

Потери электрической энергии при различном числе и оптимальном расположении ППС можно определить по формуле

$$\Delta A = k_n r_0 L J^2 / V,$$

где ΔA – энергия потерь контактной сети при движении электровоза по всей длине фидерной зоны, кВт·ч; k_n – коэффициент, зависящий от числа ППС в фидерной зоне при их оптимальном расположении.

Для произвольного числа пунктов ППС коэффициент k_n может быть определен по формуле

$$k_n = \frac{3n}{3m+1},$$

где n – число перемычек в зоне питания; m – номер ППС от узла питания.

В таблице 2 приведены результаты расчета коэффициента k_n и относительной разности ε % между потерями энергии при конечном числе ППС и полным параллельным соединением путей.

Таблица 2 – Результаты расчетов потерь энергии

Число ППС	0	1	2	3	4	Полное параллельное соединение путей
k_n	0,5	0,3125	0,2857	0,275	0,268	0,25
ε % · 100	100	25	14	10	6	0

Анализ результатов, приведенных в таблице 2, позволяет сделать вывод, что расположение ППС в оптимальной точке фидерной зоны позволяет снизить потери энергии по сравнению с выбранной произвольно до 30 %. Увеличение числа ППС более 4 нерентабельно, т.к. каждый последующий ППС в КС приведет к незначительному снижению потерь энергии, что не оправдывает затрат на его сооружение. Кроме того, значительное увеличение ППС в КС затрудняет организацию защиты ТС от токов короткого замыкания.

УДК 629.4.063.6

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОГО УГЛА ОПЕРЕЖЕНИЯ ПОДАЧИ ТОПЛИВА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОПЛИВОПОДАЧИ ДИЗЕЛЯ 10Д100М

Р. К. ГИЗАТУЛЛИН, С. И. СУХОПАРОВ, С. В. ТЕЛЕГИН

Белорусский государственный университет транспорта

На Белорусской железной дороге с 1987–1988 гг. эксплуатируются грузовые магистральные тепловозы серий 2ТЭ10М и 2ТЭ10У, на которых установлены модернизированные дизели типа 10Д100М. Опыт эксплуатации тепловозов 2ТЭ10У показывает, что режимы работы дизелей 10Д100М, в основном, составляют не номинальные и холостого хода. Показатели рабочего процесса этих дизелей для номинального режима выбраны заводом-изготовителем по прочности коленчатого вала, и угол опережения подачи топлива (УОПТ) не является оптимальным по экономичности, и при снижении мощности дизеля по тепловозной характеристике он остается постоянным.

Для оценки эффективности применения переменного угла опережения подачи топлива на тепловозном дизеле 10Д100М были выполнены сравнительные испытания с оценкой удельного расхода топлива. Сравнение результатов испытаний показывает, что увеличение угла опережения подачи топлива с 8,5° (серийный вариант) до 12,5° поворота коленчатого вала приводит к повышению максимального давления сгорания P_z на всех нагрузочных режимах и к увеличению экономичности работы дизеля (таблица 1).

На основании результатов испытаний можно сделать вывод, что для тепловозного дизеля 10Д100М угол опережения подачи топлива на номинальном режиме работы необходимо оставить прежним, а по мере снижения мощности по тепловозной характеристике – увеличивать. Для получения наибольшей экономии топлива на не номинальных режимах работы дизеля изменение угла опережения подачи топлива должно происходить интенсивно.

Таблица 1 – Результаты сравнительных испытаний дизеля 10Д100М при изменении угла опережения подачи топлива по тепловозной характеристике

Характеристика	Позиция контроллера машиниста										
	15	14	13	12	11	9	7	5	3	1	0
Мощность N_e , кВт	2068	1926	1785	1598	1410	1043	678	402	183	84	0
Удельный расход q_e , г/кВт·ч	228,7	224,1	219,5	217,9	216,3	214,7	214,5	222,7	237,2	287,4	0
УОПТ ϕ , град	8,5	8,5	9	10,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
Экономия Δq_e , г/кВт·ч	0	0	0,6	2,3	4,55	4,2	4,2	3,1	0	0	0

