УДК 621.22

А. В. Осипов, В. А. Кручек, Д. Н. Курилкин, А. А. Битюцкий, Н. А. Чурков
Петербургский государственный университет путей сообщения

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОПЕРЕДАЧЕЙ МАНЕВРОВОГО ТЕПЛОВОЗА

Количество переключений гидроаппаратов в многоциркуляционной гидропередаче тепловоза напрямую влияет на эксплуатационные показатели. Качество процессов переключения зависит от выбора параметров времени наполнения и опорожнения. Представлены результаты экспериментальных исследований гидротрансформатора и гидромуфты, зависимости изменения относительной мощности в период переключения ГА и конструктивные решения системы автоматического управления гидропередачи. Реализация предлагаемых конструктивных изменений системы автоматического управления гидропередачей позволит повысить КПД гидравлической передачи тепловоза и надежность САУ гидропередачей.

гидропередача, гидропривод, гидроаппарат, переключение гидроаппаратов, переходный процесс, маневровый тепловоз.

Введение

Абсолютное большинство маневровых тепловозов промышленных предприятий нашей страны оборудованы многоциркуляционными гидродинамическими передачами мощности. Эти тепловозы выполняют как маневровую работу на территории предприятия, так и вывозную на станционных путях. Основу современных тепловозных многоциркуляционных гидродинамических передач мощности составляют главным образом два гидротрансформатора, один из которых пусковой, а другой – маршевый, и одна гидромуфта. Важным вопросом эксплуатации тепловозов с такими передачами мощности является повышение эффективности их работы во время переключения гидроаппаратов (ГА) ступеней скорости, которое характеризуется переходным процессом [1–4, 7, 8]. Переходной процесс представляет собой зависимость и изменение угловой скорости или моментов на входном и выходном валах гидродинамической передачи от скорости их переключения. Переключение гидропередачи тепловоза с одного режима работы на другой осуществляется с одновременным опорожнением одного гидроаппарата и наполнением другого.

Статистические наблюдения за работой промышленных маневровых тепловозов показали, что среднее значение переключений гидропередачи маневрового тепловоза за один час работы составляет 71, а максимальная величина достигает 140 [5]. По данным, представленным в работе [6], количество включений ГА тепловоза ТГМ6А за один час составляет 212 для маневровой работы и 128 для вывозной. Время работы на первом, втором и третьем ГА для маневровой работы составляет 80,1, 19,5 и 0,4%, а для вывозной работы 50,7, 34,7 и 14,6% соответственно.

Представленные данные по количеству наполнений, опорожнений, включений, а также времени распределения работы на каждом ГА дают возможность заключить, что переключение ГА в многоциркуляционной гидропередаче маневрового тепловоза происходит достаточно часто и от качества протекания процессов переключения будут зависеть эксплуатационные показатели тепловоза.

В статье представлены результаты экспериментальных исследований гидротрансформаторов (ГТР) и гидромуфты (ГМ) гидро-

передачи УГП750-1200 тепловоза ТГМ6А, зависимости изменения относительной мощности в период переключения ГА и конструктивные решения системы автоматического управления (САУ) тепловозной гидропередачи.

1 Экспериментальные исследования гидротрансформатора и гидромуты гидропередачи УГП750-1200 тепловоза ТГМ6А

Переходный процесс, происходящий в период переключения ступеней скорости, сопровождается наполнением и опорожнением участвующих в работе ГА. Для теоретического исследования данного процесса изменение расхода жидкости в круге циркуляции в зависимости от времени наполнения или опорожнения необходимо представить в виде функциональной зависимости.

Экспериментальные исследования, представленные в работе [1], описывают изменение расхода жидкости в круге циркуляции с помощью экспоненциальной функции. Моменты на насосном и турбинном колесах в зависимости от степени опорожнения и наполнения запишем в следующем виде:

1) опорожнение:

$$\mathrm{M} = \mathrm{M}_0 \cdot e^{-xt^2}; \qquad (1)$$

2) наполнение:

$$\mathrm{M} = \mathrm{M}_0 \cdot (1 - e^{-yt^2}), \qquad (2)$$

где M_0 – момент ГА в начале наполнения или опорожнения, Н·м; x, y – постоянные аппроксимации; t – время переходного процесса, с.

