

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ИЗВЕСТИЯ ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ПУТЕЙ
СООБЩЕНИЯ, выпуск 1 (42), 2015

ISSN (Print) 1815-588X

Учредитель и издатель

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Петербургский
государственный университет путей сообщения
Императора Александра I»

Адрес учредителя и издателя

190031, СПб., Московский пр., 9,
тел. (812) 314-92-32

Адрес редакции

190031, СПб., Московский пр., 9,
тел. (812) 314-92-32
e-mail: izvestia@izvestiapgups.org

Свидетельство о регистрации средства массовой информации

ПИ № ФС2-7499 от 06.04.2005 г., выдано
Федеральной службой по надзору за соблюдением
законодательства в сфере массовых коммуникаций
и охране культурного наследия, Управление
по Северо-Западному федеральному округу

Журнал зарегистрирован

в Российском индексе научного цитирования РИНЦ

Журнал включен в перечень ведущих
рецензируемых научных журналов и изданий
(решение Президиума Высшей аттестационной
комиссии Минобрнауки России от 19.02.2010 г.,
№ 6/6)

Журнал имеет институт рецензирования

Журнал распространяется

по адресно-целевой подписке через редакцию
и каталог ОАО «Роспечать» (индекс 18509)

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

Главный редактор

А. Ю. Панычев, канд. экон. наук, доцент

Заместитель главного редактора

В. В. Сапожников, д-р техн. наук, профессор

Научный редактор

А. К. Канаев, д-р техн. наук, доцент

Выпускающий редактор

С. А. Зинченко

Ответственный секретарь

Е. В. Моисеева

Перевод на английский язык

О. В. Керханиди

Верстка

А. А. Стуканова

Редактор сайта

Л. А. Стрелкова

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Панычев Александр Юрьевич, канд. экон. наук,
доцент, ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия,
председатель Совета

Юсупов Рафаэль Мидхатович, д-р техн. наук,
профессор, чл.-корр. РАН, Институт информатики
и автоматизации РАН, Санкт-Петербург, Россия

Шнайдер Экхард, профессор, Фраунгоферовский
институт неразрушающего контроля, Саарбрюкен,
Германия

Ситаж Марек, профессор, Силезский технический
университет, Польша

Христов Христо, профессор, Технический
университет, София, Болгария

РЕДКОЛЛЕГИЯ

Сапожников Валерий Владимирович,
д-р техн. наук, профессор, ПГУПС, Санкт-Петербург,
Россия, председатель редколлегии

Бадёр Михаил Петрович, д-р техн. наук,
профессор, МГУПС (МИИТ), Москва, Россия

Губачева Лариса Александровна, д-р техн. наук,
профессор, Восточно-Украинский национальный
университет им. В. Даля, Луганск, Украина

Гуда Александр Николаевич, д-р техн. наук,
профессор, РГУПС, Ростов-на-Дону, Россия

Корниенко Анатолий Адамович, д-р техн. наук,
профессор, ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

Ледяев Александр Петрович, д-р техн. наук,
профессор, ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

Нестеров Валерий Леонидович, д-р техн. наук,
профессор, УрГУПС, Екатеринбург, Россия

Титова Тамара Семеновна, д-р техн. наук,
профессор, ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

Канаев Андрей Константинович, д-р техн. наук,
доцент, ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

Подписано в печать с оригинал-макета 06.04.2015.

Формат 60×90 1/8. Бумага офсетная. Печать МФУ.

Усл. печ. л. 20,0. Уч.-изд. л. 16,5. Установочный тираж 300 экз.

Заказ 350. Цена свободная.

Отпечатано в типографии ПГУПС

190031, СПб., Московский пр., 9.

© ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015

SCIENTIFIC PUBLICATION

PROCEEDINGS OF PETERSBURG TRANSPORT
UNIVERSITY Issue 1 (42) – 2015

ISSN (Print) 1815-588X

Founder and publisher

Federal State Budgetary Educational Institution of
Higher Professional Education «Petersburg State
Transport University»

Founder and publisher address

190031, St. Petersburg, Moskovskiy pr., 9,
(812) 314-92-32

Editorial address

190031, St. Petersburg, Moskovskiy pr., 9,
(812) 314-92-32

e-mail: izvestia@izvestiapgups.org

Mass media registration certificate number

П И Н Ф С 2 – 7499 dd. 06.04.2005 issued by the
Federal service for the monitoring of legislation
compliance in the sphere of mass communications
and the preservation of cultural heritage, North West
Federal district division

The journal is registered in the Russian Science
Citation Index (RSCI)

The Journal is included in the List of leading
peer-reviewed scientific journals and publications

The Journal has the Peer-review division

The Journal is distributed by direct subscription
via Editorial office and Rospechat catalogue (item
18509)

JOURNAL STAFF

Editor-in-chief

A. Yu. Panychev, Cand. of Economics,
Associate Professor

Deputy chief editor

V. Sapozhnikov, D.Eng., Professor

Science editor

A. Kanayev, D.Eng., Associate Professor

Executive editor

S. Zinchenko

Executive secretary

E. Moiseeva

English translation

O. Kerkhanidi

Layout

A. Stukanova

Online content editor

L. Strelkova

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Aleksander Panychev, Cand. of Economics,
Professor, Petersburg State Transport University,
St. Petersburg, Russia, Chairman of Editorial board

Rafael Yusupov, D.Eng., Professor, corresponding
member of the Russian Academy of Sciences,
St. Petersburg Institute for Informatics
and Automation of Russian Academy of Sciences,
St. Petersburg, Russia

Ekhard Shneider, Professor, Fraunhofer Institute
for Non-Destructive Testing, Saarbrücken, Germany

Marek Sitazh, Professor, Silesian University
of Technology, Poland

Khristo Khristov, Professor, Technical University
of Sofia, Bulgaria

EDITORIAL TEAM

Valeriy Sapozhnikov, D.Eng., Professor, Petersburg
State Transport University, St. Petersburg, Russia,
Chairman of Editorial team

Mikhail Badyer, D.Eng., Professor, Moscow State
University of Railway Engineering, Moscow, Russia

Larisa Gubachyeva, D.Eng., Professor, Volodymyr
Dahl East Ukrainian National University, Luhansk,
Ukraine

Aleksander Guda, D.Eng., Professor,
Rostov State Transport University, Rostov-on-Don,
Russia

Anatoliy Kornienko, D.Eng., Professor, Petersburg
State Transport University, St. Petersburg, Russia

Aleksander Ledyayev, D.Eng., Professor, Petersburg
State Transport University, St. Petersburg, Russia

Valeriy Nesterov, D.Eng., Professor, Ural State
University of Railway Transport, Ekaterinburg,
Russia

Tamila Titova, D.Eng., Professor, Petersburg State
Transport University, St. Petersburg, Russia

Andrey Kanayev, D.Eng., Assoc. Professor,
Petersburg State Transport University,
St. Petersburg, Russia

Published by Petersburg State Transport University
190031, St. Petersburg., Moskovskiy pr., 9
Open price

© Petersburg State Transport University, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

→ СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ТРАНСПОРТУ

Бурков А. Т., Мирсаитов М. М.

- Особенности методики определения электропотребления
при выборе максимальной скорости пассажирских составов 5

Вырков С. А.

- Классификация железнодорожных транспортных происшествий
по критерию материального ущерба 12

Киселев И. Г., Галов В. В., Комиссаров С. Б.

- Пути снижения тепловых нагрузок на котел вагона-цистерны
для перевозки жидкого пека 19

Кудрявцев В. А., Светашев А. А.

- Снижение среднесуточных затрат вагоно-часов на накопление вагонов
при формировании поездов по гибкой норме состава 26

Курепин Д. Е.

- Анализ уровней сверхнормативного шумового воздействия
от железнодорожного транспорта 34

Меркурьев Ю. С., Стоянович Г. М., Шехтман И. О.

- Оптимизация конструкций насыпи по методу Г. М. Шахунянца с учетом
сейсмических воздействий 41

Петрова Т. М., Лейкин А. П., Полетаев А. В., Сорвачева Ю. А., Гуляев К. В., Чистяков Э. Ю.

- Особенности оценки качества железобетонных конструкций
транспортного строительства неразрушающими методами контроля 46

Прошутинский Р. И., Колодкин О. В.

- Вентильные двигатели в тяговом приводе электрического
подвижного состава магистральных железных дорог 51

Рыбин П. К., Ахмедов Р. Р., Бадецкий А. П., Медведь О. А.

- Использование искусственной нейронной сети в целях
прогнозирования поступления вагонов в порт 57

Шманев Т. М., Шмарина Е. К.

- Оценка методом расчета индекса удовлетворенности пассажиров необходимости
внедрения новых продуктов и услуг на полигоне Октябрьской железной дороги 65

→ ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Evglevskaya N. V., Privalov A. A.

- Information impact model at the telecommunication
network objects 72

Евглевская Н. В., Привалов А. А., Скуднева Е. В.

Марковская модель конфликта автоматизированных систем обработки информации и управления с системой деструктивных воздействий нарушителя	78
---	----

Ильюшко И. В.

Технология применения электронной подписи в проектных организациях	85
--	----

Канаев А. К., Сахарова М. А., Скуднева Е. В.

Математическая модель процесса функционирования системы управления сетью передачи данных при запросах на определение ее технического состояния	91
--	----

Капустина О. А.

Геоэкологическое решение применения термообработанного пенобетона для иммобилизации ионов тяжелых металлов	99
--	----

Матушев А. А.

Программный комплекс для распознавания монтажной технической документации	105
---	-----

Сазонова А. М.

Особенности охраны труда при работах на подземных объектах	109
--	-----

Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Ефанов Д. В.

Анализ свойств кодов с суммированием взвешенных информационных разрядов по обнаружению ошибок в системах функционального контроля логических устройств	114
--	-----

Травин С. М.

Изучение влияния жесткости грунтового основания на интенсивность колебаний строительных конструкций хранилища отработавшего ядерного топлива при сейсмическом воздействии	127
---	-----

Яковлев В. В., Кушназаров Ф. И.

Оценка влияния помех на производительность протоколов канального уровня	133
---	-----

→ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ**Петрова Т. М., Сорвачева Ю. А., Гаркавенко Ю. А.**

Эффективный контракт как средство повышения качества образовательных услуг	139
--	-----

Сацук Т. П.

Система ключевых показателей результативности в экономике организаций железнодорожного транспорта	144
---	-----

ABSTRACTS	149
АВТОРЫ СТАТЕЙ	156
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ	160



УДК 621.311

А. Т. Бурков, М. М. МирсаитовПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ
ПРИ ВЫБОРЕ МАКСИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ПАССАЖИРСКИХ СОСТАВОВ**

Приведены особенности методики определения электропотребления при выборе максимальной скорости пассажирских составов, за счет чего можно влиять на удельное потребление электроэнергии, на экономическую целесообразность, обусловленную сокращением времени нахождения пассажиров в пути, что в свою очередь увеличит занятость населения.

Рассмотрены факторы, влияющие на расход электроэнергии при повышении скорости движения. Затронуты проблемы усиления устройств электроснабжения высокоскоростных линий и увеличения аэродинамического сопротивления при скорости движения выше 200 км/ч.

удельный расход электроэнергии, электропотребление, удельное сопротивление движению, тяговое усилие, энергоемкость.

Введение

Для железных дорог со скоростью движения до 160 км/ч характер электротяговой нагрузки подчиняется закону нормального (Гауссова) распределения. Устройства электротяговой сети выбирают исходя из максимальных значений токовых нагрузок во время движения поездов по графику.

Для скоростей движения 160 и выше км/ч эмпирические зависимости основного сопротивления движению имеют более сложную форму. При этом существенное значение имеет аэродинамическое сопротивление движению. Непосредственно перед лобовой поверхностью головной единицы поезда создается зона повышенного давления. Воздух из этой зоны обтекает движущийся поезд вдоль боковых поверхностей. Завихрения воздуха образуются в промежутках между вагонами,

в подвагонном пространстве, за токоприемниками и другим крышевым оборудованием. За последним вагоном (локомотивом в случае его нахождения в хвосте поезда) создается зона пониженного давления, и туда устремляется воздух, образуя завихрения.

Однако для высокоскоростных железных дорог и железных дорог с интенсивным движением и повышенной пропускной способностью характер электротяговой нагрузки имеет иной вид. Для таких линий характерна импульсная нагрузка, при этом возрастают пиковые нагрузки на тяговые подстанции, увеличиваются потери напряжения и энергии в устройствах тягового электроснабжения, усложняются условия токосяема и повышается нагревание проводов контактной сети.

Расход энергии на перемещение поезда лучше всего определять по показателю удельного электропотребления – потреблению энергии в

ватт-часах на тонну массы поезда и километр пройденного пути.

Энергоемкость движущихся колесных пар электроподвижного состава определяется затратами энергии на ускорение поезда, преодоление уклона пути и сопротивление движению поезда [1].

В статье приведен пример расчета полной энергоемкости в кВт·ч на измеритель перевозочной работы на межподстанционной зоне «Акалтын – Янгиер» скоростного участка узбекских железных дорог «Ташкент – Самарканд».

1 Основные допущения.

Постановка задачи

Для расчета были приняты следующие условия и допущения:

- на тяговой подстанции Янгиер работает один тяговый трансформатор;
- коэффициент вращающихся масс $\gamma = 0,17$;
- участок имеет нулевой уклон ($i = 0$);
- равномерное ускорение и динамическое торможение между собой равны ($\alpha = \beta$).

Тяговые подстанции Акалтын и Янгиер имеют питающее напряжение 110 кВ.

Для анализа методики определения электропотребления рассмотрим примеры движения электропоезда Afrasyob (Talgo-250) со скоростью 120, 200 и 250 км/ч, для которых рас-

читано сопротивление движению. Для каждой скорости заданы соответствующие значения ускорения (табл. 1).

Электропоезд массой 324 т следует по межподстанционной зоне «Акалтын – Янгиер» протяженностью 39,2 км.

На основе формы кривой зависимости скорости от времени движения поезда строим ее аппроксимацию (рис. 1) для упрощения вычислений, используя методику замены ее трапецевидной кривой с варьирующими значениями таких факторов, как равномерное ускорение и динамическое сопротивление (рис. 2) [1].

Интегрирование зависимости скорости от времени позволяет определить расстояние, пройденное за время t . Численно это расстояние равно проекции кривой скорости. S – расстояние от А до Д, км; T – время движения на заданном участке пути, с; V_m – установившаяся скорость аппроксимированной кривой движения, км/ч; α, β – ускорение и замедление, соответственно, км/ч/с.

Площадь трапеции, ограниченной кривой, определяется формулой

$$S = \frac{V_m}{7200} \left[2T - \left(\frac{V_m}{\alpha} + \frac{V_m}{\beta} \right) \right], \text{ км.} \quad (1)$$

В уравнении (1) переменными являются S, V_m, T, α, β . Задаваясь четырьмя из них, можно определить неизвестную пятую величину [2].

ТАБЛИЦА 1. Исходные данные

Показатель	Значение		
Масса поезда m_n , т	324		
Скорость движения V_m , км/ч	120	200	250
Сопротивление движению W_0 , Н/кН	3,8	7,51	10,66
Ускорение/торможение $\alpha = \beta$, км/ч/с	1,5	1,5	1,5
	3	3	3
	5	5	5

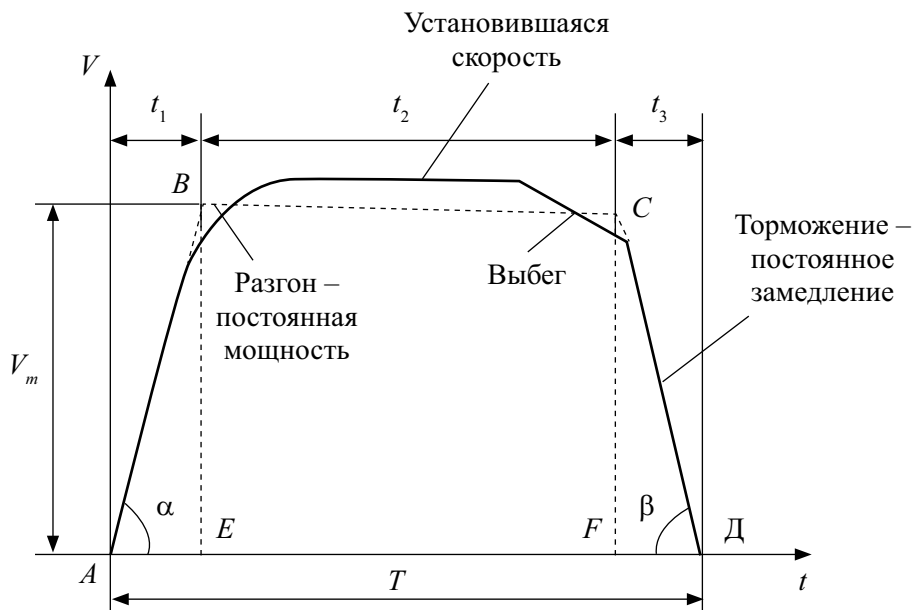


Рис. 1. Кривая зависимости скорости от времени (сплошная линия) и ее аппроксимация (пунктир)

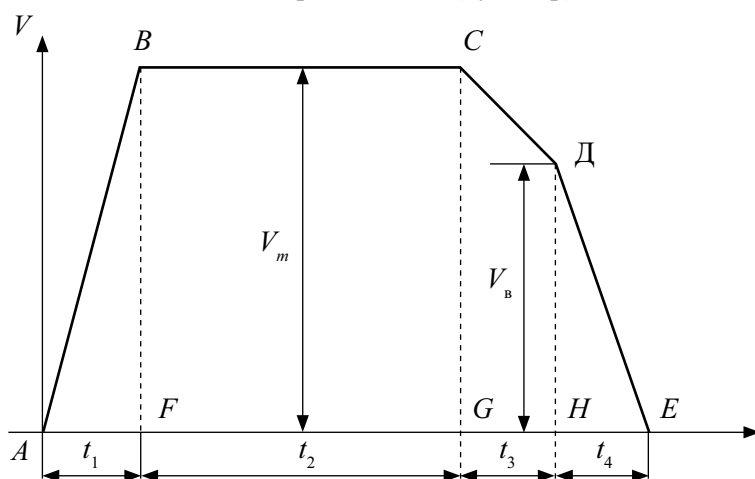


Рис. 2. Аппроксимированная кривая движения скоростного электропоезда

2 Определение времени нахождения электропоезда в пути

Из уравнения (1) определено время движения на этом участке пути:

$$T = \frac{7200 \frac{S}{V_m} + \left(\frac{V_m}{\alpha} + \frac{V_m}{\beta} \right)}{2}, \text{ с.} \quad (2)$$

Время прохода по заданному перегону для скоростей 120, 200 и 250 км/ч при различных

значениях ускорения приведены в табл. 2. Например, при $V_m = 120$ км/ч, $\alpha = \beta = 1,5$ км/ч/с

$$T = \frac{7200 \cdot \frac{39,2}{120} + \left(\frac{120}{1,5} + \frac{120}{1,5} \right)}{2} = 20,93 \text{ мин.}$$

По результатам расчетов построим трехмерный график (рис. 3).

Известно, что время в пути сокращается за счет увеличения скорости. При скорости

ТАБЛИЦА 2. Расчетные данные значения времени хода ЭПС в пути

Ускорение и замедление движения поезда, $\alpha = \beta$, км/ч/с	Время хода на участке, T , мин.		
	При $V_m = 120$ км/ч	При $V_m = 200$ км/ч	При $V_m = 250$ км/ч
1,5	20,93	13,98	12,18
3,0	20,27	12,87	10,8
5,0	20	12,43	10,24

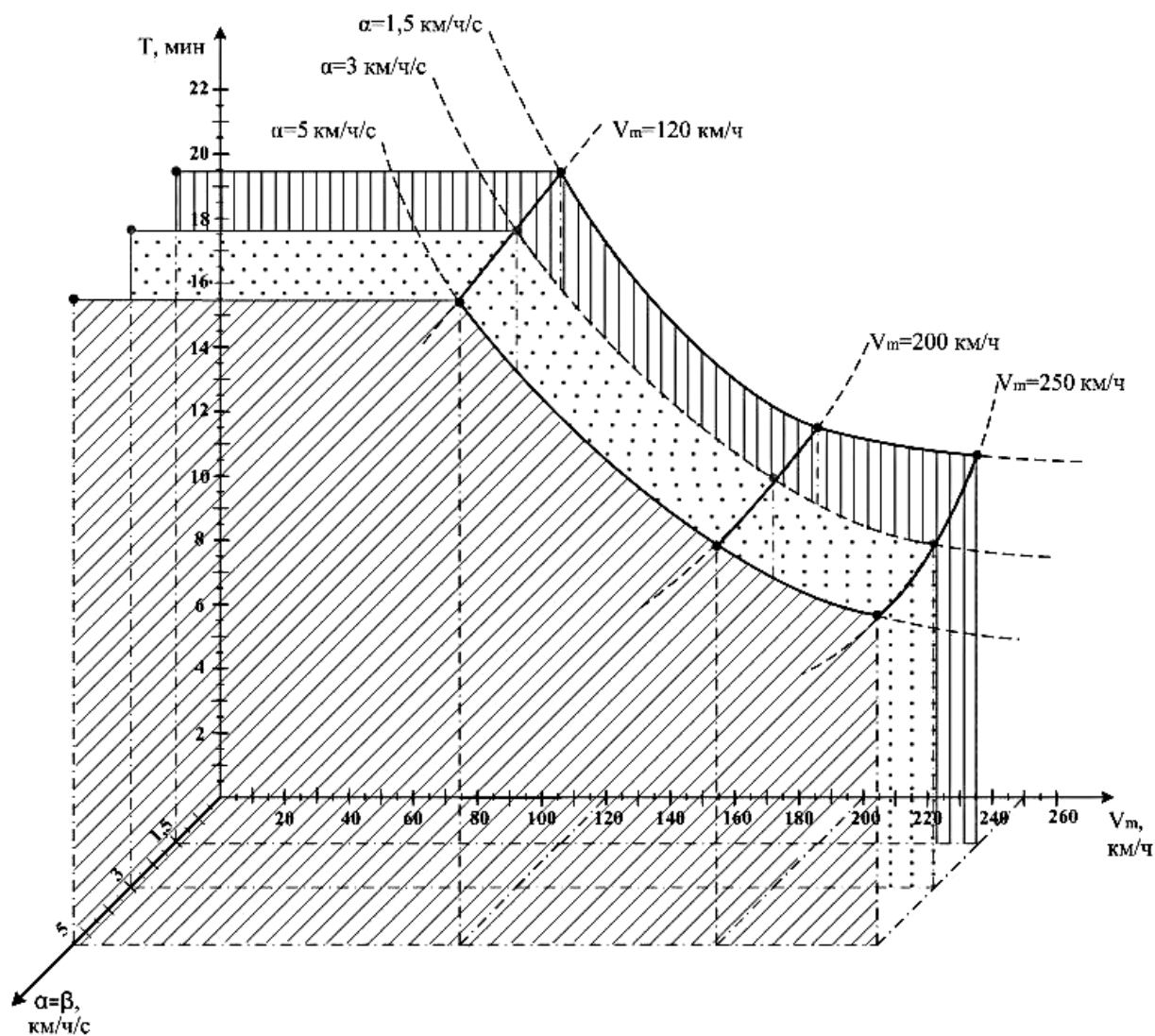


Рис. 3. Зависимость времени хода электропоезда Afrosiyob (Talgo-250) от скорости движения при заданных значениях ускорения и замедления

движения на заданном участке менее 200 км/ч отмечается слабая зависимость времени движения поезда от времени пуска, разгона и торможения. Для скоростей выше 200 км/ч при

движении поезда по заданному перегону в расчете времени движения поезда необходимо учитывать время пуска, разгона и торможения.