Переменный угол опережения подачи топлива был реализован путем изменения верхней кромки плунжера топливного насоса высокого давления при помощи устройства, разработанного на кафедре «Тепловозы и тепловые двигатели» БелГУТа. На верхней кромке плунжера топливного насоса высокого давления выполняется срез, ось симметрии которого совпадает с осью симметрии отверстия гильзы плунжера на номинальном режиме работы. Результаты расчета площади проходного сечения гильзы плунжера и верхней кромки, которые были выполнены при помощи математической модели, показали, что при использовании плунжеров, у которых угол среза верхней кромки 35° и больше, не позволяет интенсивно изменить угол опережения подачи топлива при снижении мощности по тепловозной характеристике. При использовании плунжеров с углами среза менее 30° позволяют быстро изменить угол опережения подачи топлива. Однако площадь проходного сечения для топлива, в этом случае, ограничена уже не отверстием гильзы плунжера, а сложным сечением, образованным сектором отверстия гильзы и срезанной кромкой плунжера. Площадь образованного сечения значительно меньше площади проходного сечения у серийного насоса, и в связи с этим подача топлива будет происходить несколько раньше, чем у серийного насоса. Увеличение глубины среза также отрицательно влияет на нагрузочные характеристики топливного насоса, так как в этом случае увеличивается длина верхней кромки топливного насоса и угол опережения подачи топлива по тепловозной характеристике изменяется менее интенсивно и будет достигать своего постоянного значения несколько позже.

Статические испытания плунжерных пар с различными углами среза верхней кромки показывают, что наиболее приемлемым является угол 30°, так как по мере снижения мощности по тепловозной характеристике угол опережения подачи топлива с 8,5° (номинальный режим) до 12,5° изменяется наиболее интенсивно (таблица 2). Сравнение нагрузочных характеристик топливных насосов с плунжерами, имеющими различный угол среза верхней кромки (таблицы 3, 4), также доказывают правильность выбранного решения. Угол среза 30° позволяет уменьшить угол наклона нагрузочных характеристик на режимах, близких к номинальному, что значительно уменьшает неравномерность подачи топлива по цилиндрам.

Таблица 2 – УОПТ у измененных плунжерных пар (статические испытания)

Позиция контроллера машиниста	1	5	9	10	11	12	13	14	15
Угол среза 30°, глубина среза $h = 0,59$ мм	12,25	12,25	12,25	12,21	11,75	11	10,32	9,75	9,25
Угол среза 30°, глубина среза $h = 0,52$ мм	12,25	12,25	12,25	12,22	11,75	11,25	10,75	10,25	9,75
Угол среза 45°, глубина среза $h = 0,59$ мм	12,25	12,25	12,02	11,5	10,93	10,41	9,888	9,451	9,05

Таблица 3 – Нагрузочные характеристики серийного ТНВД и с измененной плунжерной парой

Выход рейки ТНВД, мм	18	16	12	8	6	4	3	2,5	2,25	2
Q_{10} , г/цикл ($n = 850$ об/мин, серийный плунжер)	0,635	0,563	0,410	0,266	0,189	0,106	0,070	0,008	0,000	0,000
Q_{10} , г/цикл ($n = 280$ об/мин, серийный плунжер)	0,663	0,590	0,440	0,293	0,216	0,134	0,100	0,080	0,064	0,020
Q_{10} , г/цикл ($n = 850$ об/мин, измененный плунжер)	0,530	0,460	0,373	0,266	0,189	0,105	0,070	0,007	0,000	0,000
Q_{10} , г/цикл ($n = 280$ об/мин, измененный плунжер)	0,576	0,500	0,406	0,293	0,216	0,133	0,100	0,080	0,064	0,020

Примечание – Угол среза плунжера составляет 30°, глубина среза $h = 0,52^{+0,01}$

Таблица 4 – Нагрузочные характеристики серийного ТНВД и с измененной плунжерной парой