Значения постоянных аппроксимации, зависящих от времени протекания переходного процесса, устанавливают с помощью экспериментальных данных.

Экспериментальные исследования, проведенные на стенде ОАО «Северо-западный промышленный железнодорожный транспорт» совместно с кафедрой «Локомотивы и локомотивное хозяйство» Петербургского государственного университета путей сообщения, позволили получить характеристики изменения расхода жидкости в круге циркуляции ГА гидропередачи УГП750-1200 тепловоза ТГМ6А в зависимости от времени наполнения и опорожнения.

Характеристики, полученные в ходе эксперимента, сопоставлялись с расчетными зависимостями (рис. 1 и рис. 2, обозначения на рис. общие), которые были получены с помощью математической модели (ММ), представленной в работе [7]. Значения постоянных аппроксимации, использованных в расчете, принимались исходя из продолжительности переходного процесса.

Сравнение опытных и расчетных зависимостей изменения момента на турбинном колесе ГТР и момента ГМ во время наполнения и опорожнения показало, что полученные результаты достаточно хорошо согласуются между собой. Расхождение составило от 2 до 7%, что позволяет использовать значения коэффициентов постоянной аппроксимации в последующих расчетах.

2 Мощностные показатели гидропередачи УГП750-1200 тепловоза ТГМ6А

Используя результаты экспериментальных исследований, представленные выше, и ММ, описанную в работе [8], определим значения относительного изменения мощности гидропередачи УГП750-1200 тепловоза ТГМ6А:

$$\delta = \int_0^t \frac{N_{B1} - N_{B2}}{N_{B1}}, \qquad (3)$$

где N_{B1} – мощность на вторичном валу гидропередачи УГП750-1200 в конце процесса переключения, кВт; N_{B2} – мощность на вторичном валу гидропередачи УГП750-1200 в течение процесса переключения, кВт; t – время переходного процесса.

На рис. 3 и 4 представлены зависимости изменения относительного значения мощности гидропередачи во время переключения.