3 Полная энергоемкость движущих осей

По значению времени хода электропоезда определена полная энергоемкость движущих осей [2], расчетные данные для анализа показаны в табл. 3.

$$E_T = [10,72V_m^2 \cdot m_e + 2,73m_n \times \left(V_m T \cdot 1000 - \frac{V_m^2}{\beta} \right) (\omega_0 + i)] \cdot 10^{-6}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (3)$$

где m_e – приведенная (эффективная) масса поезда, кг:

$$m_e = m_n(1 + \gamma); \quad (4)$$

$$m_e = 324 \cdot (1 + 0,17) = 379,08 \text{ кг.}$$

При $V_m = 120$ км/ч, $\alpha = \beta = 1,5$ км/ч/с полная энергоемкость составляет

$$E_T = [10,72 \cdot 120^2 \cdot 379,08 + 2,73 \cdot 324 \times \left(200 \cdot 20,93 \cdot 1000 - \frac{120^2}{1,5} \right) \cdot 3,8] \cdot 10^{-6} = 2271,47;$$

по данным полной энергоемкости для заданного участка при различных скоростях (табл. 3) построен трехмерный график полной энергоемкости (рис. 4).

Из приведенных данных следует, что при увеличении скорости V_m полная энергоемкость движущих осей возрастает примерно пропорционально квадрату скорости движения.

4 Удельное электропотребление

По значению полной энергоемкости движущих осей определена

- удельная энергоемкость [2]:

$$e_T = \frac{E_T \cdot 10^{-4}}{m_n \cdot S} = \frac{10^4 [10,72V_m^2 \cdot m_e + 2,73m_n \cdot L_T (\omega_0 + i)] 10^{-6}}{m_n \cdot S} \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (5)$$

При $V_m = 120$ км/ч, $\alpha = \beta = 1,5$ км/ч/с

$$e_T = \frac{10^4 [10,72 \cdot 120^2 \cdot 379,08 + 2,73 \cdot 324 \times (200 \cdot 20,93 \cdot 1000 - \frac{120^2}{1,5}) \cdot 3,8] \cdot 10^{-6}}{324 \cdot 39,2} = 143,01 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

- удельное электропотребление

$$e = \frac{e_T}{\eta} \text{ кВт} \cdot \text{ч} / 10^4 \text{ т} \cdot \text{км}, \quad (6)$$

где η – КПД тягового электропривода Э, $\eta = 0,91$.

При $V_m = 120$ км/ч, $\alpha = \beta = 1,5$ км/ч/с

$$e = \frac{143,01}{0,91} = 157,15 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / 10^4 \text{ т} \cdot \text{км},$$

ТАБЛИЦА 3. Расчетные данные полной энергоемкости движущих осей

Ускорение и замедление движения поезда, $\alpha = \beta$, км/ч/с	Полная энергоемкость движущих осей, E_T , кВт·ч		
	При $V_m = 120$ км/ч	При $V_m = 200$ км/ч	При $V_m = 250$ км/ч
1,5	2271,47	2586,85	2839,49
3,0	2205,19	2414,9	2586,94
5,0	2178,68	2346,11	2485,91

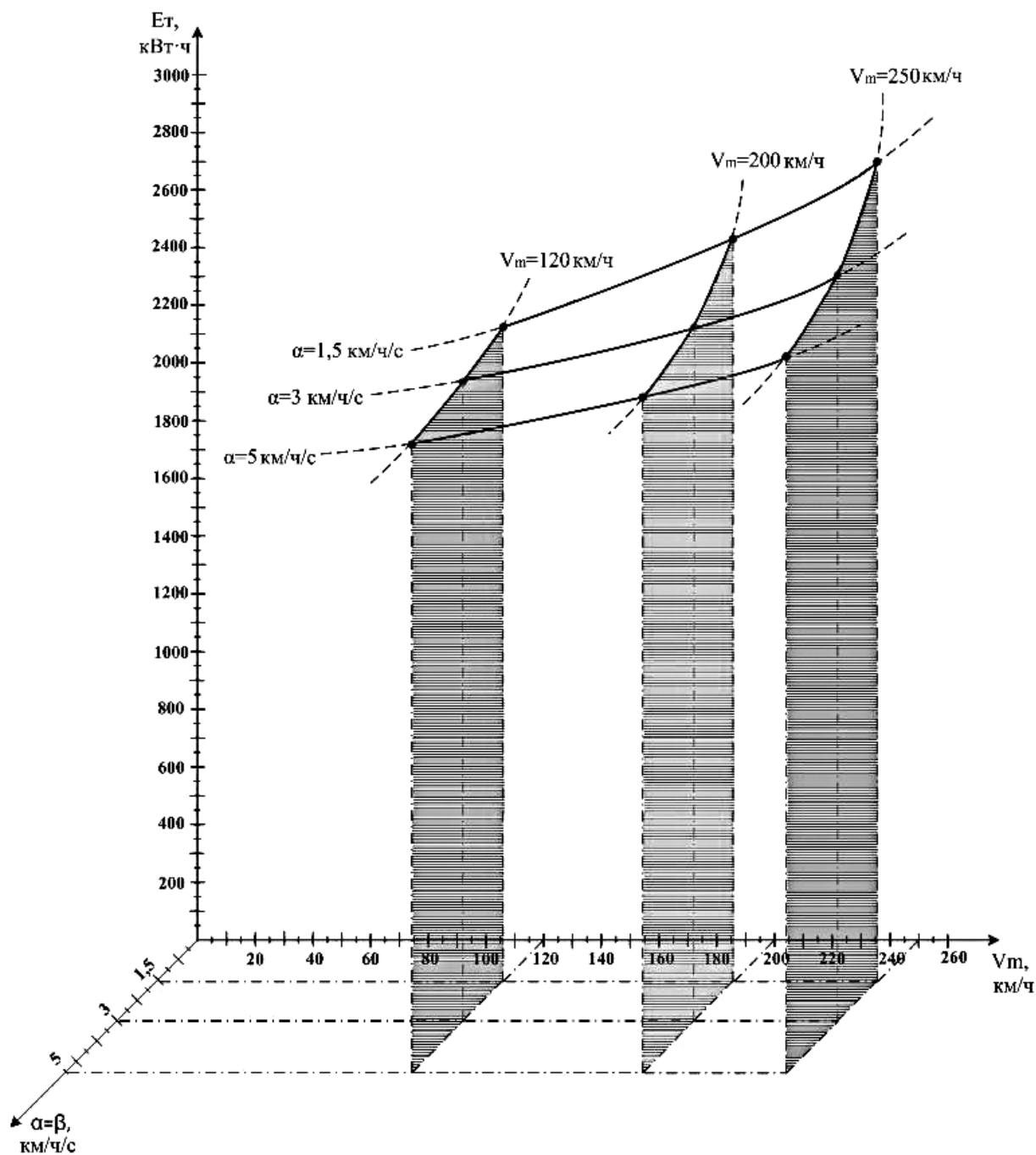


Рис. 4. Зависимость полной энергоемкости движущих осей электропоезда от значений ускорения, торможения и скорости движения V_m

или

$$e = 15,72 \text{ Вт} \cdot \text{ч/т} \cdot \text{км}.$$

По данным удельного электропотребления для заданного участка при различных скоро-

стях (табл. 4) построен трехмерный график (рис. 5).

По графику видно, что при увеличении скорости движения от 120 до 250 км/ч значение удельного электропотребления увеличивается в 3 раза.

ТАБЛИЦА 4. Расчетные данные удельного электропотребления

Ускорение и замедление движения поезда, $\alpha = \beta$, км/ч/с	Удельное электропотребление, e , Вт·ч/т·км		
	При $V_m = 120$ км/ч	При $V_m = 200$ км/ч	При $V_m = 250$ км/ч
1,5	15	29,83	40,88
3,0	15,7	33,25	47,37
5,0	16,01	34,91	50,8

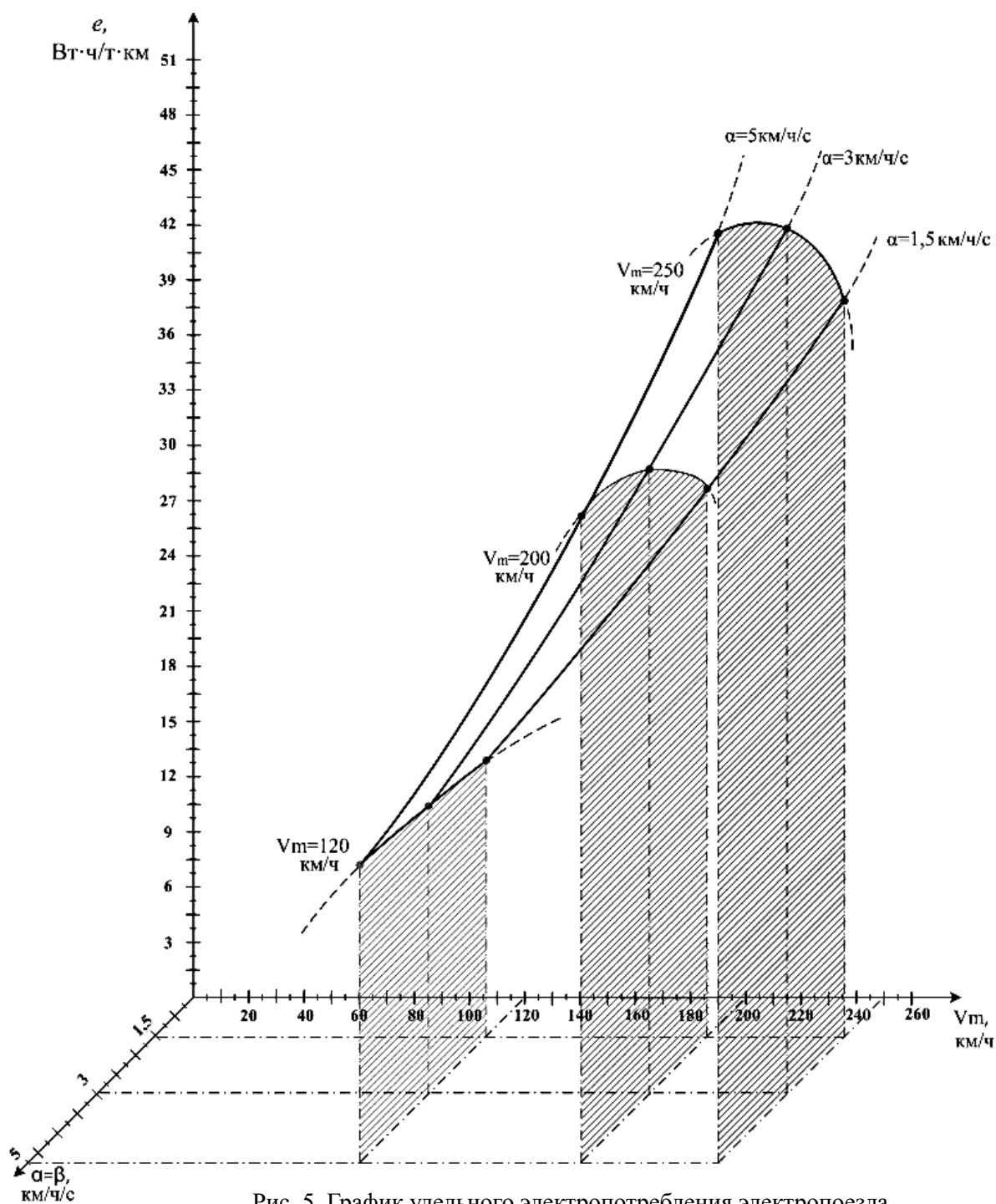


Рис. 5. График удельного электропотребления электропоезда

Заключение

Увеличение максимальной скорости движения влечет за собой необходимость улучшения инфраструктуры путевого хозяйства и электроснабжения, а также сопровождается увеличением удельного расхода электроэнергии, что в свою очередь ведет к возрастанию энергетической составляющей себестоимости перевозок.

В результате многофакторного эксперимента на расчетной модели определено удельное электропотребление для поездов со скоростью до 250 км/ч в условиях различной максимальной скорости движения на заданном участке.

Установлено, что удельный расход электроэнергии увеличивается при возрастании скорости вследствие увеличения аэродинамического сопротивления движению. Для горизонтального участка при ускорении ЭПС $\alpha = 5$ км/ч/с и скорости 250 км/ч удельное электропотребление более чем в 3 раза превышает этот показатель на скорости 120 км/ч, что

составляет 50,8 Вт·ч/т·км и 16,01 Вт·ч/т·км, соответственно.

Решение о применении скоростного и высокоскоростного движения на конкретной пассажирской линии следует принимать с учетом организации движения и тяговой мощности установленного электропривода на ЭПС по критерию минимума удельного электропотребления при заданном времени движения между пунктами остановки поезда.

Библиографический список

1. **Режимы** движения и особенности тяговых расчетов при определении нагрузок на устройства электроснабжения высокоскоростных линий / А. Т. Бурков, С. А. Бурков, М. А. Шарпилова // Элтранс-2011. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2013. – 584 с.
2. **Основные** принципы устройства электроприводов / Г. К. Дюбей. – 2-е изд. – М. : Техносфера, 2009. – 478 с.

УДК 656.043.1

С. А. Вырков

Научно-исследовательский центр проблем управления на железнодорожном транспорте Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I

КЛАССИФИКАЦИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ ПО КРИТЕРИЮ МАТЕРИАЛЬНОГО УЩЕРБА

Рассматривается вопрос о классификации нарушений безопасности движения на железнодорожном транспорте по критерию тяжести последствий, выраженной в денежном эквиваленте. Приводится обоснование целесообразности перехода на такой вид классификации, представлена методика определения финансовых границ между группами нарушений, основанная на кластерном анализе, проанализирована устойчивость финансовой границы при разбиении всех видов нарушений на два кластера.

классификация транспортных происшествий, кластерный анализ, критерий оптимального разбиения, межгрупповой среднеквадратический разброс, внутригрупповой среднеквадратический разброс, несмещенная оценка дисперсии.

Введение

Классификация транспортных происшествий (далее – классификация) предназначена для структурирования железнодорожных транспортных происшествий по определенным признакам. К задачам классификации также относятся определение статуса комиссии по расследованию транспортного происшествия, времени оповещения, глубины расследования, уровня принимаемых мер по недопущению подобных случаев в дальнейшем.

Основным критерием для формирования системы классификации транспортных происшествий является тяжесть наступивших последствий в результате возникновения случая. В соответствии с этим критерием существует несколько подходов к разработке классификации. Например, на железных дорогах РФ, Беларуси, Узбекистана, Казахстана, Украины и некоторых других стран СНГ градация всех возможных случаев происходит по тяжести последствий, выраженных в натуральных величинах потерь (количестве погибших, числе списанных единиц подвижного состава, объемах ремонта). На железных дорогах Европейского союза случаи классифицируются как по типу происшествий (сход, столкновение, происшествие на железнодорожном переезде и др.), так и по материальному ущербу. В США возможные случаи классифицируются по тяжести последствий, выраженных в денежном эквиваленте, где основными видами нарушений является «incident» и «accident», а денежная граница составляет величину порядка 20 000 долларов (по данным на конец 2000-х годов).

Самым перспективным подходом к классификации транспортных происшествий для отечественного железнодорожного транспорта является градация по материальному ущербу. Конечным результатом любого нарушения являются финансовые затраты на ликвидацию его последствий, поэтому такой подход наиболее универсален. Его достоинством является также возможность общей оценки состояния безопасности движения на участках, маршрутах и полигонах дороги.

Задача настоящей статьи – изложить методику определения финансовых границ между видами транспортных происшествий и анализ устойчивости границ для разных выборок.

1 Методика определения финансовых границ между видами происшествий

Разбиение транспортных происшествий по материальному ущербу проводится на основе кластерного анализа [1]. Пусть x_i ($i = 1, \dots, n$) – упорядоченные по величине данные (средний материальный ущерб от i -го происшествия), т.е. $x_i > x_j$ при $i > j$ (рис. 1). Исходные данные по x_i приведены в табл. 1. В связи с отсутствием точных значений материального ущерба по видам происшествий и событий величина потерь была установлена на основании многолетней практики распределения суммарных потерь по видам происшествий [3–5].

Множество значений x_i обозначим через D . Задача состоит в том, чтобы разбить множество D на несколько групп так, чтобы данные внутри каждой группы различались между собой в среднем меньше, чем данные, принадлежащие разным группам. Для решения этой задачи введем множество $A(a, b) = \{x \in D \mid a < x < b\}$. Обозначим группы, на которые разбивается массив данных, через G_k , и пусть M – количество таких групп. Пусть далее величины $z_0 < z_1 < \dots < z_M$ – границы групп, причем $G_k = A(z_{k-1}, z_k)$.

В качестве критерия разбиения принята величина

$$K(z_0, z_1, \dots, z_M) = \frac{\sum_{i=1}^M S(G_i)}{\sum_{i=1}^{M-1} T(G_i, G_{i+1})}, \quad (1)$$

где

$$S(G_i) = \frac{2}{n_i(n_i - 1)} \sum_{\substack{j, m=1 \\ (j < m)}}^{n_i} (x_j - x_m)^2;$$

$$T(G_i, G_k) = \frac{1}{n_i n_k} \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{m=1}^{n_k} (x_j - x_m)^2,$$

где n_i – число элементов в группе.

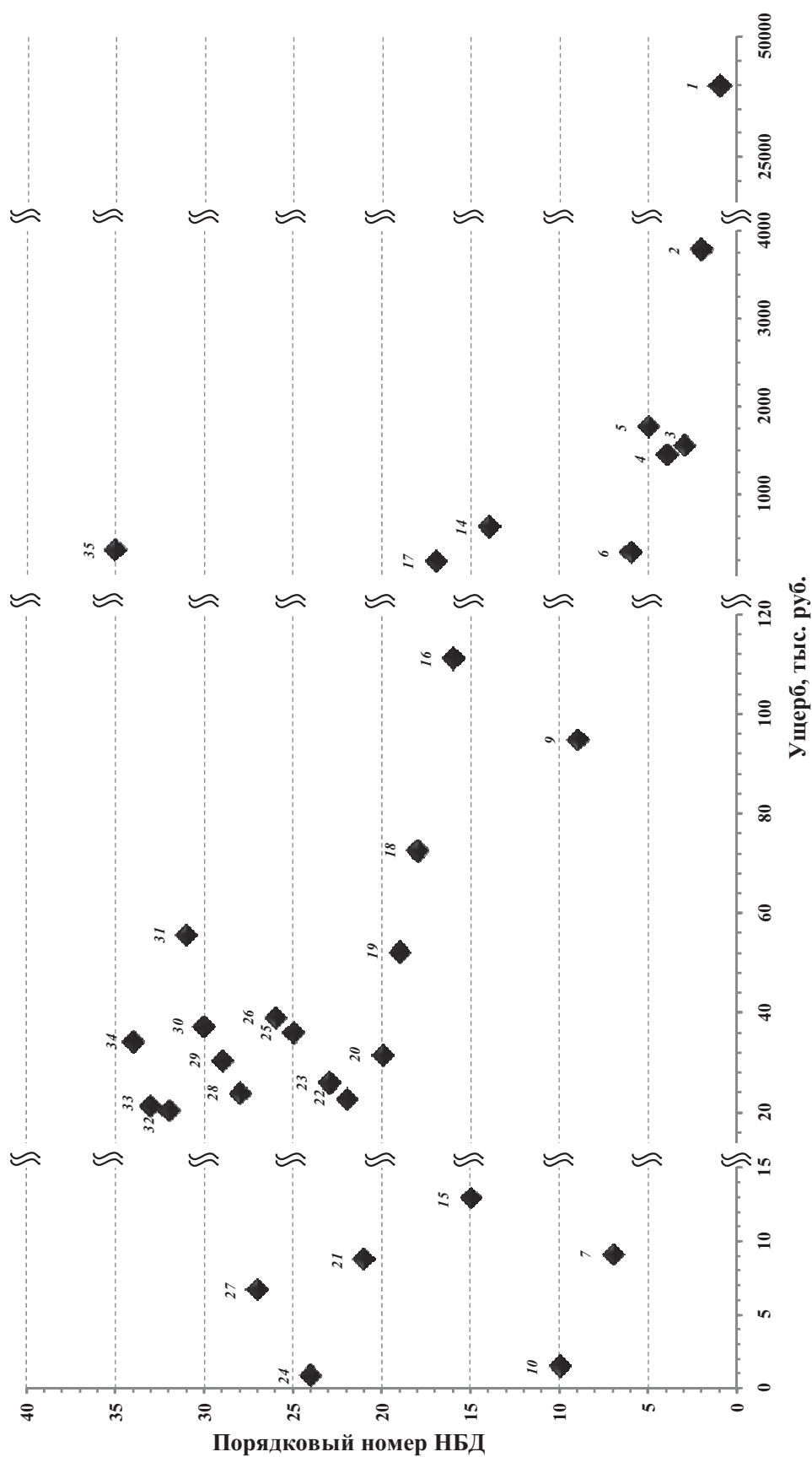


Рис. 1. Распределение видов транспортных происшествий и событий по материальному ущербу

ТАБЛИЦА 1. Данные ОАО «РЖД» за 2010–2012 гг. для определения финансовых границ между транспортными происшествиями и событиями