Выход рейки ТНВД, мм	18	16	12	8	6	4	3	2,5	2,25	2
$q_{пл}$, г/цикл ($n = 850$ об/мин, серийный плунжер)	0,635	0,563	0,410	0,266	0,189	0,106	0,070	0,008	0,000	0,000
$q_{пл}$, г/цикл ($n = 280$ об/мин, серийный плунжер)	0,663	0,590	0,440	0,293	0,216	0,134	0,100	0,080	0,064	0,020
$q_{пл}$, г/цикл ($n = 850$ об/мин, измененный плунжер)	0,521	0,450	0,375	0,265	0,189	0,108	0,071	0,009	0,000	0,000
$q_{пл}$, г/цикл ($n = 280$ об/мин, измененный плунжер)	0,550	0,483	0,400	0,292	0,215	0,133	0,101	0,080	0,063	0,020

Примечание – Угол среза плунжера составляет 30° , глубина среза $h = 0,59^{+0,01}$.

УДК 621.331

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ НА ПОТЕРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ПУТЕВЫХ ДРОССЕЛЬ-ТРАНСФОРМАТОРАХ

В. Л. ГРИГОРЬЕВ, Н. В. ГМЫЗОВА

Самарская государственная академия путей сообщения

На современном этапе строительства и эксплуатации электрифицированных путей проблема рационального использования и экономии электрической энергии относится к числу наиболее острых и актуальных. Электрифицированный рельсовый транспорт относится к категории приемников с большим потреблением электроэнергии. Во многих странах мира принята программа перевода экономики с энергорасточительного на энергосберегающий путь развития.

Теоретическими расчетами установлено, что при системе тяги постоянного тока 3,3 кВ расходы на потери электрической энергии в контактной сети составляют 83 %, а в рельсовой сети – 17 %. При электрической тяге переменного тока 27,5 кВ эти величины соответственно равны 52 и 48 %. В этих расчетах не учитывается сопротивление обмоток дроссель-трансформаторов (ДТ). Если учесть, что сопротивление обмоток ДТ изменяется от 450 до 1800 мкОм при постоянном токе и 200000 мкОм при переменном токе частотой 50 Гц, тогда очевидно, что в расчетах потерь энергии в рельсовой сети оно должно быть учтено. Например, нормативное значение рельсового токопроводящего стыка рельса типа Р65 составляет 152,4 мкОм, тогда сопротивление обмотки ДТ будет составлять 29,5 % сопротивления 1 км рельсовой нити, и уже при указанных расчетах это нельзя не учитывать.

Для определения расходов на потери электрической энергии в ДТ были организованы измерения токов, протекающих по полуобмоткам. Для этой цели в каждой рельсовой нити в одну из полуобмоток были установлены шунты и самописцы. Анализ полученных осциллограмм ряда фидерных зон показал, что токи в рельсовых нитях со стыками с типовыми шайбами и стыковыми соединителями могут отличаться до 13 %. Если рельсовая сеть состоит из стыков с тарельчатыми пружинами, то разница в токах в нитях незначительна, и ее при расчетах можно не учитывать. Асимметрия токов в рельсовых нитях объясняется тем, что в каждой нити сопротивление стыков носит случайный характер, т.к. стыковые соединители, из-за своих низких коэффициентов шунтирования, даже после их приварки не обеспечивают одинаковое сопротивление стыков. Из-за деформации обоймы во время приварки к рельсу их сопротивление после приварки увеличивается до 4 раз. Тарельчатые пружины обеспечивают стабильное прижатие накладок к рельсам, что и является причиной одинакового продольного сопротивления рельсовых нитей. Величины токов, протекающих по полуобмоткам ДТ, имеют случайный характер. Для выбора метода их оптимальной обработки, с целью принятия объективных величин токов для расчета, необходимо знание их статистических характеристик. Объем выборки, полученной с действующих фидерных зон постоянного тока, составил $N=38$. Учитывая ограниченный объем выборки относительно огромного полигона электрифицированных железных дорог постоянного тока с ДТ, для определения непрерывного теоретического распределения токов к эмпирическому был использован метод максимума функции наибольшего правдоподобия. Проверка гипотезы о принадлежности полученной выборки (гистограммы) была