздуха, размещенную перед входом на станцию трехсекционную воздухозаборную камеру, одна из секций которой установлена между рельсами железнодорожной колеи, а другие, соответственно, – с правой и левой стороны от железнодорожной колеи, последовательно соединенные датчик льда и снега, размещенный на элементах стрелочного перевода между остряками, и блок обработки. При этом выход воздухозаборной камеры посредством воздушной магистрали через трехходовой регулируемый вентиль подключен к подводящей магистрали, на участке которой после вентиля в непосредственной близости к стрелочному переводу включено сопло Вентури. Впускной клапан каждой секции воздухозаборной камеры снабжен фильтром. Входы блока управления впускными клапанами через интерфейс связи по радиоканалу связаны с пультом управления дежурного по станции, а вход блока регулирования трехходового вентиля подключен к выходу блока обработки. Изобретение позволяет осуществить очистку стрелочного перевода в зависимости от погодных условий, обеспечить высокую эффективность очистки стрелочного перевода при рациональном расходовании энергии за счет использования энергии движущегося поезда и эффекта Вентури.

Краснов Л.А.
Редакция журнала
«Электроника и электрооборудование транспорта»

О порядке отнесения интегральных схем к продукции российского производства

В целях реализации мер по стимулированию производства интегральных схем на территории Российской Федерации Распоряжением Правительства РФ от 26 июня 2015 г. № 1193-р Минпромторгу, Минэкономразвития, Минкомсвязи и ФСБ поручено разработать и утвердить:

• критерии, в соответствии с которыми интегральные схемы могут быть отнесены к категории товаров (продукции) российского производства;

• порядок отнесения интегральных схем к категории товаров (продукции) российского производства.

На официальном сайте Минпромторга России предполагается размещать информацию об интегральных схемах, отнесенных к категории товаров (продукции) российского производства, и их производителях.

Краснов Л.А.
Редакция журнала
«Электроника и электрооборудование транспорта»

Об учете расходов на НИОКР при налогообложении в случае получения исключительных прав на результаты интеллектуальной деятельности

Минфин России письмом от 23.03.2015 № 03–03–10/15777 разъяснил положения статьи 262 Налогового кодекса Российской Федерации (далее – Кодекс), касающейся учета расходов на НИОКР.

Расходы налогоплательщика на НИОКР признаются для целей налогообложения независимо от результата соответствующих НИОКР в порядке, предусмотренном статьей 262 Кодекса, после завершения этих исследований или разработок (отдельных этапов работ) и (или) подписания сторонами акта сдачи-приемки.

Налогоплательщик может включать расходы на НИОКР в состав прочих расходов в том отчетном (налоговом) периоде, в котором завершены такие исследования или разработки (отдельные этапы работ).

Если в результате произведенных расходов на НИОКР налогоплательщик получил исключительные права на результаты интеллектуальной деятельности, эти права признаются нематериальными активами, которые подлежат амортизации в порядке, установленном главой 25 Кодекса, либо, по выбору налогоплательщика, указанные расходы учитываются в составе прочих расходов, связанных с производством и реализацией, в течение двух лет. Суммы расходов на НИОКР, ранее включенные в состав прочих расходов в соответствии с главой 25 Кодекса, восстановлению и включению в первоначальную стоимость нематериального актива не подлежат.

Для признания нематериального актива необходимы наличие способности приносить налогоплательщику экономические выгоды (доход), а также наличие надлежаще оформленных документов, подтверждающих существование самого нематериального актива и (или) исключительного права у налогоплательщика на результаты интеллектуальной деятельности (в том числе патенты, свидетельства, другие охранные документы, договор уступки (приобретения) патента, товарного знака).

Если результат интеллектуальной деятельности признается и охраняется при условии его государственной регистрации, признание нематериального актива в налоговом учете или начало включения суммы расходов на НИОКР в состав прочих расходов в течение установленного срока осуществляется на дату государственной регистрации такого результата интеллектуальной деятельности.

Налогоплательщик, осуществляющий расходы на НИОКР по Перечню НИОКР, установленному Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.12.2008 № 988, может включать такие расходы в состав прочих расходов того отчетного (налогового) периода, в котором завершены такие исследования или разработки (отдельные этапы работ), в размере фактических затрат с применением коэффициента 1,5. В этом случае одновременно с налоговой декларацией представляется отчет о выполненных НИОКР. При непредставлении такого отчета суммы расходов на выполнение исследований и разработок учитываются в составе прочих расходов в размере фактических затрат.