№ на граф-ке	Происшествия/события	Средний ущерб, тыс. руб.	№ на граф-ке	Происшествия/события	Средний ущерб, тыс. руб.
1	Крушения	39 628,43	25	Излом рельса под поездом	35,87
2	Аварии	3777,56	34	Наезд поезда на посторонние предметы	34,14
5	Столкновение поездов (в том числе с пассажирским)	1764,92	20	Отцепка вагона от пассажирского поезда в пути следования из-за технических неисправностей	31,58
3	Сход подвижного состава в пассажирском поезде	1544,05	29	Отцепка вагона от поезда из-за нарушения технических условий погрузки	30,38
4	Сход подвижного состава в грузовом (или хозяйственном) поезде	1441,85	23	Повреждение или отказ локомотива, вызвавшие вынужденную остановку пассажирского поезда на перегоне или промежуточной станции, если дальнейшее движение поезда продолжено с помощью вспомогательного локомотива	25,90
14	Затопление, пожар, связанные с несоблюдением условий безопасности движения, вызвавшие полный перерыв движения поездов хотя бы по одному из путей на перегоне на 1 и более час	621,75	28	Взрез стрелки	23,90
35	Несанкционированное движение подвижного состава на маршрут приема, отправления поезда или на перегон	362,50	22	Неисправность подвижного состава, результатом которой явилась отмена отправления поезда со станции отправления, или повлекшая высадку пассажиров из поезда на промежуточной станции	22,86
6	Проезд запрещающего сигнала светофора или предельного столбика	331,91	33	Неисправность пути, вызвавшая закрытие движения или ограничение скорости движения поездов до 15 км/ч	21,44

Окончание табл. 1

№ на граф-ке	Происшествия/события	Средний ущерб, тыс. руб.	№ на граф-ке	Происшествия/события	Средний ущерб, тыс. руб.
17	Столкновение подвижного состава при маневрах	232,62	32	Неисправность технических средств, в результате которых допущена задержка поезда сверх времени, установленного графиком движения, на 1 и более час	20,43
16	Сход подвижного состава при маневрах	110,88	15	Неограждение сигналами опасного места для движения поездов при производстве работ	12,84
9	Развал груза в пути следования	94,78	7	Прием поезда на занятый путь	9,05
18	Прием, отправление поезда по неготовому маршруту	72,54	21	Неисправность вагона пригородного поезда с отцепкой его в пути следования	8,71
31	Падение на путь деталей подвижного состава	55,53	27	Отцепка вагона от грузового поезда в пути следования из-за нагрева буксы или других технических неисправностей	6,62
19	Перевод стрелки (под поездом, маневровым составом)	52,32	10	Излом оси, осевой шейки или колеса	1,43
26	Саморасцеп автосцепок в поездах	38,96	24	Отправление поезда с перекрытыми концевыми кранами	0,84
30	Обрыв автосцепки подвижного состава	37,17	–		

Величина $S(G_i)$ характеризует разброс данных внутри группы (G_i), а $T(G_i, G_k)$ – среднеквадратическое отклонение между данными в группах G_i и G_k . В знаменатель (1) включены только величины $T(G_i, G_{i+1})$, относящиеся к группам, смежным по величине элементов. Отметим, что $S(G_i)$ отличается от несмещенной оценки дисперсии лишь коэффициентом 2:

$$S(G_i) = 2 \frac{1}{n_i(n_i - 1)} \sum_{j=1}^{n_i} (x_j - \bar{x})^2;$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_j.$$

Определение оптимального по критерию (1) разбиения сводится к задаче минимизации:

$$\min_{z_1, z_2, \dots, z_{M-1}} K.$$

При минимизации критерия K в число варьируемых параметров включены только межгрупповые границы. Крайние границы z_0 и z_M фиксируются при значениях $z_0 < x_1$ и $z_M < x_n$. Границы, разделяющие группы, варьируются дискретно и выбираются из множества значений $(x_i + x_{i+1})/2$, т.е. между экспериментальными значениями.

2 Анализ вариантов построения системы классификации

В соответствии с предлагаемой методикой проанализируем влияние количества финансовых границ на оптимальный критерий разбиения для каждого исследуемого года. Число границ будет варьироваться от одной до пяти (табл. 2).

По результатам построим график влияния количества финансовых границ на значение оптимального разбиения (рис. 2).

ТАБЛИЦА 2. Значения критерия разбиения в зависимости от числа финансовых границ

Период, год	Значение K при оптимальном разбиении				
	5 границ	4 границы	3 границы	2 границы	1 граница
2010	0,18	0,094	0,024	0,020	0,0092
2011	0,17	0,098	0,026	0,020	0,0084
2012	0,15	0,091	0,022	0,017	0,0070
2010–2012	0,11	0,075	0,013	0,011	0,0046

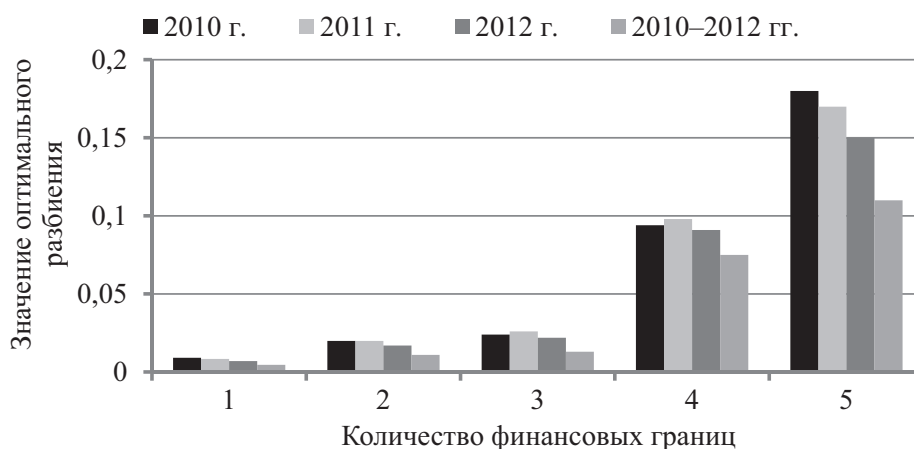


Рис. 2. График зависимости значения оптимального критерия разбиения от числа финансовых границ

Как видно из рис. 2, с увеличением числа финансовых границ между видами транспортных происшествий и событий также увеличивается критерий оптимального разбиения. В связи с этим градация всех случаев более чем на 3 группы нецелесообразна. Наилучшим вариантом является разделение всей выборки на 2 группы как по критерию разбиения (1), так и по сложившейся практике отнесения нарушений безопасности движения к происшествиям или событиям [2].

3 Анализ устойчивости финансовой границы в зависимости от количества границ

По результатам анализа определим значение границы между видами нарушений безопасности движения для двух групп (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3. Значения финансовой границы при оптимальном критерии разбиения

Период наблюдения	Значение финансовой границы, тыс. руб.
2010 г.	4 796,45
2011 г.	952,50
2012 г.	1 582,40
2010–2012 гг.	2 771,24

Как видно из табл. 3, значение финансовой границы за исследуемый период варьируется в широком диапазоне. Для уменьшения этого разброса разобьем исследуемую выборку без учета максимального значения среднего ущерба, т. е. исключим «крушение». Результаты сведены в табл. 4.

В соответствии с принятым условием величина разброса сократилась. Теперь все возможные случаи нарушения безопасности движения можно разбить на две группы: события, если материальный ущерб составил менее 1 млн руб., и происшествия, если материальный ущерб превысил эту сумму.

ТАБЛИЦА 4. Значения финансовой границы при оптимальном критерии разбиения без учета максимального значения среднего ущерба

Период наблюдения	Значение финансовой границы, тыс. руб.
2010 г.	1134,56
2011 г.	732,23
2012 г.	832,98
2010–2012 гг.	1056,34

Заключение

Таким образом, наилучший вариант классификации железнодорожных транспортных происшествий и событий по среднему материальному ущербу получается при разбиении всей выборки на два кластера.

Чтобы повысить устойчивость границы материального ущерба, при разбиении не должны учитываться происшествия и события с максимальным и минимальным значениями ущерба.

В действующем приказе Министерства транспорта РФ № 163 [2] все возможные нарушения безопасности движения подразделяются на два вида: происшествия и события. В связи с этим дальнейшее развитие системы классификации этих случаев в соответствии с предложенным в статье подходом базируется на установлении одной финансовой границы.

Библиографический список

1. **Кластерный анализ** / Б. Дюран, П. Оделл ; под ред. и с предисл. А. Я. Боярского ; пер. с англ. Е. З. Демиденко. – М. : Статистика, 1977. – 128 с.
2. **Приказ** Минтранса РФ от 25 дек. 2006 г. № 163 «Об утверждении Положения о порядке служебного расследования и учета транспортных происшествий и иных, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта, событий».

3. **Консолидированный** финансовый отчет о финансовом положении ОАО «РЖД» по состоянию на 31 декабря 2010 г. – URL : http://ir.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=32.

4. **Консолидированный** финансовый отчет о финансовом положении ОАО «РЖД» по состоянию

на 31 декабря 2011 г. – URL : http://ir.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=32.

5. **Консолидированный** финансовый отчет о финансовом положении ОАО «РЖД» по состоянию на 31 декабря 2012 г. – URL : http://ir.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=32.

УДК 629.463.32

И. Г. Киселев, В. В. Галов, С. Б. Комиссаров

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ПУТИ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК НА КОТЕЛ ВАГОНА-ЦИСТЕРНЫ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ЖИДКОГО ПЕКА

Представлена информация о каменноугольном пеке, перевозимом железнодорожным транспортом. Описано устройство вагона-цистерны для перевозки жидкого пека. Рассмотрена проблема разрушения котла вагона-цистерны вследствие циклического разогрева груза электрическими подогревателями. Показана зависимость основных показателей прочности стали от температуры. Приведены возможные пути предотвращения снижения прочностных характеристик котла. Представлены постановка и решение краевой задачи теплопроводности в частных производных с учетом и без учета эквивалентного коэффициента теплопроводности.

жидкий пек, вагон-цистерна, электронагреватель, предел текучести.

Введение

Условия эксплуатации вагонов-цистерн, оборудованных электрическими подогревателями, определяет специфику их повреждений, характер и особенности которых в настоящее время не отражены в нормативных документах.

Особенность конструкции таких вагонов-цистерн делает стоимость их ремонта достаточно высокой по сравнению с вагонами-цистернами универсальной конструкции (без системы разогрева).

Для минимизации мероприятий по поддержанию парка данного вида подвижного состава в рабочем состоянии требуется исследовать снижение тепловых нагрузок на котел цистерны, которые являются главной причиной выхода вагонов из строя.

1 Свойства перевозимого груза – каменноугольного пека

Каменноугольный пек – твердый продукт переработки каменноугольной смолы (выход 50–60 мас.%), используется в качестве компо-

нента для получения анодной массы и обожженных анодов, являющихся, в свою очередь, необходимыми составляющими производства алюминия. Плотность 1,2–1,3 г/см³, зольность – 0,2–0,3 %. Не имеет определенных температур плавления и затвердевания; плавится в интервале, характеризуемом температурой размягчения. Различают каменноугольный пек среднетемпературный (с температурой размягчения 65–90 °С; с температурой вспышки 200–250 °С; выход летучих веществ, образующихся при термическом разложении, 53–63 %) и высокотемпературный (с температурой размягчения 135–150 °С; с температурой вспышки 360–400 °С; выход летучих веществ, образующихся при термическом разложении, 43–54 %). Повышение температуры размягчения достигается дистилляцией среднетемпературного пека с водяным паром или инертными газами и обработкой воздухом.

2 Подвижной состав для перевозки жидкого пека

Жидкий пек транспортируется в специализированных железнодорожных вагонах-

цистернах, оборудованных термоизоляцией котла и специальными электрическими нагревателями, обеспечивающими его перевозку в жидком состоянии при температуре окружающей среды до минус 30 °С, а также его разогрев на пунктах выгрузки [1].

Встроенные электрические подогреватели устанавливаются под котлом цистерны в нижней части воздушного зазора, образованного между котлом и кожухом электронагревателей.

Секции электронагревателей (рис. 1), устанавливаемые под котлом в нижней части воздушного зазора между котлом и кожухом электронагревателей в специальных нишах, легко снимаются [2].

Все электронагреватели цистерны разделены на три группы, каждая из которых тоже разделена на три подгруппы, соединенные между собой по схеме «звезда». Нагреватели каждой подгруппы соединены параллельно. Подключение электронагревателей цистерны по схеме «звезда» к сети промышленного переменного тока напряжением 380 В обеспечивает на фазе напряжение 720 В. Каждая группа электронагревателей имеет номинальную мощность 30 кВт. Суммарная мощность всех нагревателей составляет 90 кВт [3].

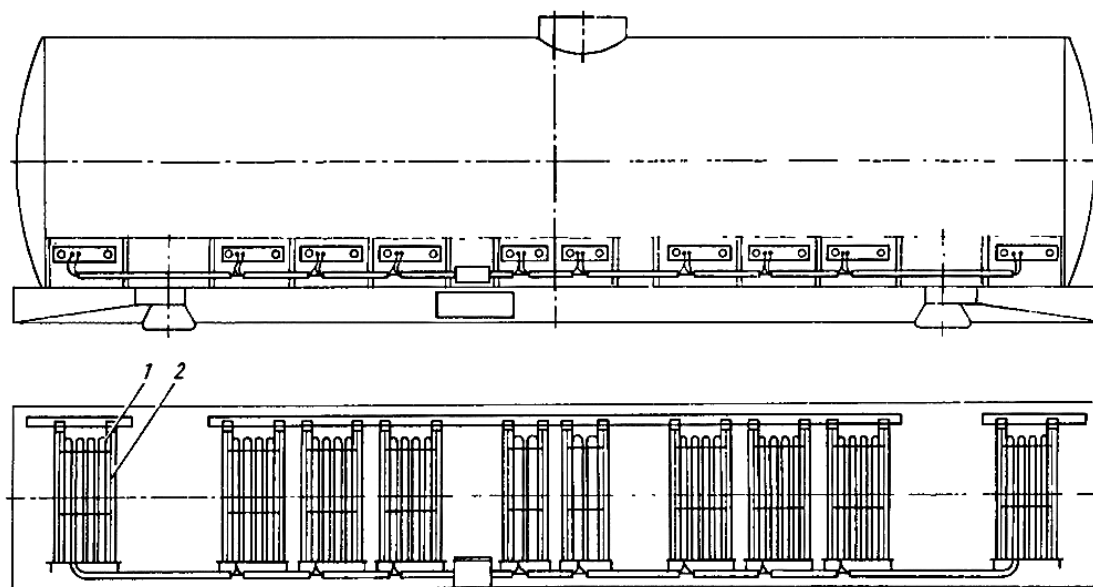


Рис. 1. Установка электронагревателей на цистерне для пека модели 15–1532:
1 – электрические нагреватели; 2 – съемные секции

3 Снижение прочностных характеристик котла цистерны вследствие перегрева

Котел вагона-цистерны для пека испытывает температурное воздействие от груза, загружаемого при температуре 300 °С и выгружаемого после разогрева нагревательными элементами с 500 °С [4]. Температура пека, перевозимого в течение 5 суток, сохраняется не ниже 180 °С (рис. 2).

Повышенные температуры снижают прочностные характеристики стали. С ростом температуры уменьшается значение предельных напряжений, под воздействием которых наблюдается переход упругого состояния металла в пластичное (предел текучести), т. е. снижается сопротивление пластической деформации.

Исследования показали зависимость от температуры основных показателей прочности стали 10 Г2 СА, применяемой для изготовления котлов вагонов-цистерн для пека, а

именно временного сопротивления σ_v и предела текучести $\sigma_{0,2}$ (рис. 3) [5].

4 Предотвращение снижения прочностных характеристик котла цистерны вследствие перегрева

Существует несколько вариантов снижения воздействия перегрева котла цистерны на его прочностные характеристики.

Одним из путей снижения воздействия перегрева является применение стали с повышенными значениями временного сопротивления и предела текучести для изготовления котлов цистерны для перевозки жидкого пека.

Однако это может привести к снижению показателей сопротивления, усталости материала, что неблагоприятно сказывается на сроке службы вагонов [5].

Другой путь снижения воздействия перегрева – решение задачи теплообмена при

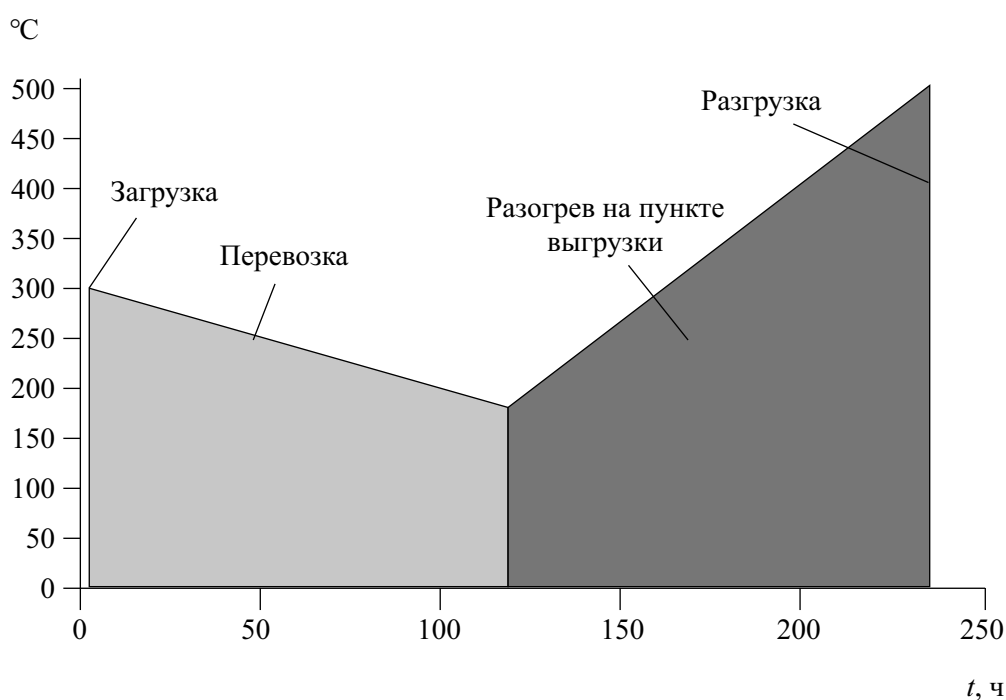


Рис. 2. Цикл разовой температурной нагрузки котла вагона-цистерны модели 15-1532 для жидкого пека

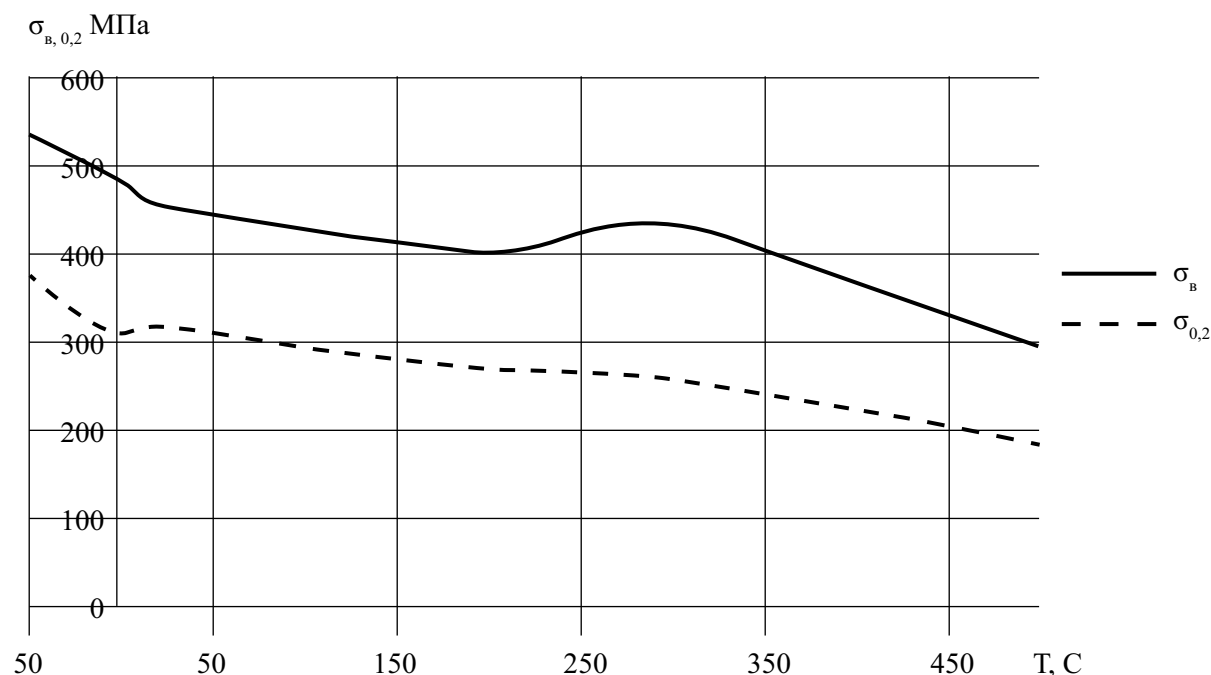


Рис. 3. Температурная зависимость временного сопротивления и предела текучести для стали 10 Г2 СА

разогреве жидкого пека в железнодорожной цистерне с целью снижения мощности электрических нагревателей.

Разогрев пека происходит за счет теплопереноса в среде двумя способами: за счет теплопроводности и конвекции.

Разогрев затвердевающего груза в неподвижной железнодорожной цистерне сопровождается только свободным движением частиц, т.е. происходит в условиях естественной конвекции. При таких условиях имеет место перенос теплоты через отдельные слои груза, где каждый слой характеризуется эквивалентным коэффициентом теплопроводности $\lambda_{\text{экв}}$, что позволяет рассматривать разогреваемый в цистерне груз как квазитвердое тело с переменным коэффициентом теплопроводности. Процесс конвективного теплообмена в этом случае сводится к явлению теплопроводности, что исключает из рассмотрения уравнения гидродинамики и существенно упрощает математическое описание теплообмена.

Уравнение теплопроводности согласно закону Фурье для слоя разогреваемого груза будет записано в виде

$$q = \frac{\lambda_{\text{экв}}}{\delta_i} (T_i - T_{i+1}),$$

где i – индекс номера слоя; T_i, T_{i+1} – температуры на границах слоя, К; δ_i – толщина слоя, м.

Эквивалентный коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{экв}}$ вычисляется по формуле $\lambda_{\text{экв}} = \varepsilon_k \lambda_{\text{ГР}}$, его значение уточняется на каждом шаге расчета. Здесь и далее «ГР» показывают принадлежность коэффициента характеристике груза.

