

УДК 621.22

Канд. техн. наук А. В. ОСИПОВ, д-р техн. наук, проф. В. А. КРУЧЕК

Влияние удельного веса рабочей жидкости на характер переходного процесса в многоциркуляционных гидромеханических системах локомотивов

Аннотация. Величина среднего эксплуатационного КПД гидромеханической передачи мощности локомотива зависит от количества и продолжительности переходных процессов. Эксплуатационные исследования гидропередач показали, что температура рабочей жидкости гидравлических аппаратов подвержена изменению в широких пределах. Изменение температуры влияет на значение удельного веса рабочей жидкости и, как следствие, оказывает влияние на характеристики переходного процесса во время переключения гидравлических аппаратов.

В связи с этим к системе автоматического управления гидропередачей предъявляют особые требования в области регулирования переходных процессов, сущность которых — поддержание постоянных значений мощности на выходном валу гидропередачи.

Расчет и анализ переходных процессов гидромеханической системы во время переключения выполнен с учетом изменения удельного веса рабочей жидкости. Влияние удельного веса рабочей жидкости оценивалось через изменение ее температуры. Изменение температуры осуществлено для двух вариантов, в одном из которых температура опорожняемого и наполняемого гидравлических аппаратов была принята одинаковой, в другом — разной. Результаты расчета показали, что во время переключения гидротрансформаторов разница в удельных весах рабочей жидкости опорожняемого и наполняемого гидравлических аппаратов должна быть максимальной. Переключение гидротрансформатора и гидромурфы должно осуществляться при минимальной разнице в удельных весах рабочей жидкости опорожняемого и наполняемого гидравлических аппаратов.

Представленные в статье результаты расчета позволяют сформулировать обоснованные рекомендации по модернизации системы автоматического управления гидропередачей.

Ключевые слова: гидропередача; гидроаппарат; переключение гидроаппаратов; переходный процесс; маневровый тепловоз

Введение. Статистические данные, полученные в ходе эксплуатационных исследований, показывают, что продолжительность переходного процесса и количество переключений гидравлических аппаратов (ГА), приходящихся на один час работы тепловоза под нагрузкой, оказывают существенное влияние на средний эксплуатационный КПД гидравлической передачи мощности [1]. Практика эксплуатации многоциркуляционных гидравлических передач мощности тепловозов демонстрирует значительное изменение температуры рабочей жидкости, которая может колебаться от 40 до 150 °С [2]. Изменение температуры

сказывается на значении удельного веса рабочей жидкости, что отражается на величинах моментов насосного и турбинного колес, которые содержатся в уравнении баланса энергии ГА [3].

Принимая во внимание особенности работы гидродинамического привода [4], к системе его автоматического управления должны предъявляться особые требования в области регулирования переходных процессов.

1. Данные для расчета переходных процессов гидромеханической системы. Определение удельного веса рабочей жидкости в зависимости от температуры представляется следующей формулой [5]:

$$\gamma_t = \frac{\gamma_{15}}{1 + \beta_t(t - 15)}, \quad (1)$$

где γ_t — удельный вес жидкости при заданной температуре, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{с}^2}$; γ_{15} — удельный вес жидкости при температуре 15 °С, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{с}^2}$; β_t — коэффициент объемного расширения жидкости, °С⁻¹; t — температура рабочей жидкости, °С.

Влияние удельного веса рабочей жидкости на характер переходного процесса оценивается с помощью относительной мощности на выходном валу гидромеханической системы.

Относительная мощность определяется по формуле

$$\delta = \int_0^t \left(\frac{N_{B1} - N_{B2}}{N_{B1}} \right) dt \cdot 100\%, \quad (2)$$

где N_{B1} — мощность на выходном валу гидромеханической системы в конце процесса переключения; N_{B2} — мощность на выходном валу гидромеханической системы в течение процесса переключения; t — время переходного процесса.

Математические зависимости и исходные данные, с помощью которых выполняется расчет переходных процессов гидромеханической системы, представлены в работе [6].