Налоговый период, в котором завершены НИОКР (отдельные этапы работ), может не совпадать с налоговым периодом, в котором налогоплательщик получает исключительные права на результаты интеллектуальной деятельности и принимает решение о выборе порядка учета понесенных расходов. В этом случае отчет о выполненных НИОКР может быть представлен одновременно с налоговой декларацией по итогам налогового периода, в котором в налоговом учете формируется первоначальная стоимость данного нематериального актива либо расходы начинают учитываться в составе прочих расходов в течение установленного срока (двух лет).

Краснов Л.А.
Редакция журнала
«Электроника и электрооборудование транспорта»

Перечень статей, напечатанных в журнале «Электроника и электрооборудование транспорта» в 2015 году

№ п/п	Название раздела, статьи	Авторы	№ журнала	Стр.
Раздел: ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВАХ				
1	Страницы истории АО «Электропривод»	Будин Л. Н.	3	2–7
2	Современное состояние и перспективы развития АО «Электропривод»	Вишневский С. Н.	3	8–10
3	Техническое перевооружение АО «Электропривод»	Садаков Н. А., Гусев С.В.	3	11–13
Раздел: ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ДИАГНОСТИКИ, СВЯЗИ				
4	Концепция создания электротехнической и электронной системы управления «Start-Stop» легкового автомобиля	Дебелов В. В., Козловский В.Н., Пьянов М.А., Строганов В.И.	1	2–6
5	Реализация электронной системы определения вязкости масла в силовом агрегате автомобиля	Козловский В. Н., Пьянов М.А., Дебелов В.В., Слукин А.М.	2	2–5
Раздел: ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ				
6	Устройство управления магнитным амортизатором-генератором для автомобиля	Сарбаев В. И., Сидельников Г.В., Гармаш Ю.В., Блинникова Л.Г.	1	7–9
7	Принцип золотого сечения в контроле индуктивности	Ивойлов Е. В., Слободян С.М.	1	10–14
8	Взаимодействие входных фильтров электроподвижного состава с тяговой сетью	Феоктистов В. П., Ротанов В.Н., Назаров Д.В.	1	15–17
9	Теоретическое исследование устройства питания вспомогательных цепей электровоза	Пустоветов М. Ю.	1	18–22
10	Вероятностно-статистическая оценка условий заземления металлических конструкций протяженных эстакад при их сооружении над контактной сетью постоянного тока	Косарев Б. И., Косарев И.А.	1	23–26
11	Определение положения тройки лучей зондирования непрерывного моностатического бортового доплеровского лидара	Ларюшин А. И., Васильев Д.В.	1	27–29
12	Система автоматического управления радиального магнитного подшипника	Ким К. К., Зазыбина Е. Б.	1	30–35
13	Повышение энергетической эффективности гибридного локомотива	Евстафьев А. М.	2	6–10
14	Методы и средства предотвращения автоколебаний на контактной сети	Дегтярев А. В.	2	11–13
15	Анализ работы светофоров с удаленным управлением	Оськина М. А., Сергеев Б.С.	2	14–17
16	«Белые пятна» характеристики сцепления колес локомотива с рельсами	Мазнев А. С., Усов В.А.	2	18–20
17	Плавный пуск автомобильных ламп накаливания	Сарбаев В. И., Гармаш Ю.В., Волков С.Г.	2	21–23
18	Однотактный обратноходовый стабилизированный преобразователь постоянного напряжения	Нефедьев А. И., Шаронов Г.И.	2	24–26
19	Автономная система электроснабжения системы автоматического управления авиадвигателя	Волокитина Е. В., Ковязин В.И., Власов А.И., Никитин Н.В.	3	14–18
20	Сравнительная оценка способов симметрирования тока и напряжения на тяговых подстанциях переменного тока	Герман Л. А., Новиков Е.В., Кишкурно К.В., Петров Д.В.	4	2–6
21	Детализация структуры тяговых сетей переменного тока в задачах моделирования и расчета параметров петли короткого замыкания	Быкадоров А. Л., Заруцкая Т.А., Гаврилов И.В., Муратова-Милехина А. С.	4	7–12
22	Энергетическая оценка эффективности рекуперации на электровозах переменного тока	Гарбузов И. И.	4	13–17