Коэффициент конвекции ε_k является функцией чисел Прандтля Pr и Грасгофа Gr :

$$\varepsilon_k = 0,105 (Pr_{\text{ГР}} Gr_{\text{ГР}})^{0,3};$$

$$10^3 \leq Pr_{\text{ГР}} Gr_{\text{ГР}} \leq 10^6;$$

$$\varepsilon_k = 0,4(\text{Pr}_{\text{ГР}} \text{Gr}_{\text{ГР}})^{0,2};$$

$$10^6 \leq \text{Pr}_{\text{ГР}} \text{Gr}_{\text{ГР}} \leq 10^{10}.$$

При малых значениях аргумента $\text{Pr}_{\text{ГР}} \text{Gr}_{\text{ГР}} < 10^3$ значение функции равно $\varepsilon_k = 1$, что обуславливает теплоперенос в разогреваемом грузе только теплопроводностью. Снижение интенсивности теплообмена при больших значениях аргумента $\text{Pr}_{\text{ГР}} \text{Gr}_{\text{ГР}} > 10^6$ объясняется противоположным взаимодействием, возникающим при движении восходящих (нагретых) и нисходящих (охлажденных) потоков в разогреваемом грузе.

Решение задачи теплопроводности заключается в определении поля температур в котле железнодорожной цистерны при разогреве груза. С точки зрения зависимости температуры от времени задача является нестационарной. Зависимость эквивалентного коэффициента теплопроводности от температуры

$\lambda_{\text{экв}} = f(\Delta T)$ приводит к нелинейности дифференциального уравнения и, следовательно, задачи теплопроводности.

Разогрев груза в железнодорожной цистерне определяет полярную постановку задачи. В качестве расчетной области выбрана половина поперечного сечения средней части котла цистерны (рис. 4). Расчет процесса разогрева в этом случае сводится к решению параболического дифференциального уравнения в частных производных

$$\begin{aligned} c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = & \frac{\partial}{\partial r} \left[\lambda_{\text{экв}} \frac{\partial T}{\partial r} \right] + \\ & + \frac{\lambda_{\text{экв}}}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left[\lambda_{\text{экв}} \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right]. \end{aligned}$$

Уравнение имеет бесчисленное множество решений. Для получения единственного решения конкретизирована задача теплопроводности при заданных условиях однозначности.

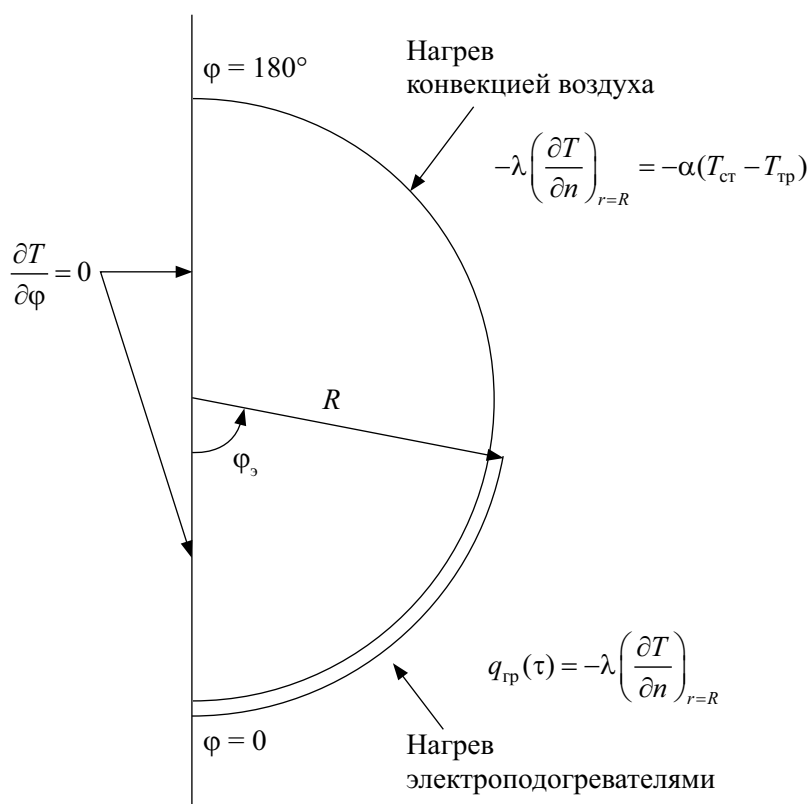


Рис. 4. Расчетная область железнодорожной цистерны со встроенным электроподогревом

Для систем разогрева встроенными электроподогревателями снаружи котла цистерны начальные условия задаются выражением

$$T(r, \varphi) = T_0; \quad 0 \leq r \leq R; \quad 0 \leq \varphi \leq 180^\circ.$$

Граничные условия определяются системами выражений, характеризующих передачу теплоты в разных зонах котла цистерны (рис. 4):

$$q_{\text{ГР}}(\tau) = -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right); \quad r = R; \quad 0 \leq \varphi \leq \varphi_3;$$

$$-\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right) = \alpha(T_{\text{н}} - T_{\text{ГР}}); \quad r = R; \quad \varphi_3 \leq \varphi \leq 180^\circ.$$

Результат решения краевой задачи теплопроводности в частных производных без уче-

та эквивалентного коэффициента теплопроводности, учитывая, что у всего затвердевшего груза одинаковый коэффициент теплопроводности, показан на рис. 5а. Данное решение задачи теплопроводности при нагреве каменноугольного пека неверно. Результаты расчета показали, что при подведенной теплоте электронагревателей за время $\tau = 6$ ч происходит сильный перегрев стенки котла до 600°C , а большая часть груза остается неразогретой, ее температура равна 50°C . Следовательно, нельзя считать затвердевший вязкий груз однородным твердым телом, так как при разогреве меняются его теплофизические характеристики, что изменяет последовательность расчета: необходимо учитывать гидродинамические уравнения разогрева жидкости, которые значительно усложняют поставленную задачу.

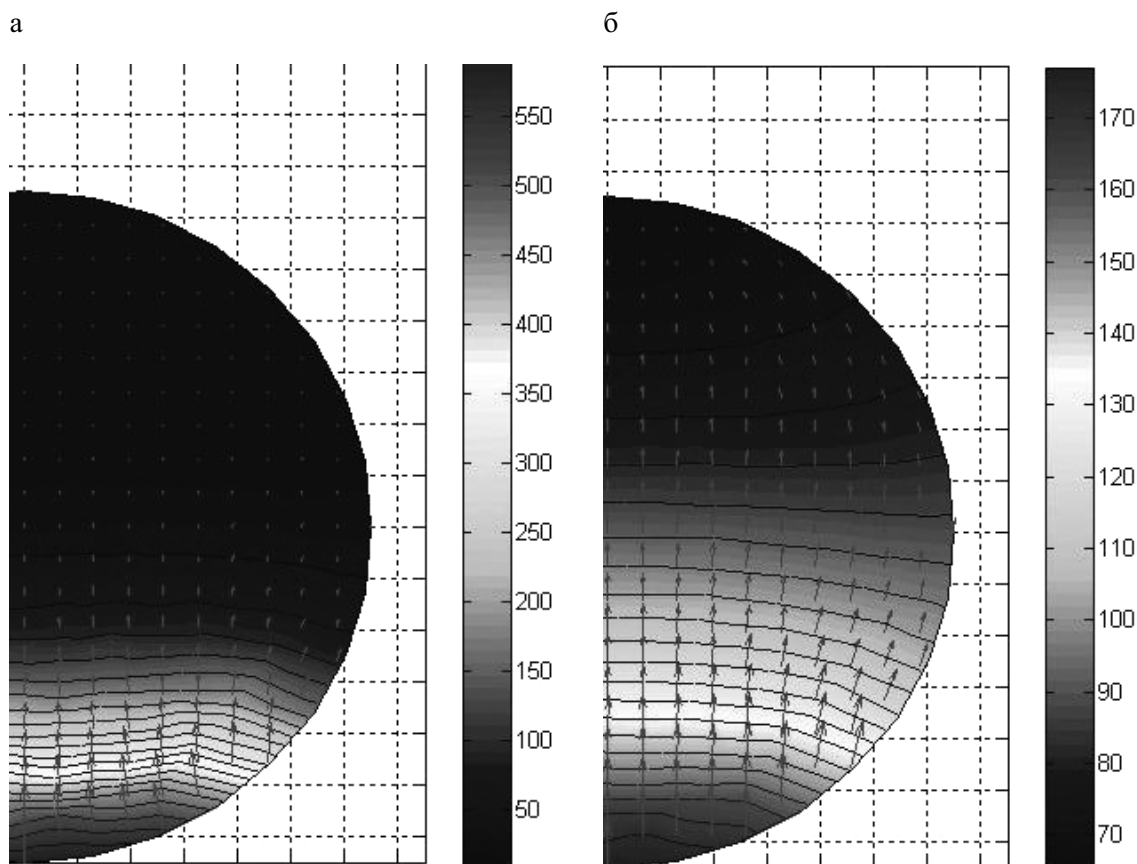


Рис. 5. Температурное поле $T(x, y, \tau)$ при $\tau = 6$ ч: без учета (а) и с учетом (б) эквивалентного коэффициента теплопроводности

Результат решения краевой задачи теплопроводности в частных производных, учитывающий эквивалентный коэффициент теплопроводности, представлен на рис. 5б. Загустевший пек в верхней части цистерны разогревается до 70 °С, в нижней – до 180 °С, что и требуется по исходной задаче. Перегрева стенок котла в данном случае не наблюдается.

Заключение

В ходе исследования подтвердилось, что $\tau = 6$ ч является оптимальным временем для разогрева каменноугольного пека в железнодорожной цистерне электроподогревателями, загустевший пек в верхней части цистерны разогревается до 70 °С, в нижней – до 180 °С, что и требуется по исходной задаче, перегрева стенок котла не наблюдается. Максимальная температура размягчения пека составляет 150 °С. Нагревание стенки котла цистерны до 250 °С вместо 500 °С позволит сохранить прочностные характеристики и избежать по-

вреждений, связанных с потерей устойчивости оболочки котла.

Библиографический список

1. **Вагонное хозяйство** / В. И. Гридюшко, В. П. Бугаев, Н. З. Криворучко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1988. – 295 с.
2. **Цистерны** (Устройство, эксплуатация, ремонт) : справ. пособие / В. К. Губенко, А. П. Никодимов, Г. К. Жилин и др. – М. : Транспорт, 1990. – 151 с.
3. **Специализированные** цистерны для перевозки опасных грузов : справ. пособие. – М. : МПС РФ; Изд-во стандартов, 1993.
4. **Вагоны** промышленного железнодорожного транспорта : учеб. / П. В. Шевченко, А. П. Горбенко. – Киев : Вища шк., 1980. – 224 с.
5. **Методика** определения объема ремонта котлов при восстановлении ресурса вагонов-цистерн для перевозки жидкого пека / А. А. Битюцкий, К. И. Рыжов // Совершенствование методов испытаний и диагностики грузовых вагонов : сб. науч. тр. Вып. 2 / под ред. А. А. Битюцкого ; Инженер. центр вагоностроения. – СПб. : ОМ-Пресс, 2007. – С. 90–100.

УДК 656.2

В. А. Кудрявцев, А. А. СветашевПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**СНИЖЕНИЕ СРЕДНЕСУТОЧНЫХ ЗАТРАТ ВАГОНО-ЧАСОВ
НА НАКОПЛЕНИЕ ВАГОНОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПОЕЗДОВ
ПО ГИБКОЙ НОРМЕ СОСТАВА**

На сортировочных станциях существенным элементом простоя вагонов является их простой в ожидании прибытия других вагонов данного назначения и накопление до установленной нормы состава. Предлагается допущение некоторого отклонения формируемого состава от установленной нормы в меньшую сторону, что ведет к снижению средней величины остатка вагонов и как следствие – к уменьшению затрат на накопление вагонов. Приведены результаты обработки большого массива статистических данных, обоснованы зависимости, позволяющие определить среднюю величину остатка вагонов и затраты вагоно-часов на накопление при разных значениях возможного отклонения величины состава от нормы.

средняя величина формируемого состава, средняя величина остатка, максимальная величина состава, параметр накопления, затраты вагоно-часов.

Введение

На сортировочных станциях практически неуправляемым элементом простоя вагонов является их простой в сортировочном парке в ожидании прибытия других вагонов данного назначения до момента их накопления на норму состава, после чего формируется поезд. Обычно норма состава устанавливается по вместимости приемо-отправочных путей и строго контролируется, так как при уменьшении величины состава снижается производительность локомотивов и увеличивается потребность в них вследствие роста размеров поездов. Сейчас стандартная норма состава составляет 71 условный вагон, но на отдельных направлениях могут быть отклонения от нее в зависимости от конкретных условий.

Работники сортировочных станций ведут постоянную борьбу за снижение простоя вагонов, в том числе простоя под накоплением, однако на этот элемент повлиять трудно вследствие случайного подхода групп вагонов

и их случайной величины. При этом при накоплении составов одного назначения строго до нормы между ними, как правило, образуется остаток вагонов, который увеличивает суточные затраты вагоно-часов на накопление. Влияние остатка на эти затраты рассмотрено в предыдущих исследованиях, установлено, что допущение некоторого отклонения от максимальной нормы в меньшую сторону, т. е. задание некоторого диапазона в пределах минимальной и максимальной допустимой величины состава, ведет к существенному снижению остатка, а значит, к уменьшению затрат на накопление вагонов [1]. Это может оказаться экономически целесообразным даже с учетом упомянутых нежелательных последствий, поэтому представляет интерес получение зависимостей, позволяющих определить затраты вагоно-часов на накопление составов для разных значений отклонения состава формируемых поездов от максимально допустимой величины состава.

1 Анализ среднесуточных затрат на накопление состава

В предыдущих исследованиях обосновано выражение для определения затрат вагоно-часов на накопление составов отдельного назначения [2]:

$$B = 12(m - m_{\text{гр}} + m_o), \text{ ваг-ч}, \quad (1)$$

где m – средняя величина состава формируемых поездов, ваг.; $m_{\text{гр}}$ – среднее число вагонов в промежуточной группе (имеющей простой под накоплением), ваг.; m_o – средняя величина остатка, ваг.

При формировании поездов по гибкой норме составов образуется диапазон возможных значений величины составов, который зависит от допустимого отклонения Δm от максимально допустимой величины состава m_{max} в меньшую сторону. Это приводит к снижению средней величины состава до значения

$$m = m_{\text{max}} - \Delta m, \text{ ваг.}, \quad (2)$$

что определяет диапазон значений формируемых составов в границах $m \pm \Delta m$, в котором верхней границей является максимально допустимая величина состава m_{max} , а минимально допустимой $m_{\text{min}} = m_{\text{max}} - 2\Delta m$.

Формировать поезда разрешается в тех случаях, когда число накопленных вагонов находится в пределах данного диапазона. Понятно, что чем больше Δm , тем меньше величина среднего остатка вагонов m_o , но поскольку при этом средняя величина состава m снижается, возрастает влияние отмеченных отрицательных факторов, поэтому назначение величины Δm требует технико-экономического обоснования.

Установлено также, что по характеру влияния на процесс составообразования поступающие на путь накопления группы вагонов $m'_{\text{гр}}$ можно разделить на два вида: накопительные $m_{\text{гр}}$, которые имеют простой под накоплением (или промежуточные, поскольку поступают в промежуток времени между моментами посту-

пления остатка от накопления предыдущего состава), и замыкающей группы m_z , которая не имеет простоя под накоплением данного состава. В данных учета эти группы не подразделяются. Их среднюю величину как величину среднепоточной группы обозначим $m'_{\text{гр}}$.

Поскольку замыкающие группы в общем случае содержат вагоны, дополняющие накапливаемый состав до нормы, и вагоны остатка, то их средняя величина больше, чем величина накопительных групп ($m_z = m_{\text{гр}} + m_o$), поэтому средняя величина накопительной (промежуточной) группы будет

$$m_{\text{гр}} = (1 - \frac{m_o}{m})m'_{\text{гр}}. \quad (3)$$

Таким образом, величина $m_{\text{гр}}$ зависит от значений $m'_{\text{гр}}$, m и m_o .

2 Результаты обработки статистических данных

Обработка большого массива статистических данных и моделирование составообразования с целью определения остатка вагонов при разных значениях Δm позволили устано-

вить зависимость соотношения $\frac{m_o}{m_{\text{гр}}}$ от соотношения $\frac{\Delta m}{m_{\text{гр}}}$. Обозначим $\frac{\Delta m}{m_{\text{гр}}} = x$ и $\frac{m_o}{m_{\text{гр}}} = y$,

получим зависимость $y = f(x)$. Ее статистически определенные значения приведены в табл. 1.

По этим данным подобрана эмпирическая формула, отражающая плавную кривую, аппроксимирующую статистические значения функции $y = f(x)$, – математическое выражение установленной зависимости:

$$y = \frac{1}{(0,75 + 0,5x)^{3x}}. \quad (4)$$

Данные, рассчитанные по формуле (4) и полученные статистическим путем, практи-

ТАБЛИЦА 1. Значение функции $y = f(x)$

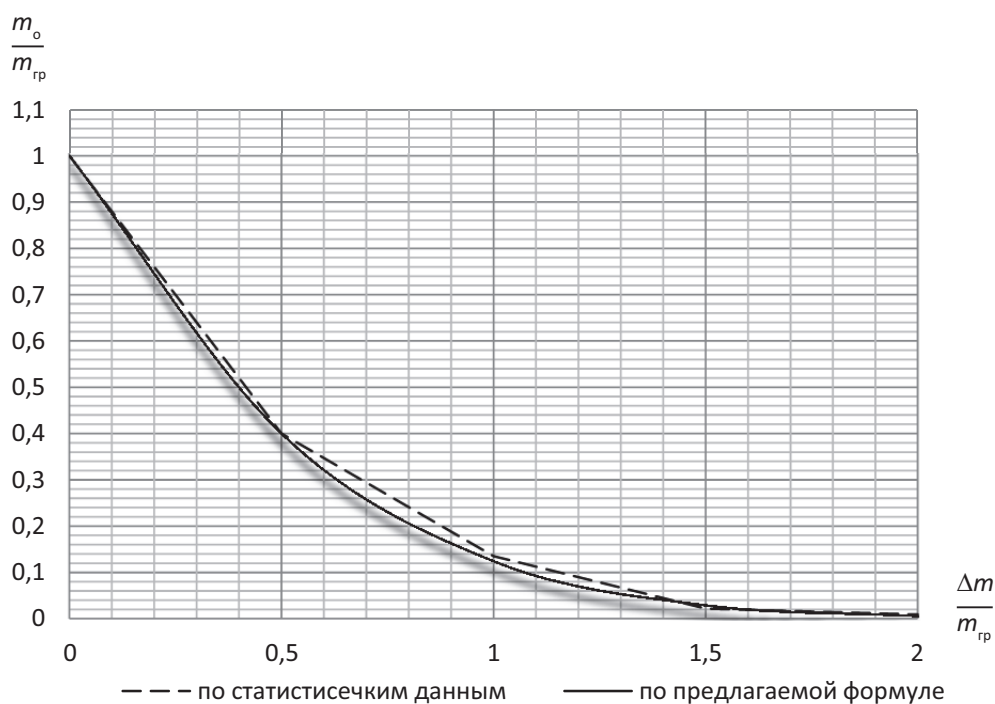
$x = \frac{\Delta m}{m_{\text{гр}}}$	0,00	0,50	1,000	1,500	2,000
$y = \frac{m_o}{m_{\text{гр}}}$	1,00	0,40	0,135	0,022	0,009
По формуле (4)	1,00	0,40	0,125	0,030	0,007

чески совпадают (табл. 1, рис. 1). Полученная зависимость позволяет построить график (номограмму), по которой легко определить среднюю величину остатка вагонов m_o в зависимости от значений Δm и $m_{\text{гр}}$, в необходимых случаях используя интерполяцию значений $m_{\text{гр}}$ (рис. 2).

Графическое определение и интерполяция позволяют быстро получить результат с приближением, вполне пригодным для практических расчетов. Зная значения m , $m_{\text{гр}}$ и m_o для конкретного поездного назначения, можно определить суточные затраты вагоно-часов на накопление составов данного назначения (1)

и параметр накопления $c = \frac{B}{m}$.