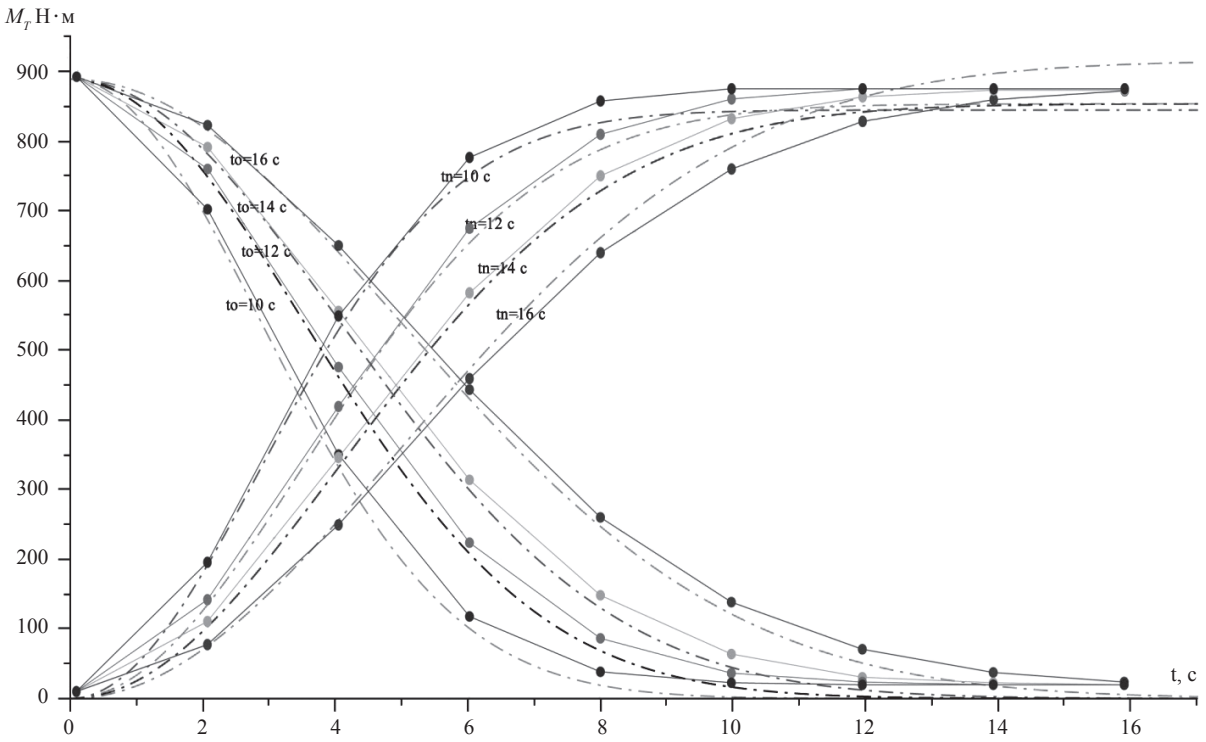


Рис. 1. Изменения момента турбинного колеса ГТР ТП1000М во время наполнения и опорожнения круга циркуляции: –·–·–·– – расчетные; ——— – экспериментальные

