

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 гидропередачей. 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

опорожением 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:

$$M = M_0 \cdot e^{-xt^2}; \quad (1)$$

2) наполнение:

$$M = M_0 \cdot (1 - e^{-yt^2}), \quad (2)$$

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, устанавливаются 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:

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

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.

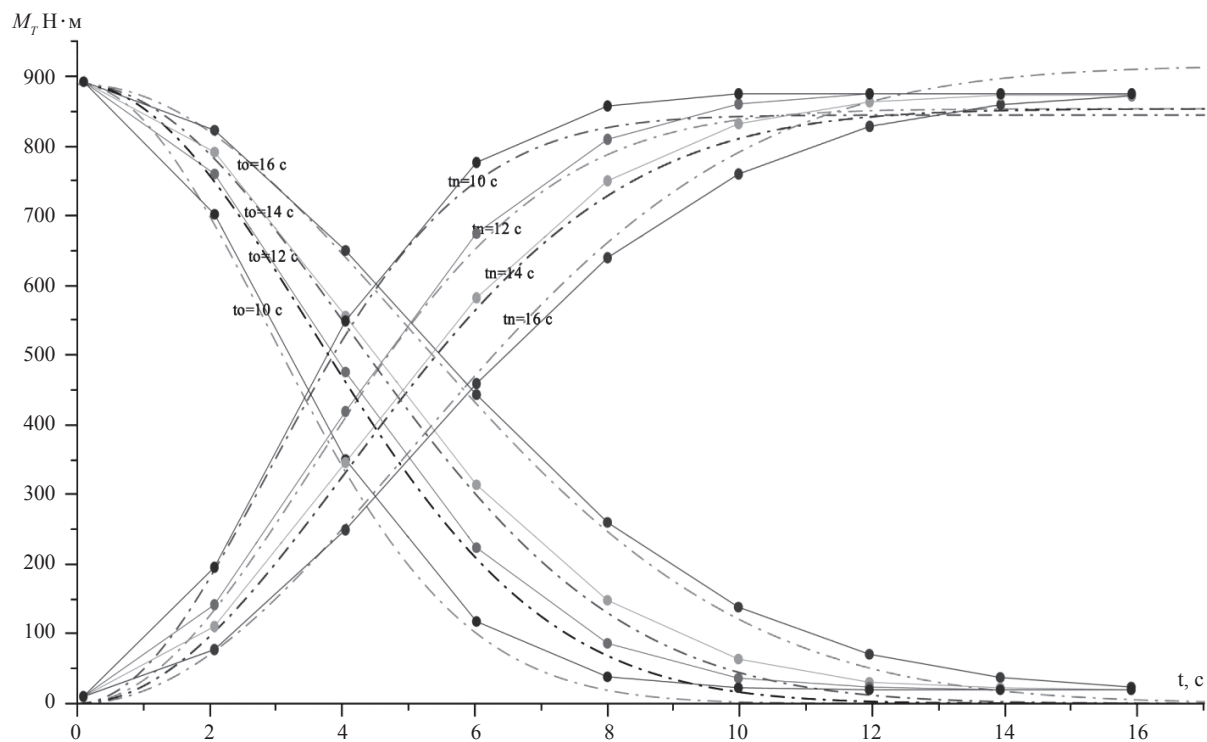


Рис. 1. Изменения момента турбинного колеса ГТР ТП1000М во время наполнения и опорожнения круга циркуляции: - - - - - расчетные; — — — — — экспериментальные