Массовые расчеты позволили установить средние значения суточных затрат вагоно-часов на накопление (B) и параметра накопления вагонов (c) при формировании поездов с максимальной величиной состава (m_{max}), равной 57, 71 и 100 вагонам (табл. 2). В элементах таблицы с нереальным результатом поставлены прочерки. Нереальный результат возникает, когда минимальная граница величины составов $m_{\text{min}} = m_{\text{max}} - 2\Delta m$ выходит за пределы положительных значений, т. е. при условии $m_{\text{max}} \leq 2\Delta m$. С точностью, приемлемой для практических расчетов, можно принять, что при условии $\frac{\Delta m}{m_{\text{гр}}} \geq 1$ происходит

Рис. 1. График функции $y = f(x)$

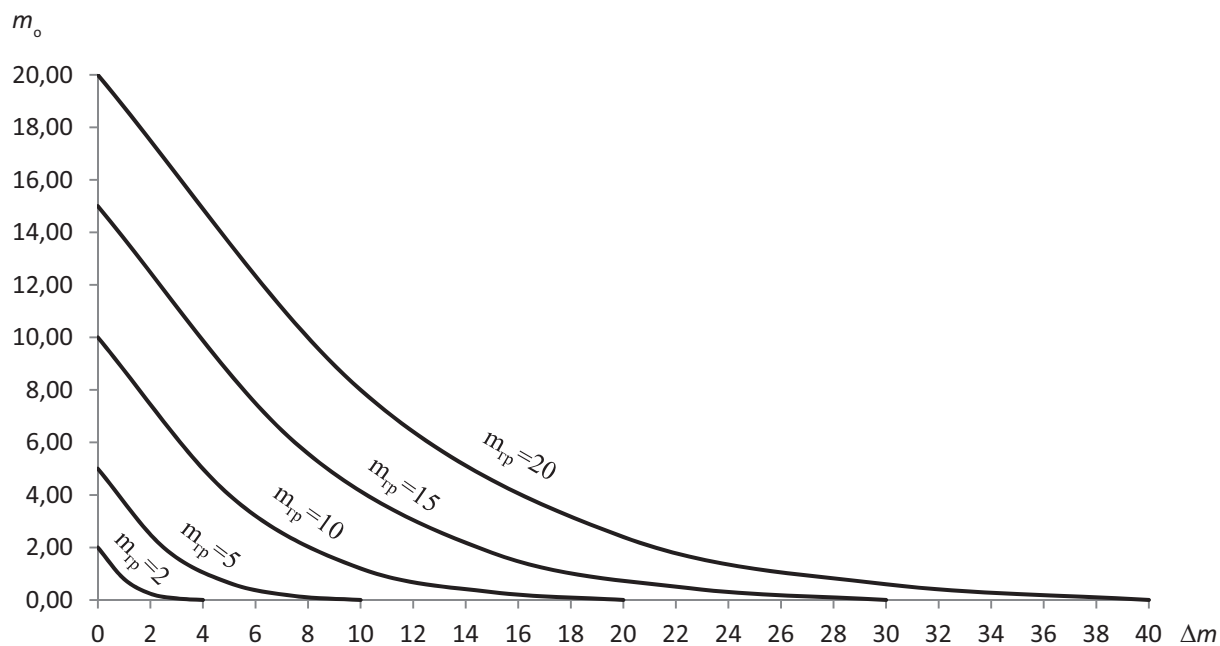


Рис. 2. Номограмма определения среднего остатка вагонов

ТАБЛИЦА 2. Затраты вагоно-часов на накопление состава для принятых норм

$\frac{\Delta m}{m_{гр}}$	$m_{гр}$, ваг.	Δm	m_0 , ваг.	m , ваг.	B , ваг-ч.	% снижения затрат	C	% снижения параметра накопления
$m_{\max} = 57$ ваг.								
0	2	0	2,00	57,00	684,00	0	12,0	0
	5	0	5,00	57,00	684,00	0	12,0	0
	10	0	10,0	57,00	684,00	0	12,0	0
	15	0	15,0	57,00	684,00	0	12,0	0
	20	0	20,0	57,00	684,00	0	12,0	0
0,5	2	1,0	0,80	56,00	655,20	4	11,70	2
	5	2,5	2,00	54,50	611,49	10	11,22	6
	10	5,0	4,00	52,00	540,80	20	10,40	13
	15	7,5	6,00	49,50	466,78	31	9,43	17
	20	10,0	8,00	47,00	420,00	39	8,94	22
1,0	2	2,0	0,24	55,00	638,88	7	11,62	3
	5	5,0	0,60	52,00	571,20	16	10,98	8
	10	10,0	1,20	47,00	458,40	33	9,75	19
	15	15,0	1,80	42,00	341,46	50	8,13	30
	20	20,0	2,40	37,00	222,00	67	6,00	41
1,5	2	3,0	0,07	54,00	624,84	9	11,57	4
	5	7,5	0,18	49,50	534,11	22	10,79	10

Продолжение табл. 2

$\frac{\Delta m}{m_{\text{гр}}}$	$m_{\text{гр}}$, ваг.	Δm	m_o , ваг.	m , ваг.	B , ваг-ч.	% снижения затрат	C	% снижения параметра накопления
1,5	10	15,0	0,36	42,00	384,30	44	9,15	24
	15	22,5	0,54	34,50	—	—	—	—
	20	30,0	0,72	27,00	—	—	—	—
2,0	2	4,0	0	53,00	612,00	11	11,55	4
	5	10,0	0	47,00	502,90	26	10,70	8
	10	20,0	0	—	—	—	—	—
	15	30,0	0	—	—	—	—	—
	20	40,0	0	—	—	—	—	—
$m_{\text{max}} = 71$ ваг.								
0	2	0	2,00	71,00	852,00	0	12,0	0
	5	0	5,00	71,00	852,00	0	12,0	0
	10	0	10,0	71,00	852,00	0	12,0	0
	15	0	15,0	71,00	852,00	0	12,0	0
	20	0	20,0	71,00	852,00	0	12,0	0
0,5	2	1,0	0,80	70,00	820,40	3	11,72	2
	5	2,5	2,00	68,50	780,90	8	11,40	5
	10	5,0	4,00	66,00	709,50	17	10,75	10
	15	7,5	6,00	63,50	638,18	25	10,05	16
	20	10,0	8,00	61,00	588,00	31	9,64	19
1,0	2	2,0	0,24	69,00	806,88	6	11,69	3
	5	5,0	0,60	66,00	739,20	13	11,20	7
	10	10,0	1,20	61,00	626,40	26	10,27	14
	15	15,0	1,80	56,00	513,60	40	9,17	24
	20	20,0	2,40	51,00	393,21	54	7,71	31
1,5	2	3,0	0,07	68,00	792,84	7	11,66	3
	5	7,5	0,18	63,50	704,16	17	11,09	8
	10	15,0	0,36	56,00	553,84	35	9,89	18
	15	22,5	0,54	48,50	403,52	53	8,32	28
	20	30,0	0,72	41,00	—	—	—	—
2,0	2	4,0	0	67,00	780,00	8	11,64	3
	5	10,0	0	61,00	672,00	21	11,02	8
	10	20,0	0	51,00	492,00	42	9,65	20
	15	30,0	0	41,00	—	—	—	—
	20	40,0	0	31,00	—	—	—	—

Окончание табл. 2

$\frac{\Delta m}{m_{\text{гр}}}$	$m_{\text{гр}},$ ваг.	Δm	$m_o,$ ваг.	$m,$ ваг.	$B,$ ваг-ч.	% снижения затрат	C	% снижения параметра накопления
$m_{\text{max}} = 100$ ваг.								
0	2	0	2,00	100,00	1200,00	0	12,0	0
	5	0	5,00	100,00	1200,00	0	12,0	0
	10	0	10,0	100,00	1200,00	0	12,0	0
	15	0	15,0	100,00	1200,00	0	12,0	0
	20	0	20,0	100,00	1200,00	0	12,0	0
0,5	2	1,0	0,80	99,00	1168,20	3	11,80	2
	5	2,5	2,00	97,50	1126,13	6	11,55	4
	10	5,0	4,00	95,00	1057,35	12	11,13	7
	15	7,5	6,00	92,50	986,97	18	10,67	11
	20	10,0	8,00	90,00	936,00	22	10,40	13
1,0	2	2,0	0,24	98,00	1154,88	4	11,78	2
	5	5,0	0,60	95,00	1087,20	9	11,44	5
	10	10,0	1,20	90,00	974,40	19	10,83	10
	15	15,0	1,80	85,00	861,60	29	10,14	15
	20	20,0	2,40	80,00	748,80	39	9,36	20
1,5	2	3,0	0,07	97,00	1140,08	5	11,76	2
	5	7,5	0,18	92,50	1048,02	13	11,33	6
	10	15,0	0,36	85,00	904,32	25	10,64	11
	15	22,5	0,54	77,50	756,48	37	9,76	19
	20	30,0	0,72	70,00	600,60	50	8,58	72
2,0	2	4,0	0	96,00	1128,00	6	11,75	28
	5	10,0	0	90,00	1020,00	15	11,23	6
	10	20,0	0	80,00	840,00	30	10,50	12
	15	30,0	0	70,00	660,00	45	9,43	21
	20	40,0	0	60,00	—	—	—	—

безостаточное накопление составов (в таблице – разделы для $\frac{\Delta m}{m_{\text{гр}}} = 1,5$ и $\frac{\Delta m}{m_{\text{гр}}} = 2,0$).

С увеличением значений $m_{\text{гр}}$ и Δm увеличивается и процент снижения суточных затрат вагоно-часов накопления B , а значит, и простоя вагонов под накоплением. Так, при максимальной величине состава $m_{\text{max}} = 57$ ваг.;

$\frac{\Delta m}{m_{\text{гр}}} = 0,5$; $m_{\text{гр}} = 2$ ваг.; $\Delta m = 1$ ваг. снижение затрат вагоно-часов составляет всего 4%, а при $m_{\text{гр}} = 5$ ваг. и $\Delta m = 2$ ваг. – уже 10%. При $\frac{\Delta m}{m_{\text{гр}}} = 1$; $m_{\text{гр}} = 15$ ваг. снижение затрат вагоно-часов достигает 50%, но при этом минимальная граница величины состава формируемых

поездов при средней величине состава $m = 42$ снижается до величины $m_{\min} = m - \Delta m = 42 - 15 = 27$ ваг. Такой режим формирования поездов возможен лишь при больших резервах пропускной способности и локомотивного парка и только если это будет экономически оправдано.

С другой стороны, с увеличением максимальной границы величины состава $m_{\max}$ процент снижения затрат вагоно-часов накопления уменьшается. Так, для условий последнего примера, но при $m_{\max} = 71$ ваг., процент снижения затрат вагоно-часов уменьшается с 50 до 40%, а при $m_{\max} = 100$ ваг. – до 29%.

На основе этих данных можно построить графические зависимости для любого значения $m_{\max}$, которые позволяют получить значения параметра накопления по соотношению величин Δm и $m_{\text{гр}}$. На рис. 3–5 приведены при-

меры таких зависимостей для значений $m_{\max}$, равных 57, 71 и 100 вагонам, соответственно. Они позволяют быстро определить значения параметра накопления при формировании поездов по гибкой норме состава и выбрать значение Δm с учетом факторов пропускной способности, локомотивного парка и конкретных условий работы станций.

Заключение

Формирование поездов по гибкой норме состава позволяет существенно сократить затраты вагоно-часов на накопление, что обеспечивает сокращение простоя вагонов на станции.

Величина снижения затрат вагоно-часов на накопление тем больше, чем больше величина

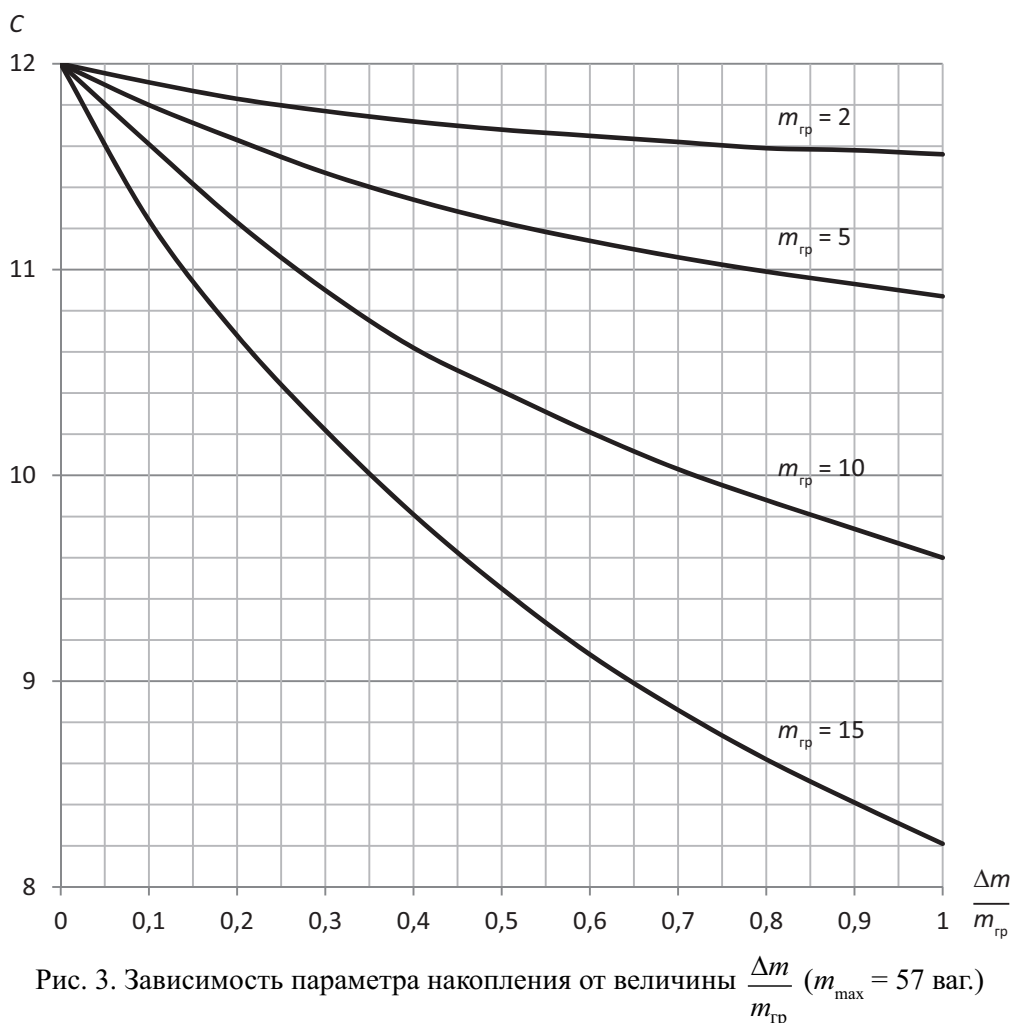


Рис. 3. Зависимость параметра накопления от величины $\frac{\Delta m}{m_{\text{гр}}}$ ($m_{\max} = 57$ ваг.)

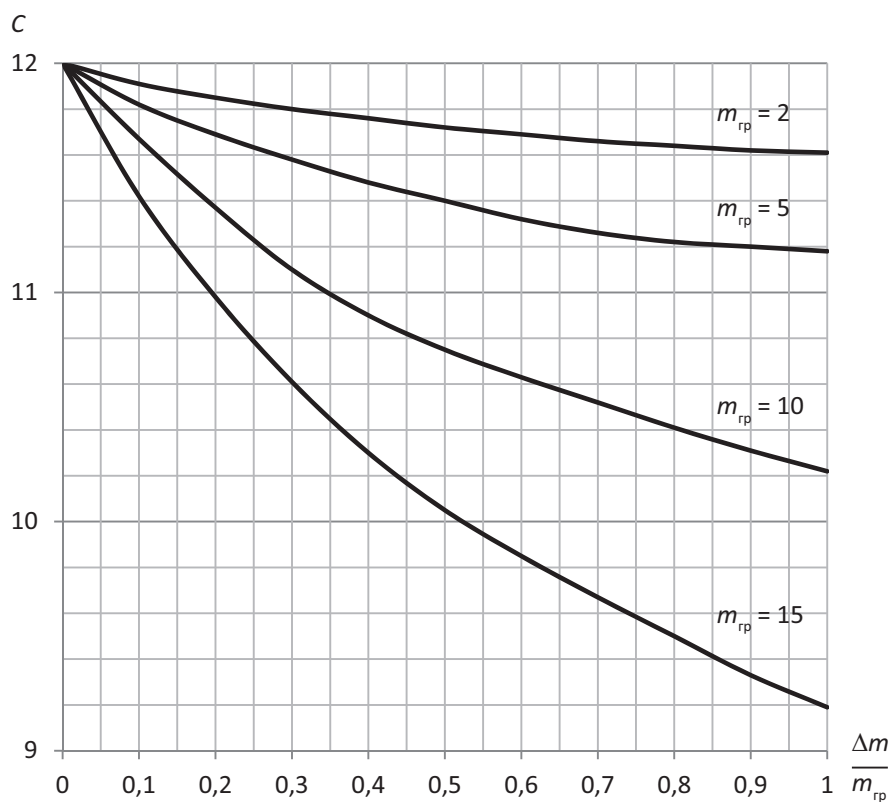


Рис. 4. Зависимость параметра накопления от величины $\frac{\Delta m}{m_{gp}}$ ($m_{\max} = 71$ ваг.)

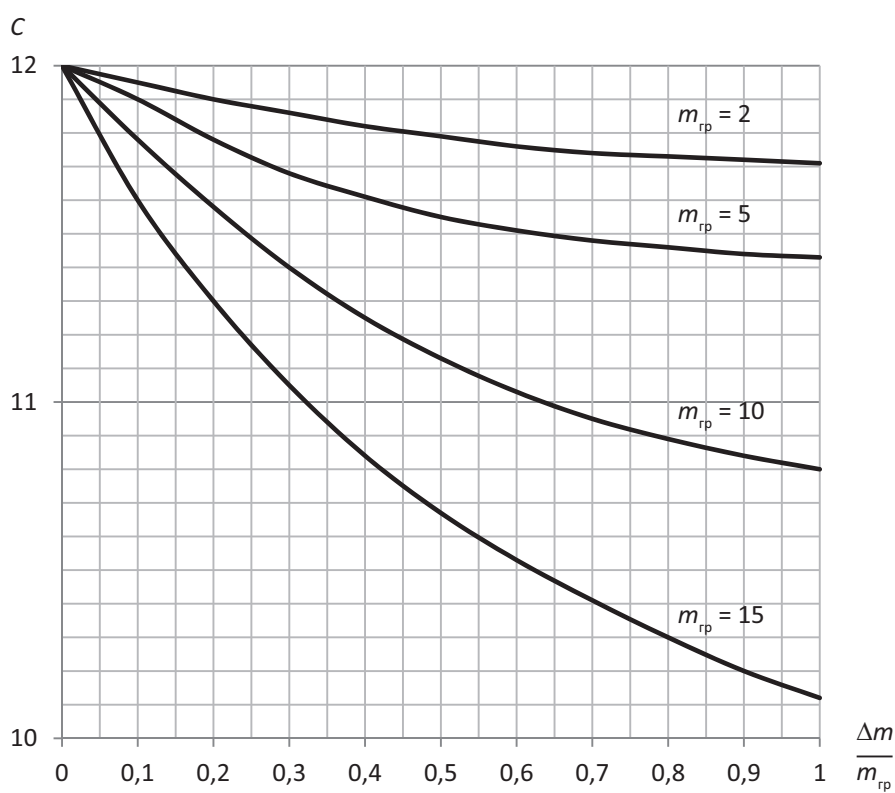


Рис. 5. Зависимость параметра накопления от величины $\frac{\Delta m}{m_{gp}}$ ($m_{\max} = 100$ ваг.)

допустимого отклонения от максимальной нормы состава Δm . При значении $\Delta m \geq m_{гр}$ ($\frac{\Delta m}{m_{гр}} \geq 1$) имеет место безостаточное накопление вагонов, что обеспечивает минимальный простой вагонов под накоплением.

Поскольку с увеличением Δm снижается величина среднего состава формируемых поездов (m), решение о введении гибкой нормы состава для отдельного поездного назначения и выбор значения Δm должны учитывать возможность пропуска поездов на участках по условиям пропускной способности, доста-

точность локомотивного парка и конкретные условия работы станции.

Библиографический список

1. **Новый** подход к расчету затрат вагоно-часов на накопление / В. А. Кудрявцев, Я. В. Кукушкина, Ш. М. Суюнбаев // Изв. Петербург. ун-та путей сообщения. – 2010. – Вып. 1 (22). – С. 5–10.

2. **Процесс** накопления вагонов на составы поездов / В. А. Кудрявцев, А. А. Светашев // Изв. Петербург. ун-та путей сообщения. – 2014. – Вып. 3 (40). – С. 98–104.

УДК 613.644

Д. Е. Курепин

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

АНАЛИЗ УРОВНЕЙ СВЕРХНОРМАТИВНОГО ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Проанализировано сверхнормативное воздействие шума от железнодорожного транспорта на селитебную территорию, намечены перспективы его снижения. Изучены основные источники образования шума железнодорожного транспорта и нормативные стандарты, регулирующие его воздействие на окружающую среду. Установлены основные причины жалоб граждан на акустический дискомфорт, возникающий от действия железнодорожного транспорта и его инфраструктуры. Проведены натурные замеры и программное моделирование источников шума. Дана оценка эффективности шумозащитных мероприятий, направленных на снижение негативного акустического воздействия, исходящего от железнодорожного транспорта.

шум, железнодорожный транспорт, селитебная зона, акустический экран, АРМ «Акустика», эффективность.

Введение

Проблема шума в крупных городах с каждым годом только растет. Доля населения, проживающего в зоне акустического дискомфорта, составляет в среднем от 20 до 60%. Неудовлетворительное состояние автомобильных

дорог при продолжающемся росте интенсивности транспортных потоков, нерациональное строительство жилых зданий, увеличение плотности строительства без сооружения дополнительных развязок и разъездов – все это приводит к постоянному увеличению акустического загрязнения в мегаполисах. Наиболь-

ший акустический дискомфорт в мегаполисах создает автомобильный, железнодорожный и авиационный транспорт. Более подробно остановимся на изучении шума от железнодорожного транспорта.

1 Источники шума железнодорожного транспорта

Воздействие железнодорожного шума на окружающую среду многообразно. По интенсивности шум от железнодорожного транспорта занимает промежуточное значение между автомобильным и авиационным шумами, однако по числу источников железнодорожному шуму нет равных [1].

Выделяют три основных объекта, на которые воздействует шум от железнодорожного транспорта: селитебная территория; пассажиры и обслуживающий персонал на станциях; пассажиры и обслуживающий персонал поездов.

В селитебной зоне основными источниками шума являются шум локомотива; звуковые сигналы; аэродинамическое взаимодействие подвижного состава с окружающей средой (при скорости более 200 км/ч); взаимодействие пути и подвижного состава при движении (излучение шума системой колесо – рельс), или шум качения; структурный шум, возникающий от передачи вибрации в системе колесо – рельс в близко расположенные здания; машины и механизмы для производства работ по текущему содержанию пути; вспомогательное оборудование; производственные предприятия железнодорожного транспорта (сортировочные и грузовые станции, локомотивные и вагонные депо); тяговые подстанции; железнодорожные мосты (при движении по ним подвижного состава).

Изучению шума от подвижного состава и разработке вариантов шумоглушения посвящены работы Н. И. Иванова [1].

Свой вклад в процесс шумообразования дает также дребезжание корпуса подвижного состава (корпусный шум), «визг» колеса в

кривых, звукоизлучение тормозных колодок и колеса при торможении (шум торможения), соударение вагонов (шум сцепки), отражение звука при установке рельсов на плитах, удары на стыках рельсов. Однако в настоящее время сверхнормативный шум от объектов железнодорожного транспорта нуждается в дальнейшем изучении.

Нормативные документы, регламентирующие воздействие шума от железнодорожного транспорта, представлены ГОСТами, СТО, техническими регламентами [2–8].

В странах ЕС принимают директивы Европейского парламента для соблюдения единых требований, норм, измерительных процедур в области борьбы с шумом [9–11]. В европейских странах шум нормируют международные нормативные стандарты ISO [12, 13].

Известно, что шум от железнодорожного транспорта обладает специфическими особенностями: население, проживающее в непосредственной близости от железной дороги, привыкает к нему. В связи с этим в европейских странах при нормировании шума от железнодорожного транспорта введена так называемая поправка, или «бонус», которая снижает норму по шуму на 5 дБА (Германия, Швейцария) или 7 дБА (Италия, Нидерланды).

Такие поправки отсутствуют в отечественных нормативных документах. Кроме того, имеются различия в методиках оценки шума от железнодорожного транспорта.

2 Анализ жалоб граждан на шум от железнодорожного транспорта

Жалобы населения на шум от железнодорожного транспорта можно считать объективной характеристикой неблагоприятного действия шума на население.

Мы проанализировали жалобы за 2012, 2013 гг. и 9 месяцев 2014 г. За это период поступило 150 жалоб.