Изменение расхода жидкости в круге циркуляции ГА во время наполнения и опорожнения аппроксимируется экспоненциальной функцией, что

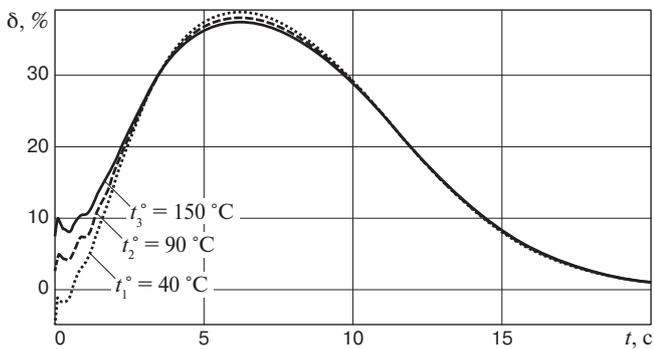


Рис. 1. Относительная мощность во время переключения ГТР гидропередачи УПП750-1200 тепловоза ТГМ6А в зависимости от времени протекания переходного процесса при разных значениях удельного веса рабочей жидкости: t_1° — температура рабочей жидкости наполняемого и опорожняемого ГА, $^{\circ}\text{C}$

подтверждается в ходе экспериментальных исследований [7].

В качестве рабочей жидкости используется турбинное масло Т-22 с коэффициентом объемного расширения $\beta_v = 0,000734 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. В проверочном расчете температура рабочей жидкости первого и второго ГА принималась равной $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$. В последующих вычислениях температура рабочей жидкости, заполняющая гидротрансформатор (ГТР) и гидромуфту (ГМ), изменялась от 40 до $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Выбор температуры рабочей жидкости обусловлен особенностями конструкции гидропередачи УПП750-1200 [2].

2. Расчет и анализ переходных процессов гидромеханической системы

2.1. Удельные веса рабочих жидкостей опорожняемого и наполняемого гидравлических аппаратов равны. Характеристики относительной мощности гидропередачи УПП750-1200 тепловоза ТГМ6А при равном удельном весе рабочих жидкостей опорожняемого и наполняемого ГА для разных значений температуры рабочей жидкости в зависимости от времени

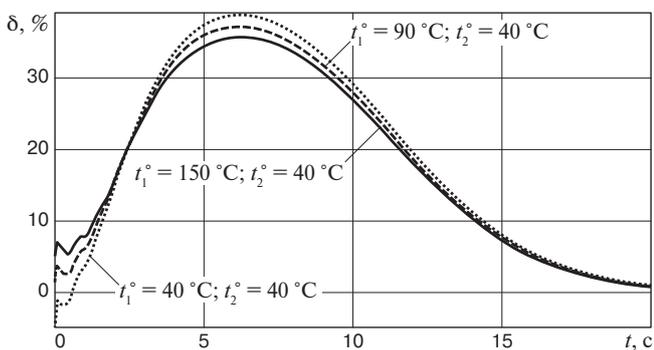


Рис. 2. Относительная мощность во время переключения ГТР гидропередачи УПП750-1200 тепловоза ТГМ6А в зависимости от времени протекания переходного процесса при разных значениях удельного веса рабочей жидкости: t_1° — температура рабочей жидкости опорожняемого ГА, $^{\circ}\text{C}$; t_2° — температура рабочей жидкости наполняемого ГА, $^{\circ}\text{C}$

протекания переходного процесса представлены на рис. 1.

Значения удельного веса рабочей жидкости, входящие в расчетные зависимости моментов на валах ГА, влияют на изменения угловой скорости входного и выходного валов гидромеханической системы. Изменение угловой скорости валов сказывается на значениях расходов жидкости в круге циркуляций ГА, что в итоге отражается на характеристиках гидромеханической системы.

