

*Морозов Владислав Олегович, студент Института транспортной техники и систем управления ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»*

*Силюта Анатолий Геннадьевич, к.т.н., доцент кафедры «Электропоезда и локомотивы» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»*

*Филиппов Евгений Павлович, студент Института транспортной техники и систем управления ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»*

## **ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА РЕЖИМЫ РАБОТЫ ТЕПЛОВОЗОВ**

**Аннотация:** Основным фактором, определяющим экономическую эффективность любого вида транспорта, является полнота использования его технических возможностей, рациональное использование и экономичное расходование энергетических ресурсов. Удельные эффективные расходы топлива серийно выпускаемых дизелей нормируются по условиям ГОСТ 31187-2011 и ГОСТ Р 52517-2005 при одновременном обеспечении экологических показателей по международным нормам UIC 624-1. Мероприятия по повышению эффективности тепловозов и качества обслуживания особенно важны в связи с ростом требований к экологическим показателям дизелей. Наибольшее влияние на режимы работы силовой установки тепловоза оказывают условия эксплуатации. В настоящей статье систематизированы и критически оценено влияние основных условий эксплуатации на эффективность работы тепловозы.

**Ключевые слова:** тепловоз, автономный локомотив, условия эксплуатации, эффективность работы, режимы работы.

**Abstract:** The main factor determining the economic efficiency of any mode of transport is the full use of its technical capabilities, rational use and economical consumption of energy resources. The specific effective fuel consumption of serially

produced diesel engines is regulated under conditions of GOST 31187-2011 and GOST R 52517-2005 and at the same time the ecological indicators under international norms UIC 624-1 are provided. The measures on increase of diesel locomotives efficiency and quality of service are especially important due to increase of requirements to ecological indicators of diesel engines. The operating conditions have the greatest influence on the diesel locomotive propulsion system's operating modes. The present article systematizes and critically evaluates the influence of the main operating conditions on the diesel locomotive efficiency.

**Keywords:** diesel locomotive, autonomous locomotive, operating conditions, operating efficiency, operating modes

## **Введение**

Режимы работы тепловозных дизель-генераторов. характеризуются следующими основными особенностями: длительной работой на холостом ходу и поддержания рабочей температуры теплоносителей, тепловой и механической напряженностью деталей двигателя, большим относительным временем работы дизеля на переходных режимах, относительно низким коэффициентом использования мощности, достигающим для магистральных тепловозов мощностью 2200—3000 кВт в секции до 0,25, а для маневровых тепловозов — до 0,1. К числу основных режимов можно отнести следующие [2, с. 507-508]:

- установившийся (стационарный) – развиваемый двигателем крутящий момент соответствует требуемому, частота вращения коленчатого вала остается неизменной;

- неустановившийся (нестационарный) – развиваемый двигателем крутящий момент не соответствует требуемому, частота вращения коленчатого вала изменяется;

- переходный режим при пуске двигателя, разгоне, наборе и сбросе нагрузки-происходит переход из одного исходного установившегося или неустановившегося режима на другой конечный исходный установившийся или неустановившийся режим;

- режим холостого хода- режим с минимально-допустимой частотой вращения коленчатого вала при нулевой внешней нагрузке;
- номинальный режим-силовая установка работает при номинальной мощности, получаемой при номинальных значениях частоты вращения коленчатого вала и цикловой подачи топлива;
- частичный нагрузочный–режим, охватывающий область между нулевой и полной нагрузкой, крутящий момент изменяется в интервале от нулевого значения до максимального;
- скоростной режим-основные показатели дизеля меняются в зависимости от частоты вращения коленчатого вала .

Фактические нагрузки и режимы работы тепловозов в эксплуатации изменяются под влиянием множества факторов и могут существенно отличаться от расчетных. Условия эксплуатации магистральных тепловозов отличаются большим разнообразием и зависят от массы поезда, профиля пути и его состояния, климатической зоны, способа обслуживания локомотива бригадами, принятых методов вождения поездов и т.д., что оказывает существенное влияние на режимы работы, степень использования силы тяги и мощности, надежность и топливную экономичность тепловоза .

### **Влияние переменных нагрузок**

Переменная внешняя нагрузка, задаваемая тяговым приводом тепловоза, зависит от сопротивления движению поезда, управляющих воздействий машиниста и системы автоматического регулирования. Сопротивление движению зависит от скорости, массы поезда и статической нагрузки колесной пары вагона на рельс. Масса поезда может иметь отклонения от установленной в зависимости от плана формирования состава. На тяговую нагрузку также может влиять число и место остановок поездов, структура вагонопотоков и грузопотоков.