Наибольшее количество жалоб приходится на витебское, ладожское и финляндское направления.

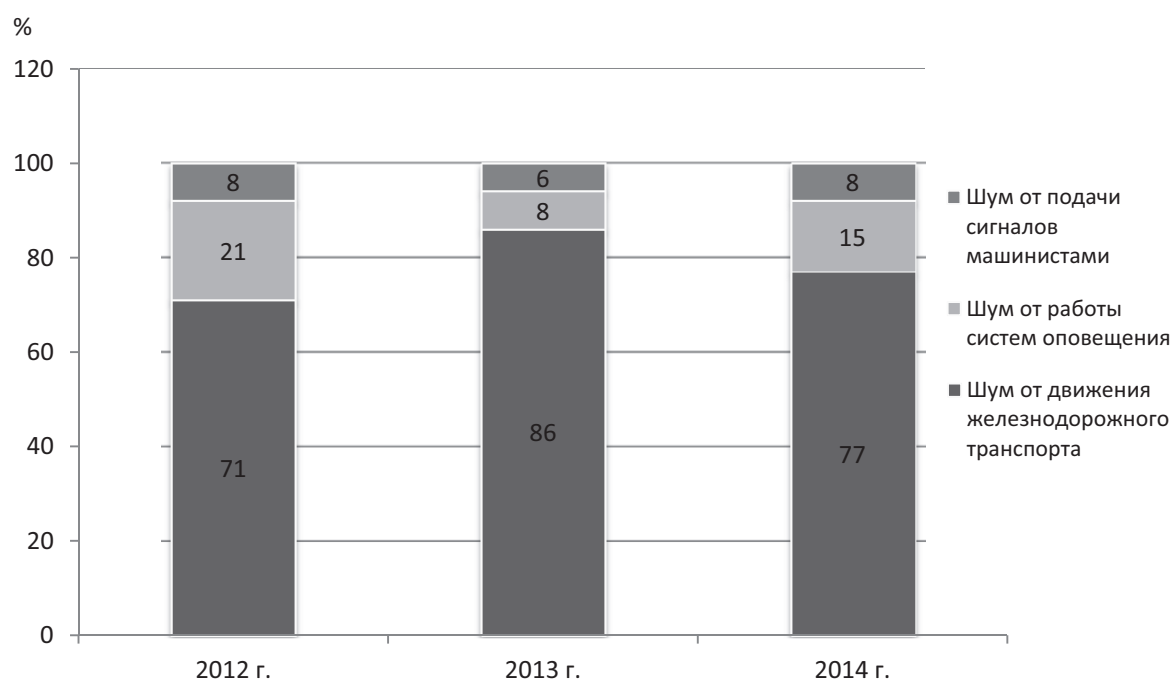


Рис. 1. Распределение причин жалоб по годам

На рис. 1 представлено распределение причин обращений граждан.

Наибольшее количество жалоб населения поступает на шум, возникающий при движении железнодорожного транспорта (взаимодействие системы колесо – рельс, скрип, стук при начале движения поезда от сцепки, шум от двигательной установки, шум от торможения).

Анализ распределения жалоб в зависимости от расположения жилых зданий по отношению к зоне санитарного разрыва (ориентировочно 100 м) показал, что большинство из них поступает от владельцев домов, расположенных непосредственно в зоне санитарного разрыва (63 % – до 100 м, 32 % – более 100 м).

3 Результаты натурных замеров шума

Для более детального изучения акустического загрязнения от железнодорожного транспорта мы замерили шум в жилой зоне на участке Санкт-Петербург – Ладжский – Волховстрой.

Измерение шумовой характеристики потоков железнодорожного транспорта проведено в соответствии с ГОСТ Р 53187-2008 «Акустика. Шумовой мониторинг городских территорий», ГОСТ 20444-85 «Шум. Транспортные потоки. Методы измерения звуковой характеристики».

В период проведения замеров в зоне акустического воздействия железнодорожного транспорта было зарегистрировано прохождение поездов трех типов: электропоездов – 48,5 %, скорых – 15,5 %, грузовых – 36 %. Данные замеров эквивалентного и максимального уровней звука представлены в табл. 1.

Спектральная характеристика уровней шума от поездов различных типов представлена в табл. 2.

Данные замеров свидетельствуют о значительном превышении допустимой нормы шума от всех категорий поездов.

Для снижения негативного акустического воздействия от железнодорожного транспорта необходимо разработать меры по его снижению, особенно при частотах от 500 до 8000 Гц.

ТАБЛИЦА 1. Результаты измерения уровня звука на расстоянии $25 \pm 0,15$ м от оси пути (эквивалентные, максимальные), дБа

Тип поезда	$L_{\text{экв}}$	$L_{\text{макс}}$
Электропоезд	76	82
Скорый	74	86
Грузовой	82	91

ТАБЛИЦА 2. Уровень звукового давления по октавным полосам частот

Октавная частота, Гц	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Норма согласно ГОСТу (7–23 ч)	90	75	66	59	54	50	47	45	44
Среднее значение (электропоезд)	76,6	75,9	72,0	69,1	71,6	71,3	69,4	64,5	57,5
Среднее значение (скорый поезд)	72,9	71,0	67,7	64,6	68,7	66,3	65,3	60,1	55,6
Среднее значение (грузовой поезд)	73,7	73,5	70,8	68,1	70,7	69,4	68,1	63,5	57,1
% превышений нормы	1	39	75	86	95	99	99	100	97

4 Анализ эффективности использования акустических экранов в условиях высокоэтажной застройки

Наиболее эффективным средством борьбы с шумом на пути его распространения является использование акустических экранов. Его эффективность зависит от материала, высоты, длины и формы и достигает 10–20 дБа.

Надстройки на акустических экранах различной формы (Г-, Х-, Т-образных) увеличивают его эффективность в среднем на 2–5 дБа [1].

В настоящее время существуют программные комплексы, позволяющие моделировать распространение шума (Интеграл, Логус, АРМ «Акустика»).

Эффективность использования акустических экранов в условиях многоэтажной застройки наиболее целесообразно оценивать

с помощью программного комплекса АРМ «Акустика» версии 3.2.1. Мы использовали именно этот программный продукт.

В качестве объекта анализа взят участок железной дороги протяженностью 400 м, высота экрана 5 м, коэффициент звукоотражения 0,8, толщина стенок 0,2 м.

Акустический экран устанавливали на различном удалении от источника шума (1,5–7,5 м). Расчетные точки взяты последовательно в середине длины экрана на высоте 1,5–30 м и на удалении 15–100 м от источника шума (рис. 2).

Результаты распределения шума по высоте представлены на рис. 3.

Как показывает график распределения эквивалентного уровня звука, на высотах 1,5 и 5 м достигается наибольшая эффективность экрана (48 дБа). С увеличением высоты наблюдается существенный рост шума (66 дБа при высоте 30 м). Превышение допустимых

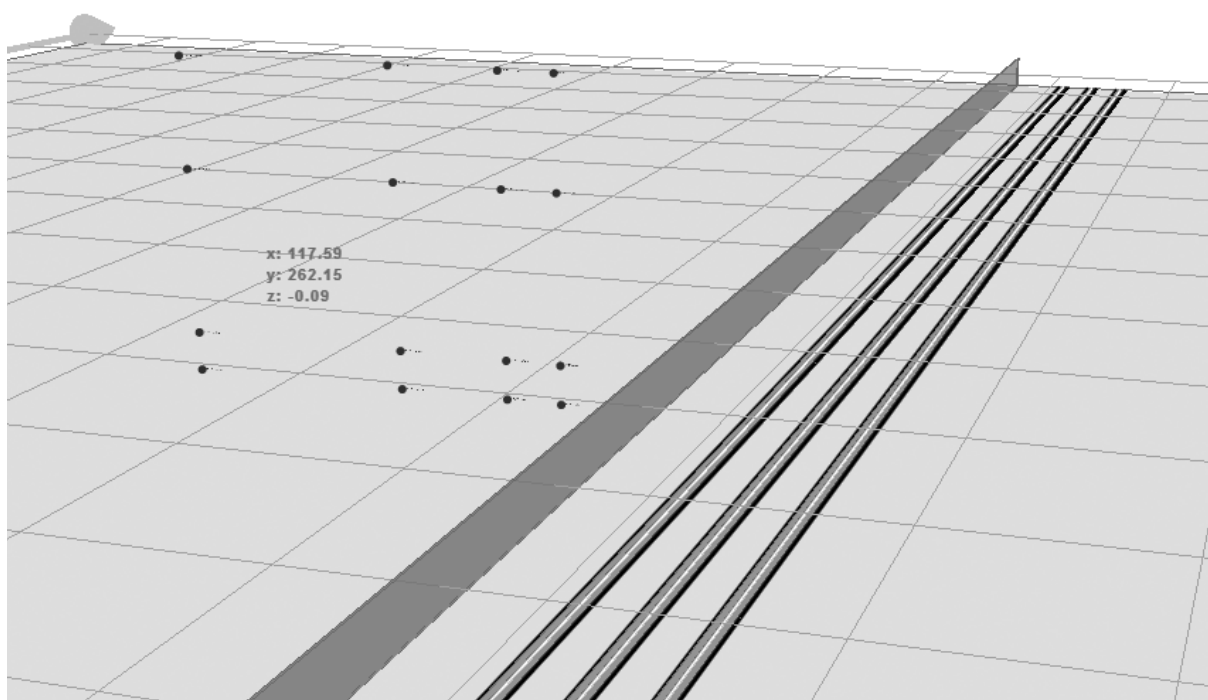


Рис. 2. Железная дорога с акустическим экраном

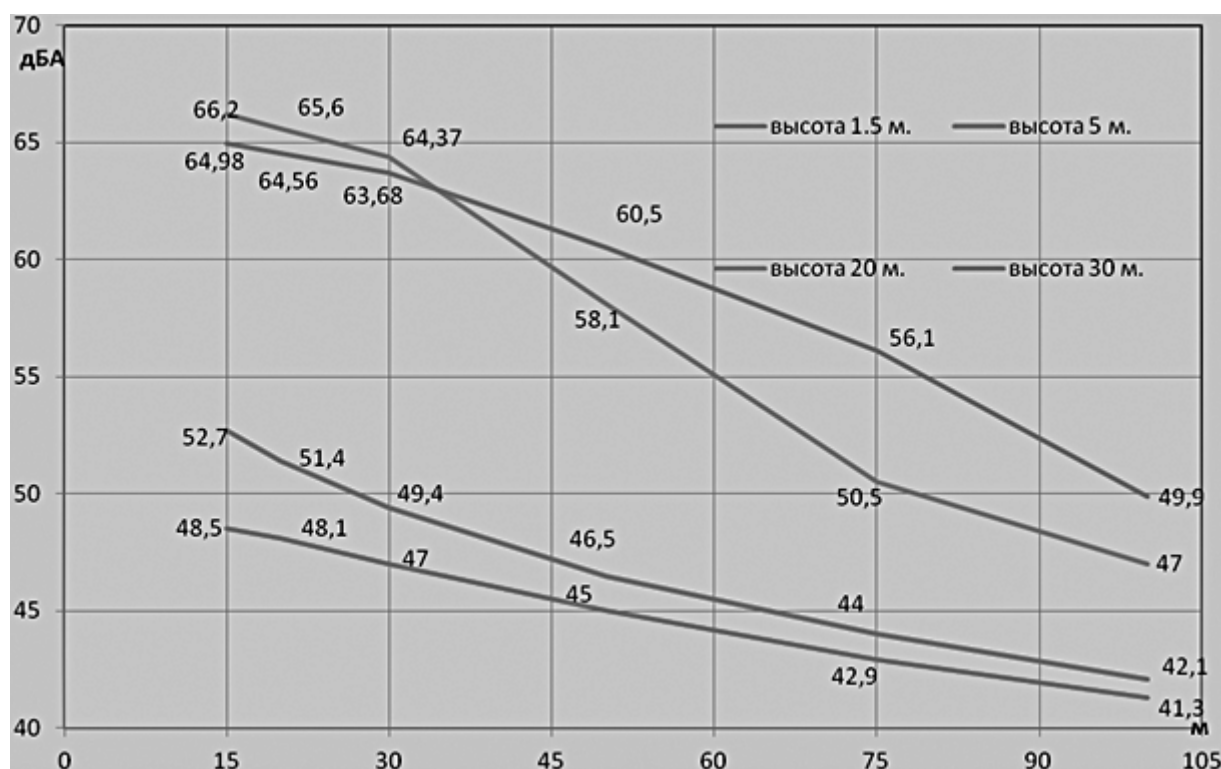


Рис. 3. График распределения эквивалентного уровня звука в зависимости от высоты

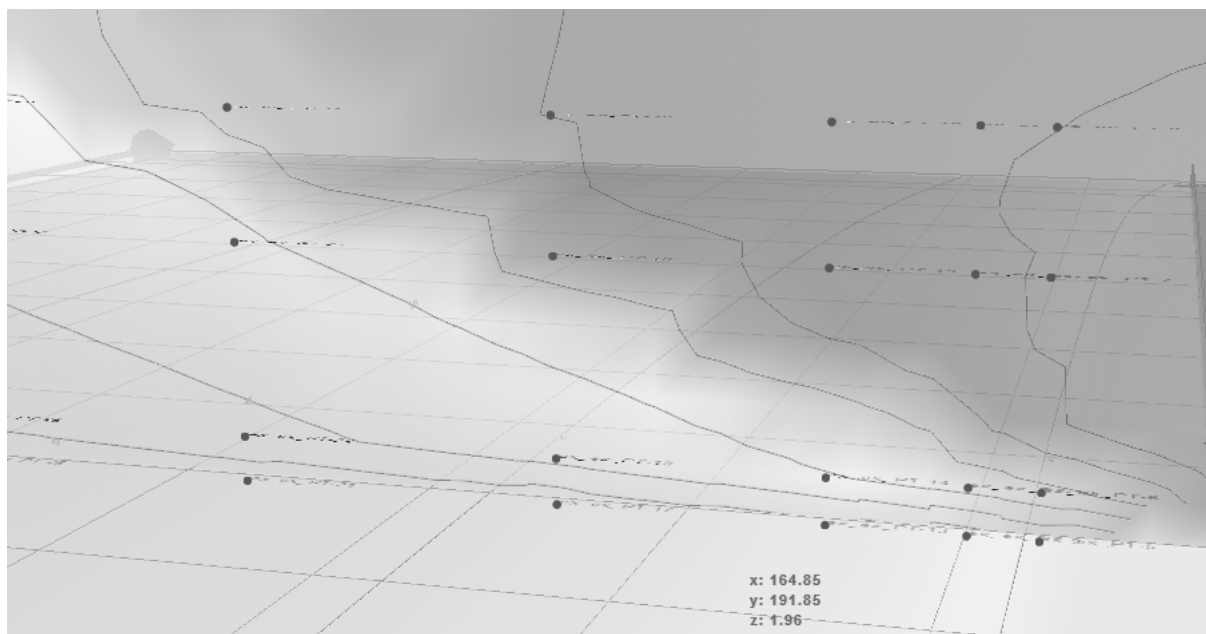


Рис. 4. Шумовая карта и шумовой разрез участка железной дороги

значений наблюдается на довольно большом удалении от источника шума.

Установлено, что с увеличением высоты расположения расчетных точек акустическая эффективность экрана снижается.

На небольших высотах (1,5–5 м) эффективность акустического экрана наиболее существенна. Дальнейшее увеличение высоты приводит к повышению шума.

Данные, полученные с помощью моделирования, отображены на рис. 4. Темная область на шумовом разрезе показывает высокий уровень шума.

Заключение

Анализ жалоб граждан на шум от железнодорожного транспорта показал, что эта серьезная проблема требует детального изучения. Наибольшее количество обращений связано с шумом от подвижного состава железнодорожного транспорта (взаимодействие системы колесо – рельс, скрип, стук при начале движения поезда от сцепки, шум от двигательной установки, шум от торможения). Наибольшее количество жалоб поступило из жилых зда-

ний, которые находятся на расстоянии менее 100 м, т. е. входят в ориентировочную зону санитарного разрыва.

Использование акустического экрана для снижения негативного акустического воздействия от железнодорожного транспорта в условиях высокоэтажной застройки неэффективно. Акустический экран наиболее эффективен на высоте до 5 м. С дальнейшим увеличением высоты его эффективность снижается. В связи с этим рекомендуется использовать акустические экраны только в районах с малоэтажной застройкой либо устанавливать экраны значительной высоты.

Для снижения сверхнормативного акустического воздействия в районах высокоэтажной застройки необходимо использовать комплекс мероприятий, снижающих интенсивность шума в источнике, так как эффективность экранов недостаточна.

Библиографический список

1. **Снижение** шума железнодорожного транспорта / Н. И. Иванов, Д. А. Ку克林, П. В. Матвеев, М. В. Буторина // Безопасность жизнедеятельности. – 2012. – № 12. – С. 4–5.

2. **ГОСТ Р 54931-2012.** Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Технические требования (введ. 1 марта 2013 г.). – М. : Стандартинформ, 2013. – 14 с.

3. **ГОСТ Р 54933-2012.** Шум. Методы расчета внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом (введ. 1 марта 2013 г.). – М. : Стандартинформ, 2013. – 21 с.

4. **ГОСТ Р 54932-2012.** Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Методы контроля (введ. 1 марта 2013 г.). – М. : Стандартинформ, 2013. – 11 с.

5. **СТО РЖД 1.07.007–2010.** Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Правила приемки, ввода в эксплуатацию и обслуживания в процессе жизненного цикла (введ. 1 июня 2012 г.). – М. : Стандартинформ, 2012. – 35 с.

6. **Технический** регламент Таможенного Союза. О безопасности железнодорожного подвижного состава (ТР ТС 001/2011) (утв. решением Комиссии ТС от 15 июля 2011 г.). – 66 с.

7. **Технический** регламент Таможенного союза. О безопасности высокоскоростного железнодорож-

ного транспорта (ТР ТС 002/2011) (утв. решением Комиссии ТС от 15 июля 2011 г.). – 72 с.

8. **ГОСТ 32203-2013.** Железнодорожный подвижной состав. Акустика. Измерение внешнего шума (введ. 1 июня 2014 г.). – М. : Стандартинформ, 2014. – 15 с.

9. **Directive 2002/49/EC** of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise. Declaration by the Commission in the Conciliation Committee on the Directive relating to the assessment and management of environmental noise.

10. **Council Directive 96/48/EC** of 23 July 1996 on the interoperability of the trans-European high-speed rail system.

11. **2002/735/EC** : Commission Decision of 30 May 2002 concerning the technical specification for interoperability relating to the rolling stock subsystem of the trans-European high-speed rail system.

12. **ISO 3095:2013.** Acoustics. Railway applications. Measurement of noise emitted by railbound vehicles.

13. **ISO 3381:2005.** Railway applications. Acoustics. Measurement of noise inside railbound vehicles.

УДК 625.12

Ю. С. МеркурьевПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ НАСЫПИ ПО МЕТОДУ
Г. М. ШАХУНЯНЦА С УЧЕТОМ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

Рассмотрен особый случай проектирования земляного полотна в сложных инженерно-геологических условиях – на территориях с повышенной сейсмической активностью. Целью данной работы является анализ сейсмостойкости конструкций земляного полотна разной высоты. Согласно нормативным документам (СП 14.13330.2011), для снижения негативного влияния сейсмического воздействия на конструкцию транспортного сооружения откосы земляного полотна из нескальных грунтов следует принимать более пологими, чем откосы, проектируемые в несейсмических районах. В представленной работе проанализирована зависимость коэффициента запаса устойчивости от различных факторов. Предложены перспективные варианты конструкций земляного полотна, способствующие снижению негативного воздействия землетрясений на элементы пути.

земляное полотно, сейсмика, сейсмоустойчивость, демпфирующий слой, численный эксперимент, математическое планирование.

Введение

Анализ норм проектирования [1] показывает, что в определенных условиях установленные действующими нормативными документами параметры откосов насыпи завышены и нерациональны. Учитывая значительную стоимость земли и грунтовых материалов, необходимо разработать более рациональные конструкции, использование которых сокращает занимаемые дорогой площади и обеспечивает требуемую устойчивость конструкции.

1 Анализ существующих норм проектирования

Анализ устойчивости насыпи железнодорожного пути производился путем расчета коэффициента запаса устойчивости при действии динамической нагрузки методом Г. М. Шахунянца. В расчет принимались конструкции высотой от 3 до 21 м, построенные строго в соответствии с нормативными документами.

В качестве грунта выбран наиболее распространенный материал для отсыпки насыпи – песок средней крупности, маловлажный, со следующими характеристиками:

объемный вес грунта насыпи $\gamma_{\text{ск}}^{\text{н}} = 1,6 \text{ т/м}^3$;
весовая влажность грунта в теле насыпи $W_{\text{н}} = 5\%$;
сцепление грунта насыпи $C_{\text{ст}}^{\text{н}} = 1,5 \text{ т/м}^2$;
угол внутреннего трения грунта насыпи $\varphi_{\text{ст}}^{\text{н}} = 25 \text{ град}$;
коэффициент трения грунта насыпи $f^{\text{н}} = 0,5$.

Расчеты выполнены в табличном редакторе Microsoft Excel.

Насыпь является объектом индивидуального проектирования, следовательно, очертание ее поперечного профиля должно быть обосновано расчетом на устойчивость. Насыпь была запроектирована в соответствии с действующими нормативными документами [2].

Ширина основной площадки земляного полотна для однопутного участка железной дороги II категории составляет 7,6 м. При высоте насыпи до 6 м планируется откос с уклоном

1:1,5; при 6–12 м верхние 6 м высоты насыпи выполняются с откосами уклоном 1:1,5, нижняя часть – с откосами уклоном 1:1,75. При высоте насыпи 12–21 м на расстоянии 12 и 18 м от основной площадки устраивают бермы по обеим сторонам насыпи шириной 3 м. Поверхность откосов ниже 12 м от основной площадки планируются с уклоном 1:2 (рис. 1).

При проектировании в соответствии с действующими нормами для данного вида грунта при высоте насыпи 21 м ширина подошвы земляного полотна составляет 94,5 м.

2 Необходимость учета сейсмического воздействия

Расчет устойчивости откосов земляного полотна, проектируемого в сейсмических районах, необходимо проводить с учетом сейсмического воздействия [1], т. е. при расчете по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения сдвигающая сила T умножается на сейсмический коэффициент K_c :

$$K_c = 1 + \frac{\alpha_{\max}}{g}, \quad (1)$$

где $\alpha_{\max}$ – расчетная величина сейсмического ускорения (определяется по табл. 1 в зависимости от сейсмичности в баллах), мм/с².

Величина сейсмического коэффициента K_c может быть определена по табл. 2 в зависимости от сейсмичности в баллах.