Характеристики, представленные на рис. 1, показывают процесс переключения ГТР гидропередачи УПП750-1200 тепловоза ТГМ6А, во время которого происходит минимальное изменение мощности при равном значении удельного веса рабочих жидкостей наполняемого и опорожняемого ГТР. Данные зависимости определены при запаздывании процесса опорожнения по отношению к наполнению на 6 с при общем времени переходного процесса, равном 16 с. Сравнение данных характеристик при температурах рабочих жидкостей опорожняемого и наполняемого ГА, равных $40, 90$ и $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$, показывает изменение относительной мощности δ от 39 до 37% .

2. 2. Удельные веса рабочих жидкостей опорожняемого и наполняемого гидравлических аппаратов не равны. Характеристики относительной мощности гидропередачи тепловоза ТГМ6А при разных удельных весах рабочих жидкостей опорожняемого и наполняемого ГА, для разных значений температуры рабочей жидкости в зависимости от времени протекания процесса переключения представлены на рис. 2 и 3.

Характер зависимостей гидравлической передачи мощности УПП750-1200 тепловоза ТГМ6А во время переключения при разных удельных весах опорожняемого и наполняемого ГА отличается различными значениями моментов на их выходных валах, которые возникают во время изменения температуры. Анализ характеристик (см. рис. 2) показывает, что чем больше разница удельного веса, в рассматриваемом случае — температуры, между опорожняемым и наполняемым ГА, тем более выгодные характеристики переходного процесса приобретает гидромеханическая система.

Характеристики изменения относительной мощности во время переключения ГТР и ГМ (см. рис. 3) несколько отличаются от зависимостей переходного процесса ГТР.

Разница в представляемых графиках возникает ввиду принятия допущений в отношении угловых скоростей. В качестве допущений принято, что угловые скорости входного и выходного валов гидромеханической системы во время переключения не изменяются. Если во время переключения ГТР и ГМ угловые скорости входного и выходного валов остаются постоянными, а разница между значениями

удельного веса рабочей жидкости наполняемого и опорожняемого ГА минимальная, то процесс переключения будет проходить благоприятнее. Объясняется это тем, что при постоянных значениях угловых скоростей практически не происходит изменения значений расхода жидкости в круге циркуляции и мощность на выходном валу гидромеханической системы будет складываться из моментов, которые напрямую определяются исходя из значений удельного веса рабочей жидкости.

Характеристики, представленные на рис. 2 и 3, определены при запаздывании процесса опорожнения по отношению к наполнению на 6 с для ГТР и на 4 с для ГТР и ГМ при общем времени переходного процесса, равном 16 и 14 с соответственно. Данные характеристики при температуре рабочих жидкостей опорожняемого ГА, равной 150 °С, а наполняемого ГА — 40 °С по сравнению с 90; 40 и 40; 40 °С соответственно демонстрируют изменение относительной мощности δ от 38 до 35% при переключении ГТР и от 8 до 4% — при переключении ГТР и ГМ.

Выводы. 1. Изменение удельного веса рабочей жидкости ГА влияет на характер зависимостей относительной мощности δ во время переходного процесса.

2. В случае когда разница в значении удельных весов рабочих жидкостей опорожняемого и наполняемого ГТР максимальная, процесс переключения происходит с меньшими потерями энергии на 3% (см. рис. 2).

3. Процесс переключения с ГТР на ГМ происходит с потерями энергии на 4% меньше, если разница в удельных весах наполняемого и опорожняемого ГА минимальная (см. рис. 3).

Полученные результаты дают возможность предложить обоснованные рекомендации по модернизации систем автоматического управления многоциркуляционными гидравлическими передачами мощности тепловозов, которые позволят учитывать изменения удельного веса рабочей жидкости во время переходных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тягово-энергетические показатели маневровых тепловозов с гидропередачей и пути их совершенствования. Реферативный сборник. Транспортное оборудование. М.: НИИ Информтязмаш, 1977. 42 с.