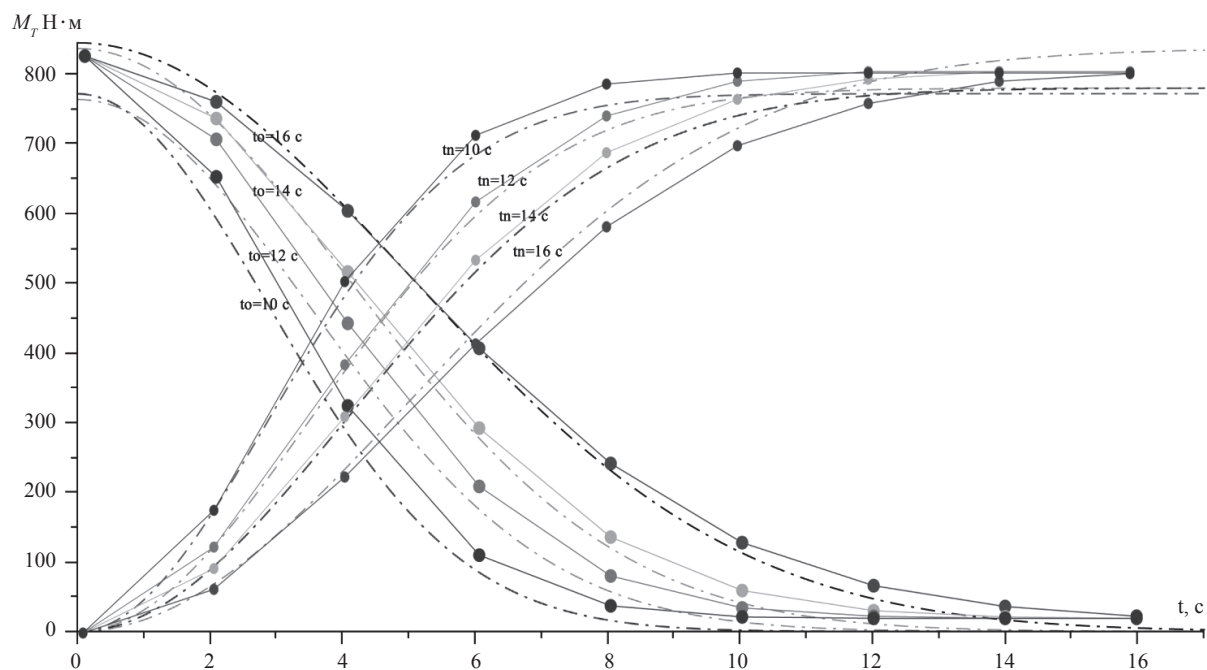


Рис. 2. Изменения момента ГМ М58 во время наполнения и опорожнения

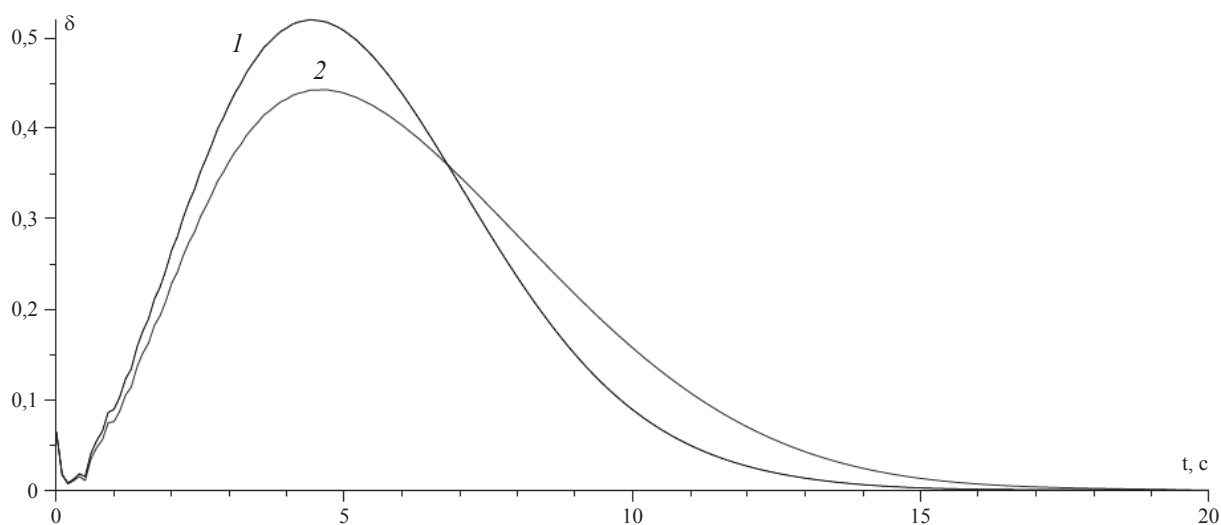


Рис. 3. Изменения относительного значения мощности гидропередачи УПП750-1200 тепловоза ТГМ6А во время переключения ГТР