№ п/п	Название раздела, статьи	Авторы	№ журнала	Стр.
23	О формировании программы совместного расчета систем тягового и внешнего электроснабжений	Кишкурно К. В.	4	18–20
24	Стендовые испытания тяговых электрических машин методом самоторможения	Феоктистов В. П., Литовченко В.В., Чуверин Ю.Ю., Назаров Д.В., Малютин А.Ю.	4	21–23
25	Производство водорода с помощью систем рекуперации энергии на борту транспортного средства	Овсянников Е. М., Клюкин П.Н., Акимов А.В.	4	24–27
26	Роль продольной и поперечной составляющих падения напряжения при автоматизации режима тяговой подстанции	Герман Л. А., Петров Д.В.	5–6	2-8
27	Моделирование электротехнических систем управления на автомобильном транспорте	Дебелов В. В., Козловский В.Н., Родин Н.Г.	5–6	9-14
28	Новая схема фильтрокомпенсирующей установки в тяговой сети переменного тока	Максимова А. А., Герман Л.А., Гончаренко В.П.	5–6	15-20
29	Оценка энергоэффективности скоростного и высокоскоростного железнодорожного транспорта	Изварин М. Ю., Евстафьев А. М., Евстафьева М. В.	5-6	21-23
30	Модель вагона метрополитена для исследования гармонического состава тягового тока	Данг В. Ф.	5–6	24-27
31	Обоснование рациональной модели тележки трамвая на основе параллельного моделирования в среде Matlab/Simulink и CAD, CAE – системе CATIA V5	Сафин А. Р., Мисбахов Р.Ш., Гуреев В.М.	5–6	28-32
32	Влияние фазы включения напряжения на полное время срабатывания токоограничивающих выключателей	Пивоваров П. Н., Бочкарев В.Н.	5–6	33-34
33	Синтез системы управления автономного асинхронного генератора	Доманов В. И., Доманов А.В., Халиуллов Д.С.	5–6	35-37
Раздел: МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ, ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА				
34	Анализ работы вспомогательных машин на электровозах переменного тока	Литовченко В. В., Малютин А.Ю., Невинский А.В.	1	36–40
35	Синтез автономных электроприводов с низкой чувствительностью к параметрическим возмущениям	Доманов А. В., Доманов В.И., Мишин Н.В.	1	41–44
36	Расчет и моделирование фильтров du/dt для частотно-регулируемого электропривода на примере асинхронного вспомогательного привода электровоза	Пустоветов М. Ю.	2	27–31
37	Состояние и перспективы создания высокоэффективных электро-приводов для более электрифицированных и роботизированных образцов отечественной техники нового поколения	Волокитина Е. В., Опалев Ю.Г.	3	19–24
38	Особенности разработки малогабаритного слаботочного электромагнита с повышенным быстродействием для замка реверсивного устройства	Рубцова Л. А., Малюгин А.А., Печенкина Н.А., Киселев Р.В.	3	25–27
39	Пульсации реактивного момента бесконтактных электродвигателей постоянного тока	Волокитина Е. В., Власов А.И., Опалев Ю.Г.	3	28–31
40	Имитационная математическая модель электропривода колеса шасси самолета	Волокитина Е. В., Тебеньков Ф.Г., Опалев Ю.Г.	3	32–37
41	Магнитоэлектрические вентильные электродвигатели в электроприводах разработки АО «Электропривод»	Волокитина Е. В., Тебеньков Ф.Г.	3	38–41
42	Математическая модель электропривода реверсивного устройства авиадвигателя ПД-14	Волокитина Е. В., Тебеньков Ф.Г.	3	42–44
43	Качественный анализ эффективности применения различных топологий преобразователей в бортовых электроприводах	Волокитина Е. В., Смирнов Д.С., Хорошавин В.С., Охапкин С.И.	4	28–34
44	Параметрические системы управления многодвигательного электропривода грузоподъемных механизмов	Доманов В. И., Доманов А.В., Гаврилова С.В.	4	35–38
Раздел: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ				
45	Из опыта применения конструкционных термопластов в изделиях электротехники	Иванов И. П., Моисеев С.А., Петров О.А., Паршиков Ю.Г., Саморядов А.В., Сигейкин Г.И., Приказщиков А.В.	5–6	38-42
Раздел: ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ, ДАТЧИКИ				
46	Инновационные конструкции автомобильных датчиков электронных систем	Набоких В. А., Озеров В.Г.	2	32–35