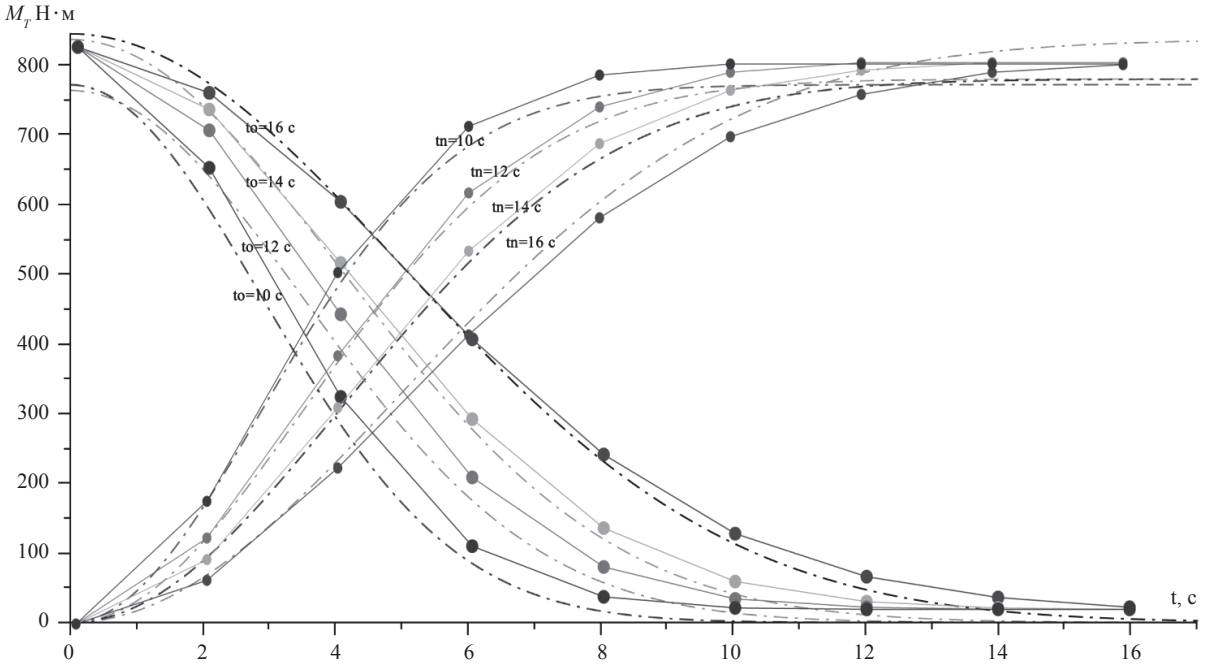


Рис. 2. Изменения момента ГМ М58 во время наполнения и опорожнения

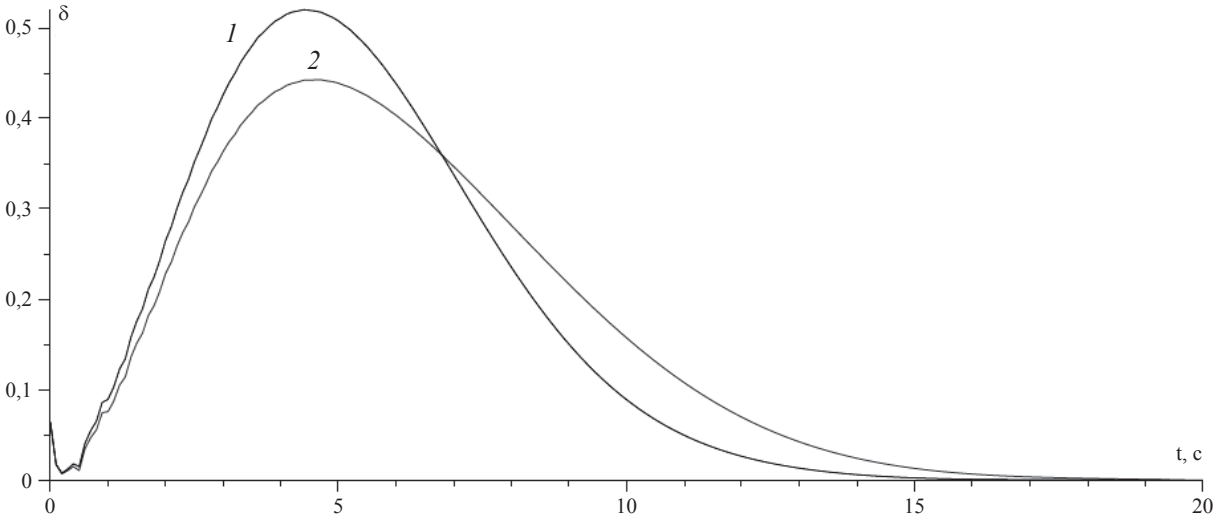


Рис. 3. Изменения относительного значения мощности гидропередачи УГП750-1200 тепловоза ТГМ6А во время переключения ГТР

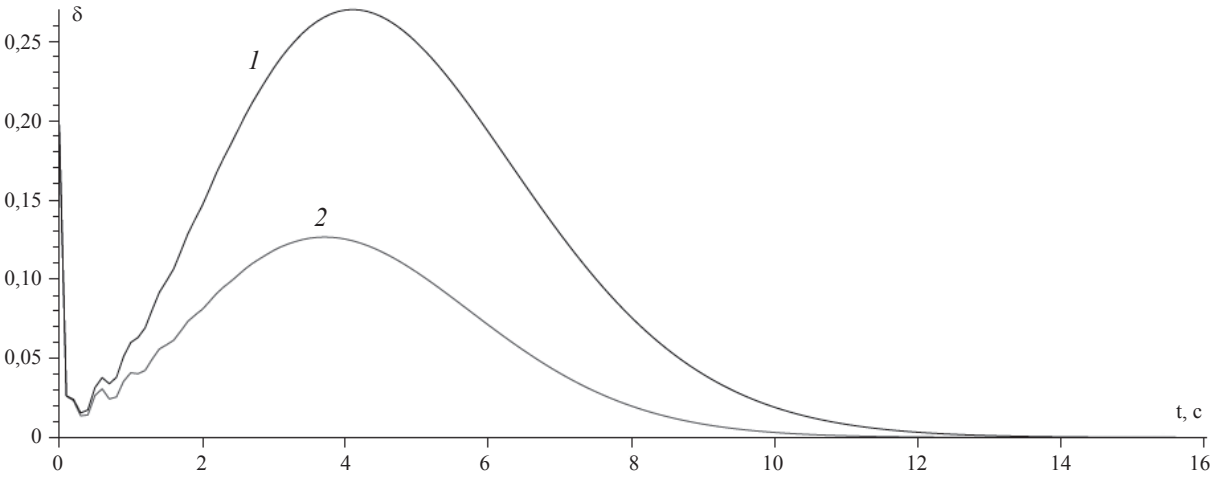


Рис. 4. Изменения относительного значения мощности гидропередачи УГП750-1200 тепловоза ТГМ6А во время переключения с ГТР на ГМ

Характеристика *1* на рис. 3 и 4 соответствует одинаковому времени наполнения и опорожнения ГА. Зависимость *2* характеризуется запаздыванием процесса опорожнения по отношению к наполнению.