При движении по профилю пути, машинист подбирает промежуточные позиции контроллера, при которых достигается равновесие между силой тяги и сопротивлением движению. При изменении позиций контроллера происходит

изменение частоты вращения коленчатого вала и мощности дизеля, что вызывает переходные процессы в силовой установке. Переходные процессы имеют место и при неизменной позиции контроллера, например при увеличении нагрузки. Частое (в среднем каждые 1-6 мин) и резкое изменение скоростных и нагрузочных режимов работы силовых установок тепловозов снижает качество их рабочих процессов, поскольку современные дизели представляют собой комбинированную установку, в состав которой входят несколько разнородных систем, взаимодействующих между собой в процессе работы: системы топливоподачи, воздухообеспечения, охлаждения и др. При разработке такой комбинированной установки индивидуальные характеристики перечисленных систем удается согласовать лишь на каком-то одном режиме (как правило, на номинальном). На других режимах эта согласованность нарушается, что приводит к ухудшению качества рабочих процессов дизеля и, как следствие, к снижению его экономических и экологических показателей. Работа дизеля в режиме полной мощности составляет малую долю всего времени работы тепловоза. По результатам исследований Перегудова Ю.М. [3] грузовые и наиболее нагруженные пассажирские тепловозы имеют примерно одинаковые режимы дизель-генератора за время работы тепловоза. Существенная часть расхода топлива приходится на частичные нагрузки дизель-генераторной установки. Для мощностей, соответствующих 26 – 50 % от номинальной, тепловозами 2ТЭ10М расходуется до 35, 2ТЭ116 – до 34 % от общего расхода топлива, а для мощностей, соответствующих 51 – 75 % от номинальной, тепловозами 2ТЭ10М расходуется до 50, 2ТЭ116 – до 52 % от общего расхода топлива. В общем случае на средних режимах, соответствующих 26 – 75 % от номинальной мощности тепловозами 2ТЭ10М и 2ТЭ116 расходуется до 85 % от общего расхода топлива. Таким образом, значительная часть топлива расходуется именно на частичных нагрузках дизель-генераторной установки.

Смена режимов в эксплуатации оказывает влияние также на работу электрической передачи, что в свою очередь влияет на мощность, силу тяги и надежность тепловозов. Расхождение температуры электрических машин в

эксплуатации и при настройке достигает 20-30 °С , что вызывает снижение мощности генератора на 8-12 %, а касательной силы тяги расчетного режима на 32-48 кН. В результате в магнитной цепи возбуждителя напряжение тягового генератора изменяется на 5,5 %, а мощность на 100-180 кВт.

Обеспечить согласование характеристик систем дизеля в процессе работы при смене режимов и изменении условий эксплуатации возможно путем использования различных систем автоматического регулирования и управления с использованием микропроцессорных устройств. С применением микропроцессорной техники системы управления двигателями делают возможным не только стабилизацию регулируемых параметров рабочего процесса, но и комплексную автоматизацию и оптимизацию работы двигателя и энергетической установки в целом.

#### **Анализ технического состояния тепловозов**

Тепловозы одной и той же серии, работающие в одинаковых условиях, имеют существенные расхождения в тяговых характеристиках, мощности и топливной экономичности вследствие различия их технического состояния. Они возникают в результате нормативных допусков на ремонт тепловозов, допускаемого износа в период пробега между периодическими видами ремонта, изменения состояния, а также в результате рассогласования звеньев управления дизель-генератора. Потери мощности и силы тяги могут возникать при расхождении мощностей агрегатов, работающих параллельно на общую нагрузку. Расхождение цилиндровой мощности, параметров топливной аппаратуры также оказывают существенное влияние на степень реализации мощности тепловоза. Неравномерность распределения токов, нагрузок между тяговыми электрическими машинами, параллельно работающими на общую нагрузку, происходит в результате разброса их скоростных характеристик. При этом возникает боксование, перегрев перегруженных двигателей, снижение силы тяги тепловоза и КПД тяговой передачи. На распределение токов между тяговыми электродвигателями оказывает влияние разброс сопротивлений

обмоток якорей, расхождение параметров обмоток возбуждения и кривых намагничивания.

Для полного использования мощности и силы тяги тепловоза при высоком уровне эксплуатационной надежности и экономичности в широком диапазоне нагрузок, скоростей движения, атмосферных условий и параметров звеньев энергосиловых систем тепловозов предпринимают конструктивные решения проблемы регулирования и управления работой дизель-генераторов. Существующие системы регулирования серийных тепловозов удовлетворяют в той или иной мере этим требованиям, но при условии поддержания высокого уровня технического состояния.

При практически неизбежной разнице технического состояния тепловозов происходит отклонение их мощности и тяговых свойств от паспортных тяговых характеристик, принимаемых для расчета норм масс поездов и их движения. Фактические режимы и тяговые показатели могут быть определены с достаточной достоверностью лишь на основе тягово-эксплуатационных испытаний локомотивов в условиях различных дорог.

В мировой практике технического содержания локомотивов планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта (ППР) остается основным способом обеспечения эксплуатационной надежности, в том числе в рамках проведения сервисного обслуживания компаниями-изготовителями локомотивов. Переход с ППР на систему обслуживания и ремонта с учетом фактического технического состояния повысит эксплуатационную надежность локомотива. Однако, такой переход возможен лишь при условии оснащения предприятий комплексными системами контроля технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса узлов, агрегатов и систем локомотивов [1, с. 62].