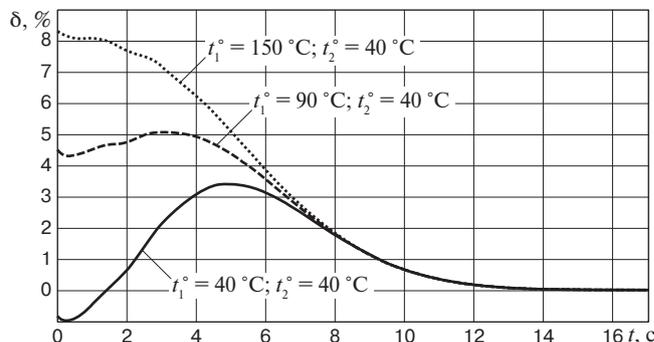


Рис. 3. Относительная мощность во время переключения ГТР и ГМ гидропередачи УГП750-1200 тепловоза ТГМ6А при разных значениях удельного веса рабочей жидкости

2. Яковлев Г.Ф. Ремонт гидравлических передач тепловозов. М.: Транспорт, 1975. 264 с.
3. Лаптев Ю.Н. Динамика гидромеханических передач. М.: Машиностроение, 1983. 104 с.
4. Степченко В.Т., Сидячев Н.В., Родионов И.Н. Исследование режимов работы и оценка эксплуатационной экономичности тепловозов серии ТГМ3 и ТГМ6 на металлургических предприятиях // Труды ВНИТИ, вып. 41. Коломна: ОНТИ, 1975. С. 31–43.
5. Осипов А.В., Кручек В.А., Курилкин Д.Н. Оценка качества процесса переключения гидротрансформаторов гидропередачи промышленного локомотива // Известия ПГУПС. 2013. № 1. С. 128–139.
6. Кочкарев А.Я. Гидродинамические передачи. Л.: Машиностроение, 1971. 336 с.
7. Юшко В.И., Мицкевич В.Г. О переходных процессах в многоциркуляционных гидродинамических передачах тепловозов // Труды МИИТ, вып. 243. М.: Транспорт, 1967. С. 135–141.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ОСИПОВ Артем Владимирович, заведующий лабораторией кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство», Петербургский государственный университет путей сообщения (ПГУПС). 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9. Тел.: (911) 293-67-77. E-mail: osipart@gmail.com

КРУЧЕК Виктор Александрович, профессор кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство», Петербургский государственный университет путей сообщения (ПГУПС). 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9. Тел.: (911) 903-64-65. E-mail: kaf_lok@mail.ru

Specific Density Effect of Hydraulic Oil on the Transition Process Nature in the Locomotive Multi-Circulatory Hydraulic/Mechanical Systems

Artem V. Osipov, Candidate of Technical Science, Head of Laboratory, Chair for Locomotives and Locomotive Facilities, Petersburg State Transport University (PGUPS). 9, Moskovsky av., 190031 St. Petersburg, Russian Federation. Tel.: +7 (911) 293 6777. E-mail: osipart@gmail.com

Victor A. Kruchek, Dr. of Technical Science, Professor, Chair for Locomotives and Locomotive Facilities, Petersburg State Transport University (PGUPS). 9, Moskovsky av., 190031 St. Petersburg, Russian Federation. Tel.: +7 (911) 903 6465. E-mail: kaf_lok@mail.ru

Abstract. Average operating efficiency value of hydraulic/mechanical power transmission depends on the number and length of transition processes. Field investigations of hydraulic transmissions revealed that hydraulic oil temperature may vary over a wide range. Temperature variations have an impact on the hydraulic oil specific density value and as a consequence — on the parameters of the transition process occurring at the hydraulic units switching-over time.

That's why special requirements, concerning regulation of the transition processes, are imposed on the hydraulic transmission control system. They stipulate maintaining constant level of the hydraulic transmission power output.

Calculations and analysis of the transition processes within the hydraulic/mechanical system at the switching-over time were performed with due regard for the hydraulic oil specific density variations. The hydraulic oil specific density influence was evaluated by the hydraulic oil temperature variations. There were considered two temperature distribution options. Temperature values in the emptied and filled hydraulic units were assumed equal for the first and different for the second option. Calculation results demonstrated that difference between the hydraulic oil specific densities in the emptied and filled hydraulic units must be maximum during the hydraulic units switching-over procedure and minimum during the switching-over procedure of hydraulic converter and hydraulic coupling.