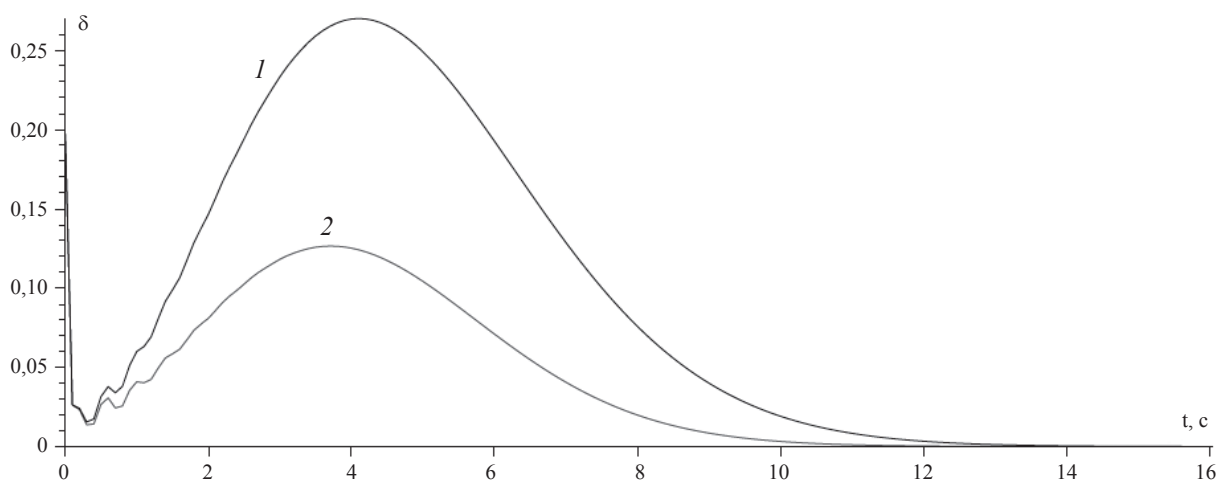


Рис. 4. Изменения относительного значения мощности гидропередачи УПП750-1200 тепловоза ТГМ6А во время переключения с ГТР на ГМ

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 УПП750-1200 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 *б*, 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 *б* 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 *б* 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 *б* 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 *б*, включает один из регулируемых дросселей *17*, *18*, *19*, работающего ГТР *10*, *11* и ГМ *12*, и по обратной связи воздействует на управляющей распределитель *б* для настройки САУ гидропередачей.

### Заключение

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

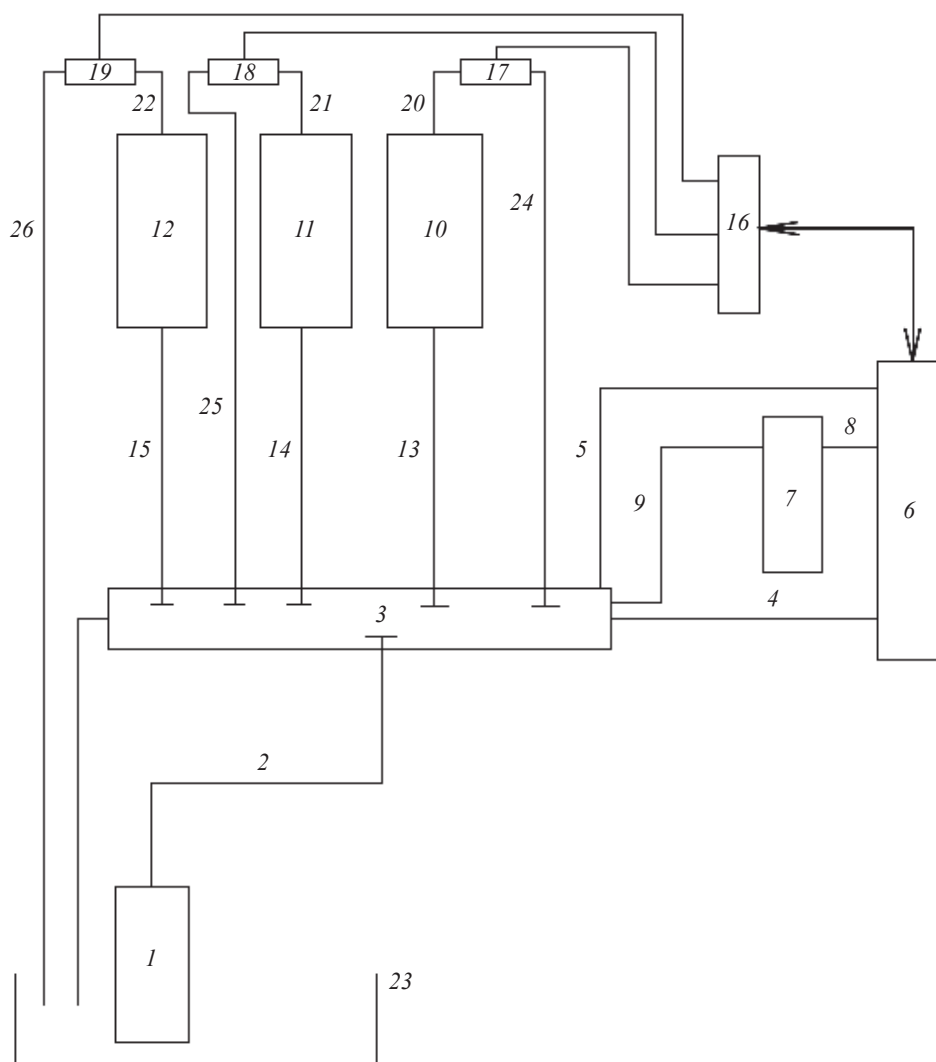


Рис. 5. Система автоматического управления гидропередачей с внесенными конструктивными изменениями:

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 – гидродатчик

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  $\mu_i$ . 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