Результаты расчета характеристик с различным совмещением процессов наполнения и опорожнения по отношению друг к другу [8] показали, что оптимальным процессом переключения является запаздывание процесса опорожнения на 4 с по отношению к наполнению при общем времени переходного процесса, равном 16 с. Характеристика *2*, представленная на рис. 3 и 4, отражает представленный алгоритм переключения.

Используя полученные результаты, целесообразно внести конструктивные изменения в САУ гидропередачей УГП750-1200 тепловоза ТГМ6А, которые снизят время переходных процессов в гидропередаче, повысят динамику движения и улучшат тяговые характеристики тепловоза.

3 Система автоматического управления гидропередачей УГП750-1200 тепловоза ТГМ6А

В настоящее время САУ гидропередачей осуществляет частичное наполнение ГА смежных ступеней скорости во время переключения с помощью золотников наполнения [9] или жиклёров, установленных в каналах системы управления электрогидравлическими вентилями [10]. Однако данные способы частичного наполнения смежных ступеней скорости не имеют возможности регулировать опорожнение ГА.

Серийная САУ гидропередачей УГП750-1200 тепловоза предусматривает слив рабочей жидкости из одного ГА с одновременным наполнением другого ГА [10]. В других САУ гидравлической передачей тепловоза [9] наполнение и опорожнение предлагается регулировать с помощью золотника наполнения и дросселя только для переключения с первой ступени скорости на вторую. Общими недостатками данных систем являются низкий КПД гидропередачи в период переключения ГА и значительное снижение вращающего момента на выходном валу гидропередачи, что несомненно приведет к снижению тяговых усилий и скорости движения тепловоза, особенно при обратном переключении ГА.

Сущность предлагаемых изменений в серийной САУ гидропередачей тепловоза сводится к установке регулируемых дросселей типа *FHG*/*FHCG* с электрогидравлическим механизмом и блока управления, аналог которого используется в управлении гидравлической передачей рельсовых автобусов РА1 и РА2 [11].

Схема САУ гидропередачей тепловоза с внесенными конструктивными изменениями представлена на рис. 5.

Принцип работы САУ гидропередачей с конструктивными изменениями заключается в следующем.

В зависимости от скорости движения тепловоза, от величины которой зависит действие управляющего распределителя *6*, формируется сигнал блока управления *16*, настраивающий регулируемые дроссели *17*, *18*, *19*, обеспечивающие оптимальную работу двух ГТР – *10* и *11* и ГМ *12*. Во время перехода тепловоза в режим тяги, управляющий распределитель *6* по трубопроводу *4* подает рабочую жидкость в золотник управления *3*, который сообщает питательный насос *1* с ГТР *10* по трубопроводу *13*. При достижении скорости тепловоза, соответствующей моменту переключения с ГТР *10* на ГТР *11*, управляющий распределитель *6* через клапан быстрого включения *7* посредством трубопроводов *8*, *9* подает масло в золотник управления *3*, который сообщает питательный насос *1* с ГТР *11*. Блок управления *16*, в котором формируется управляющий сигнал, после частичного наполнения ГА *11* посылает сигнал регулируемому дросселю *17*, посредством которого трубопровод *24* сообщается с золотником управления *3*. Если скорость движения тепловоза продолжает расти, происходит переход на высшую ступень скорости. Управляющий распределитель *6* подает масло по трубопроводу *5* в золотник управления *3*, который сообщает питательный насос *1* с ГМ *12*. Блок управления *16*, после частичного наполнения ГМ *12*, включает регулируемый дроссель *18* и связывает трубопровод *25* с золотником управления.

Переход с высшей ступени на низшую происходит в обратном порядке.

Во время действия режимов работы тепловоза, не отвечающих эксплуатационным требованиям, блок управления *16*, получающий сигнал от управляющего распределителя *6*, включает один из регулируемых дросселей *17*, *18*, *19*, работающего ГТР *10*, *11* и ГМ *12*, и по обратной связи воздействует на управляющей распределитель *6* для настройки САУ гидропередачей.