The calculation results presented in the paper allow to draw up justified upgrading recommendations of the hydraulic transmission automatic control system.

Keywords: hydraulic transmission; hydraulic valve; switching over of hydraulic units; transition process; shunting locomotive

References

1. *Tyagovo-energeticheskie pokazateli manevrovyykh teplovozo-
v s gidroperedachey i puti ikh sovershenstvovaniya. Referativnyy*

sbornik. Transportnoe oborudovanie [Tractional energy performance of shunting locomotives with hydraulic transmission and ways of improvement. Abstract collection. Transport equipment]. Moscow, NIInformtyazhmash Publ., 1977. 42 p.

2. Yakovlev G. F. *Remont gidravlicheskikh peredach teplovozo-
v* [Repair of hydraulic transmission of diesel locomotives]. Moscow, Transport Publ., 1975. 264 p.

3. Laptev Yu. N. *Dinamika gidromekhanicheskikh peredach* [Dynamics of hydromechanical transmission]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1983. 104 p.

4. Stepchenkov V. T., Sidyachev N. V., Rodionov I. N. *Issledovanie rezhimov raboty i otsenka ekspluatatsionnoy ekonomich-
nosti teplovozo-
v serii TGM3 i TGM6 na metallurgicheskikh pred-
priyatiyakh* [The study of operating modes and the assessment of operational efficiency of diesel locomotives series TGM3 and TGM6 at metallurgical plants]. Trudy VNITI [Proc. All-Russ. Research Locomotive Inst.], 1975, no. 41, pp. 31–43.

5. Osipov A. V., Kruchek V. A., Kurilkin D. N. *Otsenka kachest-
va protsessa pereklyucheniya gidrotransformatorov gidropere-
dachi promyshlennogo lokomotiva* [Assessment of the quality of the process of switching torque converters of hydraulic transmission of industrial locomotives]. Izvestiya PGUPS [Proceedings of the Petersburg State Univ. of Railways], 2013, no. 1, pp. 128–139.

6. Kochkarev A. Ya. *Gidrodinamicheskie peredachi* [Hydrodynamic transmission]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1971. 336 p.

7. Yushko V. I., Mitskevich V. G. *O perekhodnykh protsessakh v mnogotsirkulyatsionnykh gidrodinamicheskikh peredachakh teplovozo-
v* [On transition processes in multi-circulatory hydrodynamic transmissions of locomotives]. Trudy MIIT [Proc. Moscow Institute of Transportation Engineers], 1967, no. 243, pp. 135–141.

«Вестник ВНИИЖТ» ГДЕ подписаться?

Подписку на **научно-технический журнал «Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта» («Вестник ВНИИЖТ»)** можно оформить в любом почтовом отделении связи по Объединенному каталогу «Пресса России», том 1 или агентствах по распространению печатных изданий «Урал-Пресс», АРЗИ.

Подписной индекс журнала — 70116.

Также можно оформить подписку (годовую и полугодовую) на договорных условиях в редакции. Адрес редакции журнала: 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, тел.: +7 (499) 260-43-19, факс: +7 (499) 262-00-70, E-mail: journal@vniizht.ru.

Подписчики стран ближнего и дальнего зарубежья могут подписаться на журнал «Вестник ВНИИЖТ» по каталогам подписного агентства «МК-Периодика» (www.periodicals.ru).

«VNIIZhT Bulletin» («Railway Research Institute Bulletin») — научно-технический журнал на английском языке, издается ОАО «ВНИИЖТ» с 2011 г. (ISSN 2220–9484). Периодичность — 2 раза в год. В журнале публикуются наиболее значимые и актуальные для зарубежных читателей научные статьи, опубликованные в журнале «Вестник ВНИИЖТ» на русском языке.

Оформить подписку можно в подписном агентстве «МК-Периодика» (www.periodicals.ru) или в редакции журнала по электронной почте journal@vniizht.ru.