ТАБЛИЦА 1. Расчетные значения сейсмического ускорения и сейсмического угла

Расчетная сейсмичность, балл	Расчетное ускорение $\alpha_{\max}$, мм/с ²
7	101–250
8	251–500
9	501–1000
10	1001–2500
11	2501–5000
12	> 5000

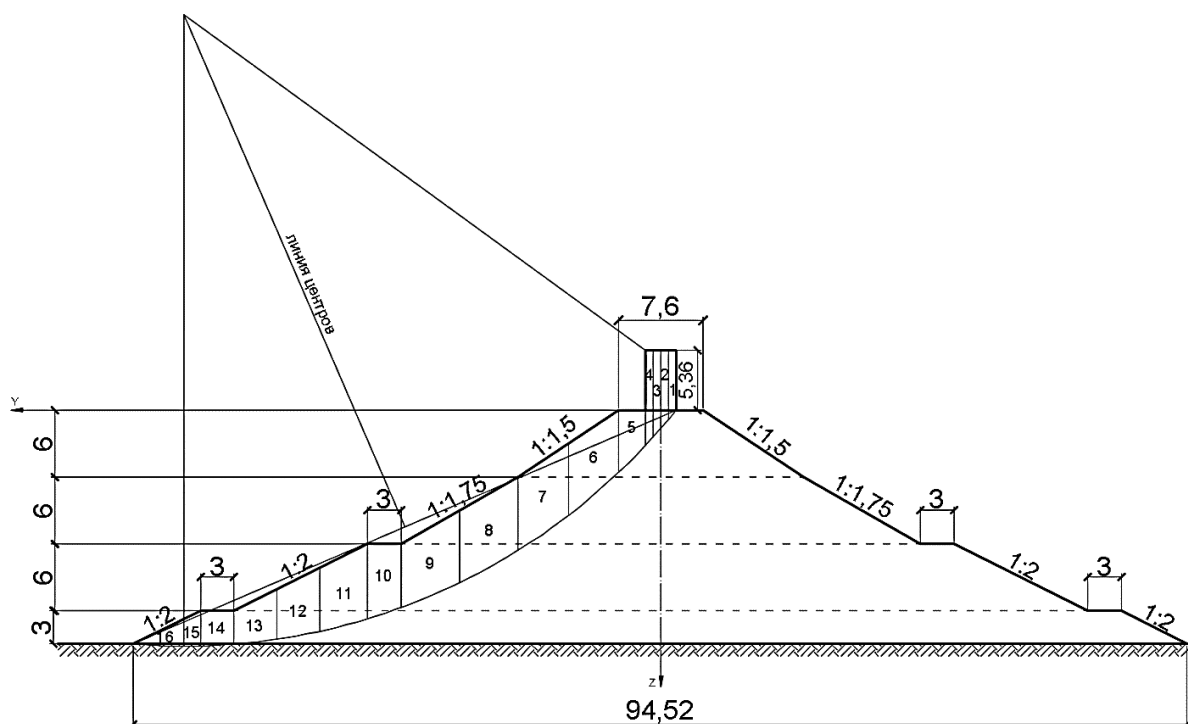


Рис. 1. Насыпь высотой 21 м

ТАБЛИЦА 2. Величина сейсмического коэффициента

Расчетная сейсмичность в баллах $j_{\text{расч}}$	7	8	9
Величина коэффициента K_c	1,03	1,05	1,10

Расчетная сейсмичность определяется по формуле

$$j_{\text{расч}} = j_0 + m, \quad (2),$$

где j_0 – расчетная сейсмичность для данного района; m – сейсмическая характеристика, учитывающая увеличение сейсмичности в баллах в зависимости от грунта основания (табл. 3).

Таким образом, расчетная формула, разработанная Г. М. Шахунянцем [3], с учетом сейсмического воздействия имеет вид

$$K_{\text{дин}} = \frac{\sum_{i=1}^n (N_i \cdot f_{i\text{дин}} + C_{i\text{дин}} \cdot l_i + T_{i\text{уд дин}})}{\sum_{i=1}^n T_{i\text{сдв}} \cdot K_c}. \quad (3)$$

ТАБЛИЦА 3. Сейсмическая характеристика грунтов

Основание	Сейсмическая характеристика m , балл
Аллювиальные отложения, щебенистые или песчаные (сухие) грунты	1–2
Глинистые, мергелистые и лёссовидные грунты	1–3
Болотистые и водонасыщенные грунты	3–4

3 Результаты определения коэффициента устойчивости насыпи

Результаты расчетов представлены в табл. 4 и отображены на графике (рис. 2).

Анализ графика и данных таблицы позволяет сделать вывод о некотором завышении коэффициента устойчивости насыпи, кото-

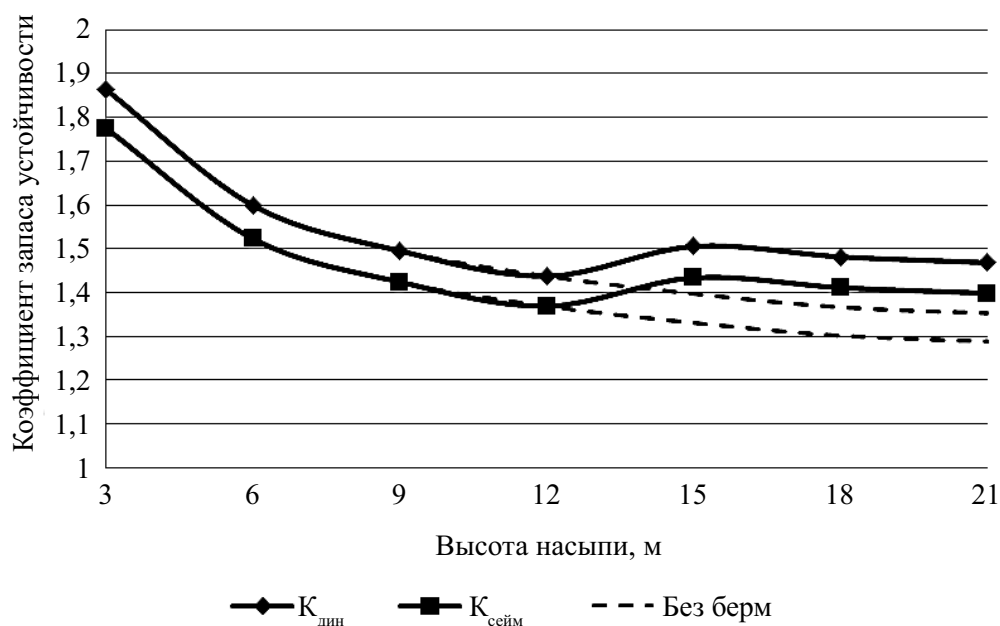


Рис. 2. График зависимости коэффициента запаса устойчивости от высоты насыпи

ТАБЛИЦА 4. Результаты расчета коэффициента устойчивости насыпи

$h_{\text{нас}},$ м	Без берм		С устройством берм	
	$K_{\text{дин}}$	$K_{\text{сейсм}}$	$K_{\text{дин}}$	$K_{\text{сейсм}}$
3	1,8644	1,7758	1,8644	1,7758
6	1,5994	1,5232	1,5994	1,5232
9	1,4954	1,4242	1,4954	1,4242
12	1,4374	1,3689	1,4374	1,3689
15	1,3972	1,3306	1,5054	1,4337
18	1,3663	1,3013	1,4817	1,4111
21	1,3527	1,2883	1,4683	1,3983

рый превышает требуемые нормами значения $K_{\text{дин}} = 1,2$.

Для сравнения в график были включены коэффициенты запаса устойчивости насыпей без устройства берм на откосах.

4 Конструктивные решения высоких насыпей

В. А. Алпысова предложила новые конструкции, позволяющие уменьшить объем используемых грунтовых материалов и площадь отводимых под устройство дороги земель. В качестве примера рассмотрена конструкция насыпи, предусматривающая устройство габионных подпорных стенок и укрепление откосов насыпи геоматериалами (рис. 3). В данной работе рассчитан коэффициент запаса устойчивости предложенной конструкции по двум вариантам поверхности разрушения габионной стенки: по верху (рис. 3) и по низу (рис. 4).

Рассчитаны следующие коэффициенты устойчивости: при прохождении поверхности разрушения через верх габионной стенки при высоте насыпи 21 м значение коэффициента составляет 3,79 без учета сейсмического воз-

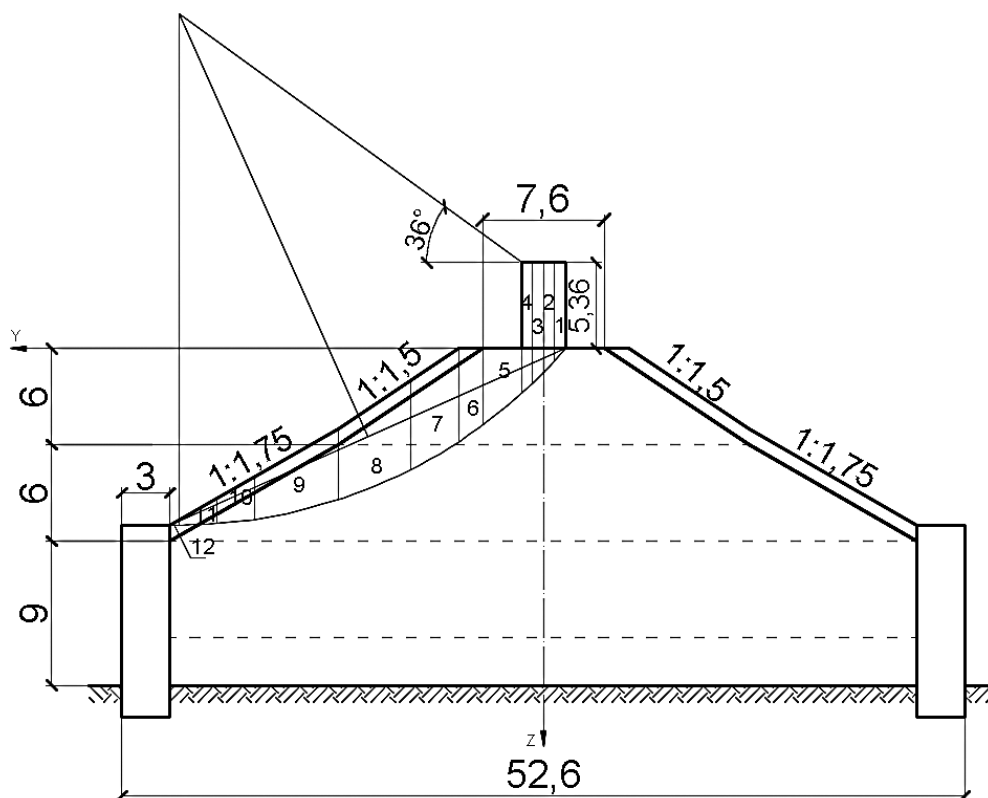


Рис. 3. Конструкция насыпи, усиленная габионными подпорными стенками, расчетная схема поверхности разрушения по верху стенки

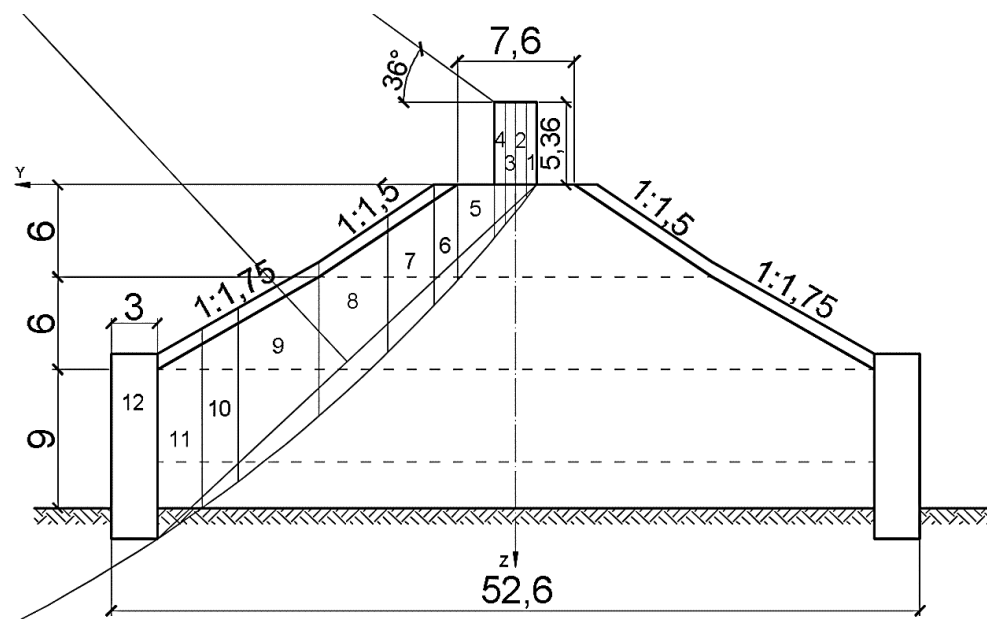


Рис. 4. Конструкция насыпи, усиленная габионными подпорными стенками, расчетная схема поверхности разрушения по низу стенки

действия и 3,55 – с учетом; через низ – 1,40 и 1,33, соответственно.

Поскольку коэффициент устойчивости, полученный при расчете данной конструкции, оказался явно завышен, разработанная конструкция требует дальнейших расчетов для снижения коэффициента до более приемлемых значений. В их числе – расчет подпорной стенки на опрокидывание, расчет устойчивости с менее громоздкой подпорной стенкой (меньшей по размерам, соответственно, меньшей по массе).

Расчет значений, отражающих сокращение площадей и объемов материала при высоте насыпи 21 м, указаны в табл. 5.

Требуется сократить объем грунтового материала на 23 %, ширину полосы земли для возведения земляного полотна – на 36 м.

Заключение

При проектировании насыпи по существующим стандартам и при использовании определенных видов грунтов возможно значительное завышение коэффициента устойчивости и связанное с этим увеличение объемов

ТАБЛИЦА 5. Сравнительные значения площадей, занимаемых конструкцией земляного полотна и требуемых для его возведения объемов грунтовых материалов

Показатель	СТН Ц-01-95	Предложенная конструкция
Площадь поперечного сечения, м ²	951,67	735,60
Ширина по подошве земляного полотна, м	88,62	52,6

грунтовых материалов, стоимости конструкций и нерациональное использование занятых дорогой земель.

При создании новых нормативных документов по сооружению земляного полотна железных дорог необходимо разработать более дифференцированный подход к назначению геометрических параметров насыпи как по виду используемых грунтов, так и по типу воздействующих факторов (виду грунта, физико-механическим характеристикам, сейсмическому воздействию и т. д.).

Оптимальная конструкция насыпи должна определяться специальными расчетами, в

которых учитываются как статические, так и динамические нагрузки, материал грунтовой насыпи и природные геологические и гидро-геологические условия.

Значительная стоимость отводимой земли обуславливает необходимость разработать оптимальные конструкции высоких насыпей, которые занимают меньшую площадь и обеспечивают требуемую устойчивость конструкции.

С уменьшением высоты насыпи увеличивается значение коэффициента устойчивости, превышающее нормативные требования. Наиболее оптимальная конструкция насыпи имеет равную устойчивость на всю проектируемую длину. В этом случае рационально сохранять

ширину подошвы насыпи, постепенно вводя в конструкцию насыпи габионные подпорные стенки разной высоты.

Библиографический список

1. СП 14.13330.2011. Свод правил. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. Минрегион России. – М. : ОАО «ЦПП», 2011. – 113 с.
2. СП 32.104-98. Свод правил. Проектирование земляного полотна железных дорог колеи 1520 мм. – М. : Госстрой РФ, 1999. – 22 с.
3. Железнодорожный путь : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Г. М. Шахунянц. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1987. – 479 с.

УДК 691.32

**Т. М. Петрова, А. П. Лейкин, А. В. Полетаев, Ю. А. Сорвачева,
К. В. Гуляев, Э. Ю. Чистяков**

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ КОНТРОЛЯ

Приведен сравнительный анализ новой редакции ГОСТ 17624-2012 «Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности» с предшествующей версией стандарта 1987 г. Показаны основные достоинства и недостатки действующего нормативного документа, выявлен ряд приборов неразрушающего контроля, не удовлетворяющих требованиям по базе прозвучивания. Представлены результаты исследования кинетики трещинообразования опытного участка безбалластной конструкции верхнего строения пути на территории Российской Федерации с использованием ультразвукового метода контроля.

неразрушающие методы контроля, ультразвуковой метод, прочность, бетон, железобетон, безбалластная конструкция, верхнее строение пути.

Введение

В настоящее время значительно вырос уровень производства приборов неразрушающего

контроля, что объясняется широкой областью их применения: контроль прочности бетона и качества бетонирования, дефектоскопия, оценка глубины трещинообразования и т. д. [1].

Основные параметры, оцениваемые неразрушающими методами контроля в бетоне – прочность, толщина защитного слоя, влажность, водонепроницаемость, морозостойкость и др. [2]. Известны несколько методов оценки прочности бетонных и железобетонных изделий и конструкций: испытания стандартных образцов; испытания кернов, выбуренных из конструкции; неразрушающего контроля. Особенности последних заключаются в измерении какого-либо физического показателя, связанного с искомым значением прочности, установленной корреляционной зависимостью.

В связи с принятием в 2012 г. новой редакции ГОСТ 17624-2012 «Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности», вступившей в силу с 1 января 2014 г. взамен давно утратившей свою актуальность редакции 1987 г., изменились требования к приборам и методам контроля прочности бетона ультразвуковым методом [3].

Цель данной работы – исследовать кинетику и выявить потенциальные причины трещинообразования на опытном участке безбалластной конструкции верхнего строения пути неразрушающими методами контроля.

Для достижения поставленной цели решали следующие задачи:

- провести сравнительный анализ старой и новой редакции межгосударственного стандарта по ультразвуковому методу контролю прочности бетона;
- выявить основные особенности и требования к приборам неразрушающего контроля;
- исследовать кинетику трещинообразования безбалластной конструкции верхнего строения пути с использованием ультразвукового метода контроля.

1 Новые требования к ультразвуковым приборам

Обновленная версия стандарта разработана в соответствии с требованиями международных нормативных документов в области

измерений, испытаний и контроля и с учетом современного уровня развития науки и техники. Главные положительные отличия новой редакции ГОСТ 17624-2012:

- впервые определена допустимая прочность бетона классов В60 (т.е. прочностью до 75 МПа);
- впервые разрешено определять прочность бетона в монолитных конструкциях поверхностным способом прозвучивания;
- установлен способ построения градуировочных зависимостей не только по контрольным образцам, но и по результатам испытания методом отрыва со скалыванием;
- четко разграничены оценки класса бетона по результатам испытаний ультразвуковым методом по ГОСТ 18105-2010 (схемы В и Г) [4].

Хотя документ хорошо проработан, следует отметить и его недостатки. Согласно п. 5.4 ГОСТ 17624-2012, база прозвучивания прибора неразрушающего контроля должна быть не менее 120 мм и не более 200 мм, однако давно выпускаются и успешно работают приборы с базой прозвучивания 100 мм. Возникает вопрос о возможности использования таких приборов, как, например, «Бетон-22» и «Бетон-32» (рис. 1).



Рис. 1. Бетон-32 с базой прозвучивания 100 мм

Однако в ряде исследований установлено, что погрешность результатов измерения ультразвуковым методом непосредственно зависит от базы прозвучивания (рис. 2) [5].

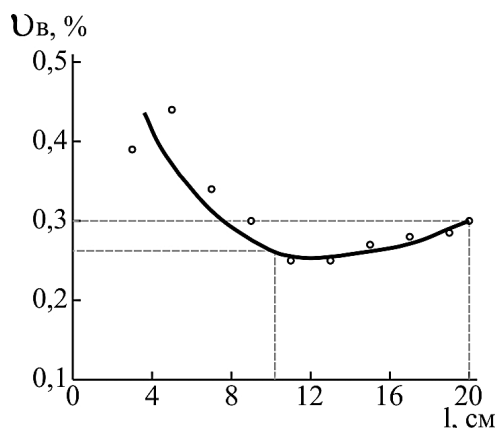


Рис. 2. Зависимость коэффициента вариации многократных измерений времени прохождения ультразвука от базы прозвучивания

На основе приведенного графика можно сделать вывод, что установленная ГОСТом база прозвучивания 20 см имеет больший коэффициент вариации, чем запрещенная – 10 см, что свидетельствует о неоднозначности установленных требований к приборам неразрушающего контроля.

2 Использование ультразвуковых приборов для оценки глубины трещин на примере опытного участка безбалластной конструкции верхнего строения пути на территории Российской Федерации

Новая редакция межгосударственного стандарта ГОСТ 17624-2012 «Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности» не регламентирует правила и методы контроля трещинообразования бетонных и железобетонных конструкций, несмотря на то, что развитие ширины и глубины трещин оказывает значительное влияние на эксплуатационные характеристики и долговечность сооружения и требует постоянного мониторинга.

На примере опытного участка безбалластной конструкции пути с использованием ультразвуковых методов неразрушающего контроля исследовано трещинообразование.

Монолитное железнодорожное полотно типа RHEDA 2000 впервые было применено в 1999 г. в Германии в рамках пилотного проекта на магистрали длиной около 1000 м Эрфурт – Халле – Лейпциг. Положительный опыт при проектировании, строительстве и эксплуатации опытного участка в Германии позволил руководству немецких железных дорог принять решение об использовании более 180 тыс. запатентованных двухблочных шпал при строительстве высокоскоростной магистрали Кельн – Франкфурт – Рейн – Майн [6].

На территории Российской Федерации данная конструкция впервые появилась осенью 2010 г. Ее эксплуатация в течение первого года показала, что путь по всем показателям имеет стабильные характеристики [7]. Вместе с тем были выявлены многочисленные трещины на поверхности конструкции, развивающиеся от углов полублоков к центру и к торцу плиты (рис. 3).



Рис. 3. Трещины на поверхности опытного участка безбалластной конструкции верхнего строения пути

Экспериментальный участок безбалластной конструкции верхнего строения пути расположен на насыпи из песков средней крупности, а в основании земляного полотна залегают легкие пылеватые суглинки. Железобетонные шпалы немецкого производства с эпюрой укладки 1840 шт./км замонтированы в арми-

рованную несущую бетонную плиту класса В40 толщиной 240 мм. Несущая бетонная плита опирается на гидравлически связанный несущий бетонный слой толщиной 300 мм класса В15, под которым уложен защитный слой из щебеночно-песчано-гравийной смеси толщиной 40 см.