Заключение

Реализация предлагаемых конструктивных изменений САУ гидропередачей позволит повысить КПД гидравлической передачи мощности УГП750-1200 тепловоза

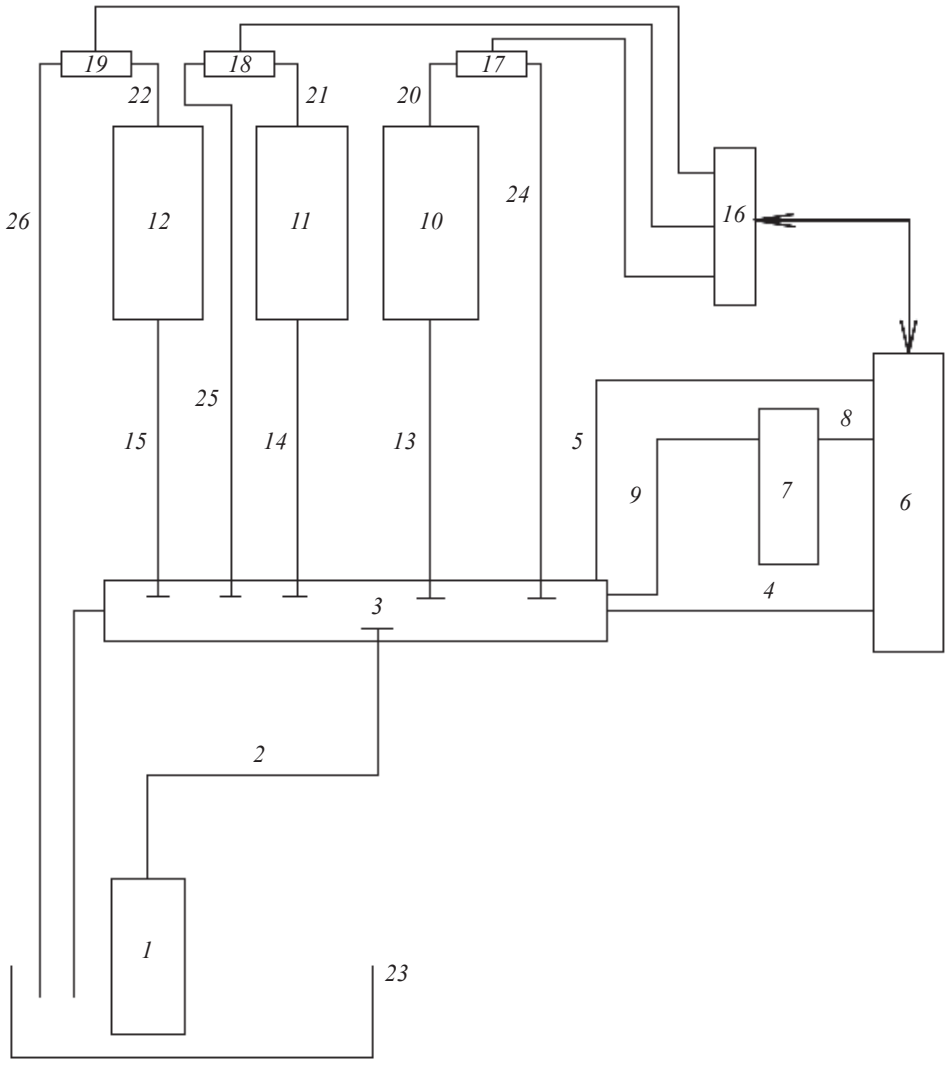


Рис. 5. Система автоматического управления гидропередачей с внесенными конструктивными изменениями:
1 – питательный насос; *2*, *4*, *5*, *8*, *9*, *13*, *14*, *15*, *20*, *21*, *22*, *24*, *25*, *26* – трубопроводы; *3* – золотник управления; *6* – управляющий распределитель; *7* – клапан быстрого включения; *10*, *11* – ГТР; *12* – ГМ; *16* – блок управления; *17*, *18*, *19* – регулируемые дроссели; *23* – гидропередача

ТГМ6А в период переключения на 10–12 % при переключении ГТР и на 20–22 % при переключении с ГТР на ГМ.