№ п/п	Название раздела, статьи	Авторы	№ журнала	Стр.
47	Быстродействующие высоковольтные GaAs – диоды для преобразовательной техники и импульсных устройств	Сурайкин А. И.	2	36–37
Раздел: «ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ, СЕРТИФИКАЦИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ»				
48	Современный методико-алгоритмический аппарат измерения качества комплекса электрооборудования автомобилей	Козловский В. Н., Пьянов М.А., Полякова Е.В., Ютт В.Е., Заятров А.В.	4	39–43
49	Ранжирование проблем качества автомобилей в эксплуатации и определение наименее надежных элементов системы электрооборудования	Козловский В. Н., Афиногентова Н.В., Родин Н.Г.	5–6	43-47
Раздел: ДИАГНОСТИКА И ИСПЫТАНИЯ				
50	Система тестового диагностирования, реализующая оценку технического состояния электрической машины с использованием процесса пуска на холостом ходу	Глущенко М. Д., Ларченко А.В., Чуйко А.Д., Христосенков С.А.	2	38–40
51	Индуктивность переходной зоны электрических контактов	Люминарская Е. С., Дианов В.Н.	2	41–45
52	Испытания изделий – важный этап выполнения опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ	Бычков В. И., Вшивцев М.Н., Гусев С.В., Бессолицин А.Г.	3	45–47
Раздел: ИНФОРМАЦИЯ				
53	О признании на территории Российской Федерации действия исключительных прав, удостоверенных официальными документами Украины	Краснов Л. А.	1	45–46
54	Об изменении размера государственных пошлин, связанных с регистрацией программ для ЭВМ, баз данных и топологий интегральных микросхем	Краснов Л. А.	1	47
55	О необходимости внесения изменений в сведения об обладателе исключительного права на результат интеллектуальной деятельности или на средство индивидуализации	Краснов Л. А.	2	46
56	О налоговых вычетах, предоставляемых авторам полезных моделей	Краснов Л. А.	2	47
57	О выплате вознаграждения авторам изобретений, полезных моделей и других результатов интеллектуальной деятельности, созданных при выполнении финансируемых Российским научным фондом научных, научно-технических программ и проектов	Краснов Л. А.	4	44
58	О предоставлении субсидий Фонду содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере	Краснов Л. А.	4	45
59	О продлении срока подачи заявления о признании действия исключительных прав, удостоверенных официальными документами Украины	Краснов Л. А.	4	46
60	Научно-техническая конференция с международным участием «Актуальные вопросы и перспективы развития электромашиностроения»		4	47
61	О лучших изобретениях России	Краснов Л. А.	5–6	50
62	О порядке отнесения интегральных схем к продукции российского производства	Краснов Л. А.	5–6	51
63	Об учете расходов на НИОКР при налогообложении в случае получения исключительных прав на результаты интеллектуальной деятельности	Краснов Л. А.	5–6	52
64	Перечень статей, напечатанных в журнале «Электроника и электрооборудование транспорта» в 2015 году		5–6	53

Сведения об авторах

д.т.н., профессор
Герман Леонид Абрамович
8-908-769-94-26

Дебелов Владимир Валентинович
8-917-132-85-87

Максимова
Александра Альбертовна
8-911-124-86-13

к.т.н.
Изварин Михаил Юльевич
8-812-457-85-36

Данг Вьет Фук
8-916-934-27-86

к.т.н.
Сафин Альфред Робертович
8-843-511-63-47

Пивоваров Павел Николаевич
8-8352-39-00-29 доб. 24-09

к.т.н.
Доманов Виктор Иванович
8-8422-41-18-63

к.т.н.
Иванов Иван Петрович
8-8352-39-00-29

д.т.н.
Козловский Владимир Николаевич
8-917-978-83-56

ТРЕБОВАНИЯ К РЕКЛАМНЫМ И АВТОРСКИМ МАТЕРИАЛАМ

Рекламные материалы принимаются в форматах «.cdr», «.eps» или «.tif» (300 dpi). Цветовая модель – CMYK. Все шрифты должны быть переведены в кривые.

Авторские материалы. Текст статьи в формате «.doc» (Microsoft Word). Обязательно наличие аннотации, ключевых слов и списка используемой литературы. Название статьи, аннотация и ключевые слова должны быть переведены на английский язык. Все рисунки в форматах «.cdr» или «.eps», фотографии – в формате «.tif» (300 dpi). Каждый рисунок или фотография должны быть представлены отдельным файлом.

СТОИМОСТЬ ГОДОВОЙ ПОДПИСКИ:
(6 номеров) – **6 000 руб.**, в т.ч. НДС 18%
Оформить подписку можно:
– через редакцию – необходимо направить по факсу или электронной почте заявку с указанием банковских реквизитов, наименования организации (фирмы), точного почтового адреса и количества комплектов журнала.
Тел./факс: (495) 500-40-20, 557-23-95,
e-mail: npptez@mail.ru;
– через ОАО «Агентство Роспечать» – по Каталогу изданий органов научно-технической информации 2016 г., индекс 59990.

СТОИМОСТЬ РЕКЛАМЫ:
2-я и 3-я страницы обложки – 24 000 рублей
4-я страница обложки – 30 000 рублей
одна страница внутри журнала – 12 000 рублей

Печатные материалы, используемые в журнале, являются собственностью редакции.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Полученные материалы не возвращаются.

Редакция оставляет за собой право корректорской и редакторской правки публикаций без согласования с авторами.

Журнал распространяется через редакцию по адресной рассылке, через ОАО «Агентство Роспечать», на специализированных выставках и симпозиумах.