### **Влияние атмосферных параметров**

Отклонение атмосферных параметров от стандартных условий приводит к нестабильности характеристик тепловоза и ограничению режимов работы по надежности. Причинами могут быть суточные колебания, различия

климатических поясов, изменение высоты над уровнем моря при движении на горном и холмистом профиле пути. Понижение давления влияет на работу турбокомпрессора вследствие уменьшения плотности воздуха. При сохранении постоянной цикловой подачи топлива и уменьшении заряда воздуха снижается коэффициент избытка воздуха, ухудшаются смесеобразование и сгорание топлива, снижается давление рабочего процесса, индикаторная мощность. С ростом температуры воздуха уменьшается его плотность, степень повышения давления в турбокомпрессоре и снижается давление наддува. При постоянной цикловой подаче топлива и частоте вращения коленчатого вала дизеля уменьшаются масса и коэффициент избытка воздуха, давление рабочего процесса, индикаторный КПД, возрастают температура рабочего цикла и выпускных газов, потери теплоты. При понижении температуры воздуха до  $-20^{\circ}\text{C}$  увеличивается заряд воздуха, повышается максимальное давление сгорания, снижается тепловая напряженность и расход топлива. Дальнейшее снижение температуры воздуха приводит к повышению давления наддува, в результате чего возрастает жесткость работы и снижается надежность.

### **Влияние профиля пути**

Характер движения поезда и режим работы локомотива зависят от профиля пути. Для обобщения оценки влияния профиля пути на расход топлива используют значения виртуальных возможных длин и крутизны пути. Под виртуальным коэффициентом участка понимают отношение механической работы, затраченной на движение поезда заданной массы на реальном профиле пути, к механической работе со средней скоростью движения на прямом горизонтальном пути той же протяженности. Виртуальный коэффициент по механической работе можно определить так:

$$\alpha_H = \frac{[\omega_0 \cdot (S - \sum S_{BC}) \pm 1000 \cdot h + 1000 \cdot \sum h_{BC} + 12 \cdot \sum \alpha]}{\omega_0 \cdot S},$$

где  $\omega_0$  - основное удельное сопротивление движению поезда,  $S$  - длина участка,  $\sum S_{BC}$  - суммарная длина вредных спусков,  $h$  - разность отметок уровней в начале

и конце участка,  $\sum h_{BC}$  - сумма разностей отметок уровней вредных спусков,  $\sum \alpha$  - сумма центральных углов кривых на участке.

Виртуальная длина участка показывает условную длину прямого горизонтального пути, на котором механическая работа локомотива равна работе на участке реального профиля пути:

$$S_B = \alpha_H \cdot S$$

Тяговые характеристики профиля не используются при тяговых расчетах, потому что они не учитывают использование кинетической энергии поезда и влияние сочетаний по крутизне и протяженности различных элементов реального профиля пути, сопротивление движению при различных скоростях отличается от сопротивления при средней скорости, также средняя скорость во времени не равна средней по пути. Более достоверно оценивать влияние профиля пути позволяет отношение механической работы  $A$ , рассчитанной на реальном профиле пути, к перевозочной:

$$\eta = \frac{A}{(m_c + m_l) \cdot S},$$

где  $m_c, m_l$  - масса состава и масса локомотива соответственно.

Для разных целей определяют механическую работу силы тяги, сил сопротивления движению и тормозной силы.

### **Заключение**

В результате проведенного анализа эксплуатационных факторов, было установлено, что наибольшее влияние на режимы работы силовой установки оказывают переменные нагрузки и техническое состояние тепловоза. Введение систем управления на микропроцессорной базе позволит стабилизировать регулируемые параметры рабочего процесса, а также проводить оптимизацию силовой установки в целом. Одним из направлений повышения эксплуатационной надежности тепловозного парка ОАО «РЖД» может стать внедряемая в настоящее время система сервисного обслуживания предприятиями-изготовителями. Возможность диагностики технического состояния тепловозов в процессе эксплуатации является условием



своевременного проведения ремонтных работ, сокращения их объема и трудозатрат.

### **Библиографический список:**

1. Осяев А.Т., Никифоров В.А. О системе обслуживания локомотивов за рубежом//Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта, вып.5, Москва, 2012.-с. 56-62
2. Локомотивные энергетические установки: Учебник для вузов ж.-д. трансп./А.И. Володин, В.З. Зюбанов, В.Д. Кузьмич и др.; Под ред. А.И. Володина. М.: ИПК «Желдориздат». 2002.— 718 с.
3. Перегудов Ю.М. Оценка экономичности тепловозного дизеля и регулирование на поддержание оптимального режима. Труды ВНИТИ, вып. 27, Коломна, 1967.- с.3-24.