Библиографический список

1. **О переходных процессах** в многоциркуляционных гидродинамических передачах тепловозов / В. И. Юшко, В. Г. Мицкевич // Труды МИИТ. – Вып. 243. – М. : Транспорт, 1967. – С. 135–141.

2. **К вопросу улучшения** процесса переключения скоростей в гидропередаче / Л. А. Собенин // Труды ЛИИЖТ. – Вып. 254. – Л. : Транспорт, 1966. – С. 71–79.

3. **Способы** улучшения переходных процессов системы автоматического управления гидродинамической передачи тепловозов / И. Ф. Пушкарев // Труды ЛИИЖТ. – Вып. 254. – Л.: Транспорт. – С. 37–48.

4. **Критерии** оценки качества процессов включения и переключения ступеней в гидропередачах локомотивов / В. В. Кудрявицкий // Тру-

ды МИИТ. – Вып. 484. – М. : Транспорт, 1975. – С. 23–33.

5. **Исследование** работы маневровых тепловозов с гидропередачей / А. А. Лабут // Вестник ВНИИЖТ. – 1969. – № 2. – С. 16–19.

6. **Исследование** режимов работы и оценка эксплуатационной экономичности тепловозов серий ТГМ3 и ТГМ6 на металлургических предприятиях / В. Т. Степченков, Н. В. Сидячев, И. Н. Родионов // Труды ВНИТИ. – Вып. 41. – Коломна : ОНТИ, 1975. – С. 31–43.

7. **Работа** гидротрансформатора гидропередачи промышленного локомотива в переходных процессах и неустановившихся режимах работы / А. В. Осипов, В. А. Кручек, Д. Н. Курилкин // Известия ПГУПС. – Вып 2. – 2012. – С. 37–46.

8. **Оценка** качества процесса переключения гидротрансформаторов гидропередачи промышленного локомотива / А. В. Осипов, В. А. Кручек, Д. Н. Курилкин // Известия ПГУПС. – Вып. 1. – 2013. – С. 128–139.

9. **Пат. SU№ 350685**, B61C9/18. Система автоматического управления многоциркуляционной гидравлической передачи транспортной машины / Воробьев Н. Ю., Кутырев Д. И. ; опубл. 13.09.72, Бюл. № 27.

10. **Устройство** тепловоза ТГМ6А // В. Н. Логунов, В. Г. Смагин. – М. : Транспорт, 1989. – 320 с.

11. **Рельсовые автобусы** РА-1, РА-2. Устройство основных узлов, устройство аппаратов, электрические и пневматические схемы / К. П. Агеев. – М. : Центр коммерческих разработок, 2007. – 160 с.

УДК 624.04

К. Ю. Полинкевич
Петербургский государственный университет путей сообщения

ИТЕРАЦИОННЫЙ СПОСОБ РАСЧЕТА СЛОИСТЫХ БАЛОК НА ПРОЧНОСТЬ

Предлагается описание методики расчета на прочность слоистых балок, основанной на итерационном способе последовательного удовлетворения условиям равновесия и совместности деформаций. На численном примере рассматриваются результаты и оценивается их близость к решению, полученному по методу конечных элементов.

теория упругости, слоистая балка, метод итераций, напряжения, деформации.

Введение

Ход работы по определению и уточнению напряженно-деформированного состояния многослойной балки можно представить в следующем виде:

– решение с использованием уравнений теории упругости для плоской задачи, при этом следует уточнить значения напряжений с учетом сдвиговых и поперечных деформаций;

– применение итерационного способа для решения [1];

– анализ сходимости результатов процесса вычислений.

Пусть балка длиной L имеет n слоев. Каждый i-й слой имеет толщину h_i, модуль упругости E_i, коэффициент Пуассона μ_i. К балке приложена известная нагрузка $q(z)$ и из дифференциальных зависимостей можно получить внутренние усилия $N(z)$ и $M(z)$.

1 Алгоритм решения задачи

Рассмотрим детально алгоритм решения поставленной задачи.

На первом этапе, на основании нижеперечисленных гипотез, поставленная задача