В рамках данного исследования методом поверхностного прозвучивания датчиками сухого акустического контакта ультразвукового прибора УК 1401 проведен анализ глубины распространения трещин в железобетонной конструкции по методике РД 153-34.1-21.326-2001 «Железобетонные и бетонные конструкции».

В рамках данной методики измеряли скорость ультразвукового сигнала при наличии и в отсутствие трещины, глубину трещин определяли по разнице времени прохождения данных сигналов.

Результаты определения глубины распространения трещин на примере одного из пикетов представлены в таблице.

Глубина трещин превышает толщину защитного слоя в 25 мм, что приводит к началу коррозии арматурного каркаса и к снижению прочностных характеристик железобетонной конструкции.

Для определения динамики ширины раскрытия трещин и исключения влияния динамической нагрузки на кинетику трещинообразования использовали прибор ТЕРЕМ-4 с датчиками перемещения точностью до 0,001 мм,

Глубина распространения трещин на опытном участке безбалластной конструкции верхнего строения пути на примере ПК1

Номер трещины	Глубина трещин, мм
1	27
2	30
3	25
4	30
5	34

температуры и влажности, которые были установлены на 10 пикетах на время испытаний (4 ч). За это время по опытному участку пути прошло более 20 поездов.

Результаты исследования кинетики ширины раскрытия трещин на одном из пикетов представлены на рис. 4.

Суммарная ширина раскрытия трещин за период испытаний достигала значений 0,4–0,6 мм, при этом верхняя граница превышала допустимое значение 0,5 мм.

Глубина раскрытия трещин, превышающая толщину бетонной несущей плиты, в которую замоноличены шпалы, а также значительное изменение ширины раскрытия трещин (от 0,001 до 0,06 мм) в течение эксперимента могут способствовать проникновению влаги в тело конструкции и привести к коррозии арматурного каркаса.

Для проведения ремонтных работ важно правильно выбрать инъекционные материа-

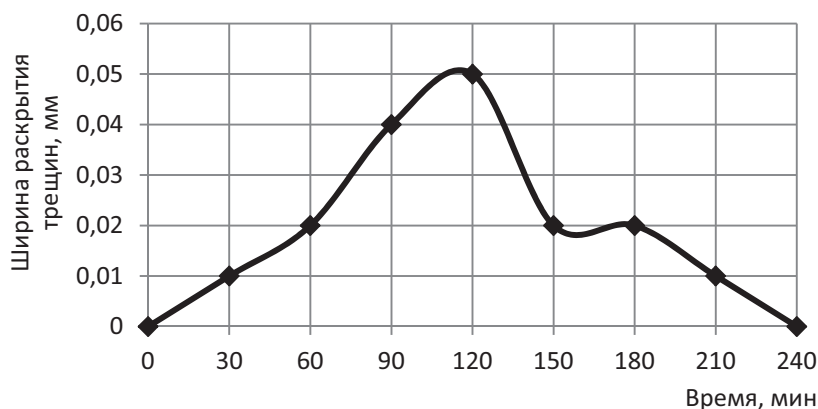


Рис. 4. Изменения ширины раскрытия трещин во времени

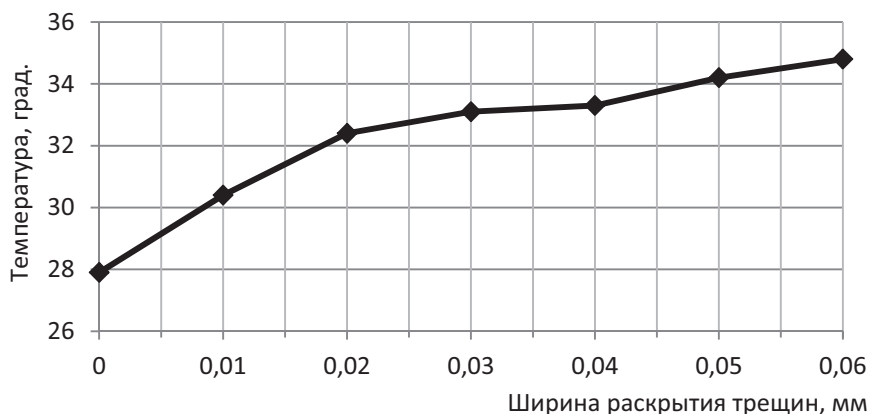


Рис. 5. Зависимость ширины раскрытия трещин от температуры

лы в зависимости от подвижности трещин. Раскрытие трещин может быть вызвано краткосрочной причиной (нагрузкой от движения транспорта), ежедневной (нагреванием солнечными лучами) и длительной (сменой сезонов).

Во время испытаний резких изменений в ширине раскрытия трещин после прохождения поездов не обнаружено. Была высказана гипотеза о зависимости ширины раскрытия трещин исследуемой конструкции от температуры (рис. 5).

Заключение

Введение новой редакции межгосударственного стандарта по оценке прочности бетона ультразвуковым методом впервые позволило контролировать качество конструкций, изготовленных из высокопрочных бетонов класса до В60.

В густоармированных подрельсовых конструкциях необходимо предварительно рассчитывать предельно допустимую ширину раскрытия трещин, при этом учитывать подвижность трещин и выявлять длительность воздействующих причин.

Неразрушающие методы контроля качества железобетонных конструкций позволили установить наличие трещин с суммарной шириной раскрытия более 0,8 мм и с глубиной более 30 мм, что превышает толщину

защитного слоя арматурного каркаса и способствуют прониканию влаги и коррозии арматуры. При испытаниях на всем участке безбалластной конструкции пути выявлено, что трещины являются подвижными, изменение ширины их раскрытия в большей степени зависит от погодных условий, это необходимо учитывать при ремонтных работах.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам аккредитованных испытательных центров «Прочность» и «Прочность-серт» кафедры «Строительные материалы и технологии» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».

Библиографический список

1. **Неразрушающие** методы контроля прочности бетона / Ж. В. Бербеков // Молодой ученый. – 2012. – № 11. – С. 20–23.
2. **Методика** и техника для контроля прочности бетонов и других искусственных каменных материалов / Д. А. Чихунов // Строительная инженерия. – 2005. – № 2. – С. 13–16.
3. **ГОСТ 17624-2012.** Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности. – М. : Стандартинформ, 2014. – 19 с.

4. **ГОСТ 18105-2010.** Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. – М. : Стандартинформ, 2013. – 20 с.

5. **Применение** ультразвуковых преобразователей с точечным контактом для неразрушающего контроля / В.В. Дзенис ; Риж. политехнич. ин-т им. А.Я. Пельше. – Рига : Зинатне, 1987. – 263 с.

6. **Michas G.** Slab track system for High Speed railways / Royal Inst. Technol. (KTH). – Sweden, Stockholm, 2012. – 107 p.

7. **Проблемы** эксплуатации безбалластной конструкции верхнего строения пути RHEDA 2000 на железнодорожной магистрали / А. Ф. Колос, Т.М. Петрова, А.А. Сидоренко // Техника железных дорог. – 2013. – № 2 (22). – С. 42–47.

УДК 629.423.31

Р.И. Прошутинский, О.В. Колодкин

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ВЕНТИЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ В ТЯГОВОМ ПРИВОДЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА МАГИСТРАЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Рассмотрены вентильные тяговые двигатели и их применение на отечественном и зарубежном опытном и серийном электрическом подвижном составе магистральных железных дорог. Выделены характерные особенности электромеханических преобразователей электроэнергии существующих вентильных тяговых двигателей. Описаны принципиальные схемы полупроводниковых преобразователей. Исходя из опыта проектирования и эксплуатации вентильных тяговых двигателей, предложена возможная область их применения на отечественных железных дорогах на современном этапе.

вентильный тяговый двигатель, электромеханический преобразователь энергии, контактное электромагнитное возбуждение, полупроводниковый преобразователь, однооперационный тиристор, электровоз.

Введение

В настоящее время за рубежом эксплуатируется электрический подвижной состав (ЭПС) с вентильными тяговыми двигателями (ВТД).

Вентильный тяговый двигатель включает в себя электромеханический преобразователь энергии (ЭМП) и полупроводниковый преобразователь, переключающий фазы статорной обмотки тягового электродвигателя (ТЭД) в зависимости от углового положения ротора.

В статье рассматриваются существующие на данный момент ВТД, выделяются ключевые

особенности их ЭМП и преобразователей, а также предлагается область их применения на отечественных железных дорогах в настоящее время.

1 Мировой опыт применения ВТД на ЭПС

В трех странах (СССР/России, Франции и Японии) работы над ВТД были доведены до построения опытных образцов ЭПС. Серийно ЭПС с ВТД производился только во Франции.

В СССР вентильные двигатели создавались в качестве замены коллекторных двигателей в приводе серийных грузовых электровозов переменного тока 25 кВ 50 Гц с целью повышения их мощности за счет увеличения осевой силы тяги. В ходе работ над этой темой в 1967–1976 гг. построены макетная четырехосная секция ВЛ80 Б-216 и опытные двухсекционные восьмиосные электровозы ВЛ80 В-661, 1129, 1130 (обозначение ВЛ80 В также имели ранее построенные опытные электровозы с регулированием напряжения трансформатора на высокой стороне). Кроме того, для изучения перспективности применения группового тягового привода на отечественных железных дорогах в 1976 г. создан опытный двухсекционный восьмиосный электровоз ВЛ83-001 переменного тока 25 кВ 50 Гц.

Во Франции вентильные двигатели изначально проектировались для грузопассажирских электровозов с групповым приводом в качестве замены двухъякорных машин постоянного тока с переключаемым редуктором. В течение 1980-х годов построены и испытаны опытные электровозы: односистемный (25 кВ 50 Гц) ВВ10004 и двухсистемные (1,5/25 кВ 50 Гц) ВВ22011, ВВ22012. Итогом этих работ стало производство в конце 1980-х годов двухсистемных (1,5/25 кВ 50 Гц) четырехосных грузопассажирских электровозов с групповым приводом на две оси ВВ26000 SyBic (от фр. Synchrone Bicourant).

Параллельно с середины 1980-х до конца 1990-х годов создавалось семейство высокоскоростных поездов с тяговым приводом на основе ВТД. Применение ВТД позволило в габаритах коллекторных ТЭД реализовать большую мощность, благодаря чему стало возможным увеличение в поездах TGV Atlantique по сравнению с TGV PSE числа промежуточных вагонов при одновременном сокращении числа обмоточных осей. Были созданы следующие семейства поездов TGV с ВТД: Atlantique, Reseau, Duplex (до поколения Dasye), PBA (для использования на территории Франции, Бельгии, Нидерландов), Thalys

PBKA (для использования на территории Франции, Бельгии, Германии, Нидерландов), а также AVE S100 для железных дорог Испании (на основе TGV Atlantique) и KTX-I (TGV-K) для железных дорог Южной Кореи (на основе TGV Reseau). В их состав входили промежуточные пассажирские вагоны и два четырехосных локомотива с индивидуальным приводом, расположенные по концам поезда (восемь обмоточных осей). В поезде KTX-I тяговые двигатели дополнительно установлены на ближайшие к электровозам две двухосные тележки пассажирских вагонов, таким образом, общее число обмоточных осей составляет 12. Электрооборудование вышеперечисленных поездов рассчитано на работу от следующих систем тягового электроснабжения: постоянного тока 1,5 кВ (TGV Atlantique, Reseau, Duplex, PBA, Thalys PBKA); постоянного тока 3 кВ (TGV PBA, Thalys PBKA, AVE S100); переменного тока 15 кВ 16,7 Гц (TGV Thalys PBKA); переменного тока 25 кВ 50 Гц (все поезда TGV, AVE S100); переменного тока 25 кВ 60 Гц (KTX-I).

В 1996–1997 гг. в России построены опытные скоростные пассажирские электровозы ЭП200-001, 002 переменного тока 25 кВ 50 Гц с ВТД и индивидуальным тяговым приводом.

В Японии в начале 1970-х годов одна из двух тележек четырехосной электросекции Кумоуа 791 переменного тока 20 кВ 60 Гц была оснащена вентильными двигателями для проведения испытаний.

В таблице приведены параметры тяговых приводов ЭПС с ВТД.

2 Анализ решений, примененных в существующих ВТД

2.1 ЭМП существующих ВТД представляют собой синхронную машину нормального исполнения с фазной обмоткой на статоре и обмоткой возбуждения, размещенной на роторе в оси d и питаемой через щетки и контак-

Параметры тяговых приводов с ВТД

ЭПС	ВЛ80 Б	ВЛ80 В	Кумоуа 791	ВЛ83	ВВ 26000	TGV Atlantique	ЭП200
Страна, годы выпуска	СССР, 1967	СССР, 1970 (1975)	Япония, нач. 1970-х	СССР, 1976	Франция, 1988–1998	Франция, 1988–1992	Россия, 1996
Тип привода	ИНД	ИНД	ИНД	ГР (2 оси)	ГР (2 оси)	ИНД	ИНД
$V_{\max}$, км/ч	110	110	95	110	200	300	200
Тип ЭМП	НБ-600	НБ-601	МТ-971	НБ-604	STS 105-37-8	STS 44-39-6	НТВ-1000
Подвешивание ТЭД	ОП-ОС	ОП-ОС	н/д	ОП-Р	ОП-Р	ОП-Р	ОП-Р
$P_{\text{ч}}$, кВт	1120	1010	110	1800	2800*	1300	1000
$N_{\text{ч}}$, об./мин.	1600	1160	2280	710	н/д	н/д	1805
Тип обмотки статора	3 фазы	3 фазы	3 фазы	2×3 фазы	2×3 фазы, 0 вывод	3 фазы, 0 вывод	3 фазы, 0 вывод
Тип ротора	ЯП	НЯП	НЯП	НЯП	ЯП	ЯП	НЯП
Обмотки на роторе	ОВ	ОВ, ДО	ОВ, ДО, КО	ОВ, ДО	ОВ, ДО	ОВ, ДО	ОВ, ДО
2р	6	8	н/д	10	8	6	8
Масса, кг	4200	4100	н/д	7150	6400	1450	2300
Тип преобразователя	ПЧФ-III	ПЧФ-IV (М)	RS810	ПЧФ-V	н/д	н/д	СПУ-5700У2
Схема	НЗПТ	НЗПТ	НЗПТ	НЗПТ	ЯЗПТ	ЯЗПТ	ЯЗПТ

Примечания. 1. Условные сокращения. Тип привода: ИНД – индивидуальный, ГР – групповой; подвешивание: ОП-ОС – опорно-осевое, ОП-Р – опорно-рамное; тип ротора: ЯП – явнополусный, НЯП – неявнополусный; обмотки на роторе: ОВ – обмотка возбуждения, ДО – демпферная обмотка, КО – компенсационная обмотка; схема преобразователя: НЗПТ – с неявным звеном постоянного тока, ЯЗПТ – с явным звеном постоянного тока. 2. В преобразовательной установке ЭП200 объединены выпрямительно-инверторные преобразователи, преобразователи ВТД и управляемые выпрямители возбуждения. 3.* – указана продолжительная мощность.

ные кольца от отдельного источника (независимое возбуждение). Также на роторе всех двигателей, кроме отечественного НБ-600, расположена демпферная обмотка.

Тип фазной обмотки при индивидуальном приводе – трехфазная «звезда», при групповом – две трехфазные «звезды» со смещением на 30 электрических градусов. Фазные об-

мотки двигателей, применяемых совместно с преобразователями с ЯЗПТ, имеют нулевые выводы.

Часовые мощности тяговых двигателей, за исключением МТ-971 (110 кВт), расположены в диапазоне 1010–1300 кВт для индивидуального привода и 1800–3000 кВт – для группового.

Первый советский ЭМП НБ-600 имел явнополюсный ротор, однако в дальнейшем предпочтение было отдано неявнополюсной конструкции [1] при опорно-осевом и опорно-рамном подвешивании ТЭД. ЭМП с неявнополюсным ротором были установлены и на японской электросекции Кутоуа 791. На французском ЭПС с ВТД применены явнополюсные ЭМП с опорно-рамным подвешиванием как при индивидуальном, так и при групповом приводе.

Число полюсов двигателей отечественного ЭПС с индивидуальным приводом, как правило, $2p = 8$ (исключение – НБ-600 с $2p = 6$), а двигатели STS 44-39-6 поездов TGV Atlantique выполнены с $2p = 6$.

Вентиляция двигателей преимущественно аксиальная; с радиальной вентиляцией выполнены ТЭД французских электропоездов с групповым приводом.

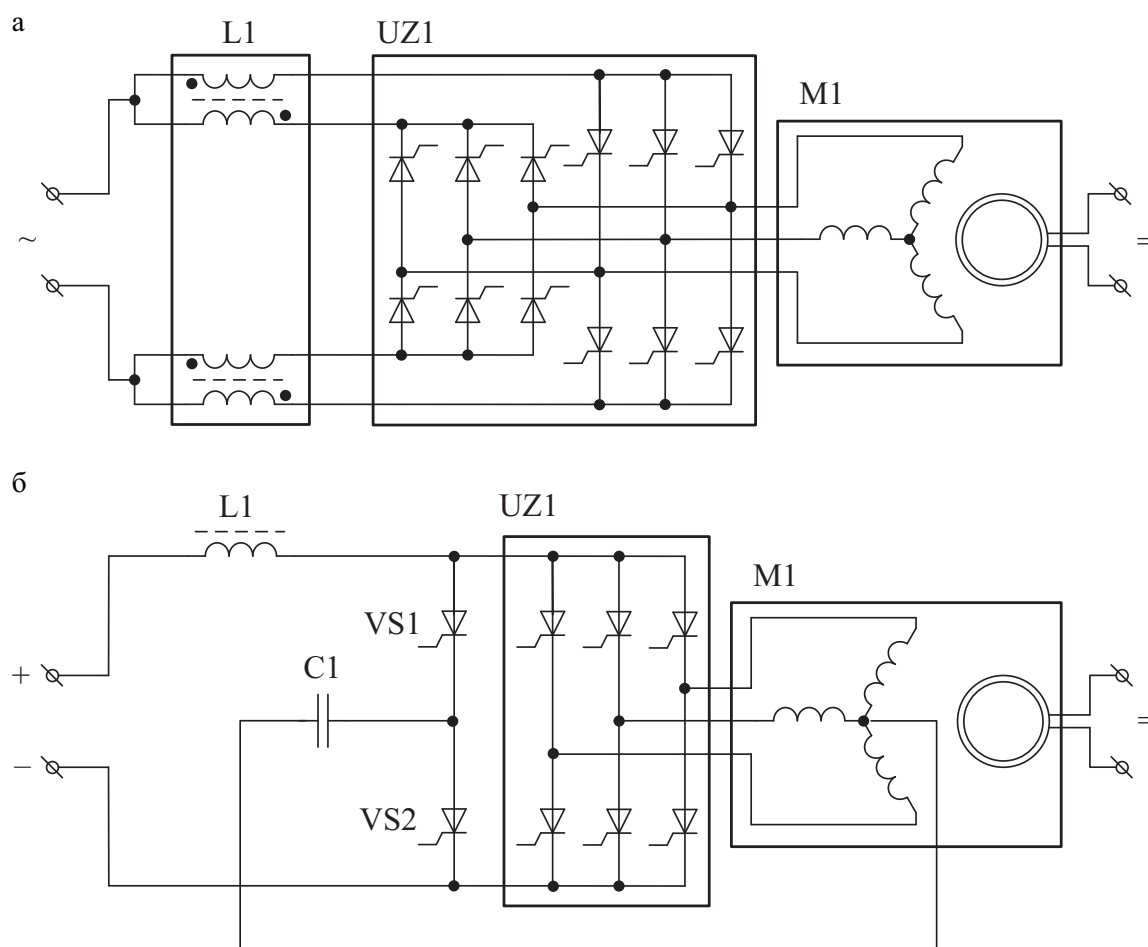
2.2 На существующих ВТД применены преобразователи частоты и числа фаз с естественной коммутацией, выполненные по принципу инвертора тока на основе однооперационных тиристоров. Первоначально такие преобразователи (ПЧФ-III) рассматривались как коммутаторы – полупроводниковые аналоги механического коллектора, благодаря которым ВТД обладали свойствами, схожими со свойствами коллекторной машины постоянного тока [2]. В дальнейшем на преобразователи с неявным звеном постоянного тока частично были возложены функции регулирования напряжения на зажимах ЭМП (ПЧФ-IV, ПЧФ-IVM, ПЧФ-V, RS-810).

Конструктивные особенности преобразователей ВТД в основном связаны с необходимостью обеспечить коммутацию однооперационных тиристоров как в рабочих режимах за счет ЭДС вращения ЭМП, так и при пуске и малых скоростях движения, когда эта ЭДС мала.

Имеются два схемных решения преобразователей ВТД – с явным и неявным звеном постоянного тока. Принципиальные схемы преобразователей ВТД для индивидуального привода представлены на рисунке.

Преобразователь по схеме с НЗПТ был применен на советских электропоездах ВЛ80 Б, ВЛ80 В, а также на японской электросекции Кутоуа 791 (часть «а» на рисунке). Его модификация под двигатель для группового привода была установлена на электропоезде ВЛ83. Такие преобразователи непосредственно подсоединяли к выводам вторичных обмоток тяговых трансформаторов. Напряжение на зажимах ЭМП изменяли с помощью группового контроллера (ВЛ80 Б) или по принципам плавного межступенчатого регулирования (ВЛ80 В, ВЛ83). Одной из основных причин выбора такой схемы являлась относительная простота коммутации полупроводниковых приборов преобразователя при пуске и малых скоростях движения за счет напряжения контактной сети («сетевая» коммутация). Основные недостатки примененных преобразователей – наличие многообмоточного сглаживающего реактора и необходимость выполнения индивидуальных преобразователей для каждого ЭМП.

Преобразователи по схеме с ЯЗПТ применены на французском ЭПС с ВТД, а также на отечественном электропоезде ЭП200. Такие преобразователи выполняют функцию коммутатора. Напряжение на зажимах ЭМП регулируется входными преобразователями ВТД – широтно-импульсными или выпрямительно-инверторными. Преимущества такой схемы – возможность питания нескольких ВТД от одного входного преобразователя, однообмоточный сглаживающий реактор, а также возможность применения на подвижном составе переменного и постоянного тока, а также на многосистемном ЭПС. Одним из основных недостатков рассматриваемой схемы является необходимость в специальных контурах (тиристоры VS1, VS2 и конденсатор C1 на части «б» рисунка) для обеспечения искусственной коммутации тиристоров при пуске и малых скоростях движения. Однако, как правило, у устройств таких вспомогательных контуров установленная масса и мощность сравнительно невелики. Кроме того, применение искусственной коммутации повышает тяговое усилие в рабочих режимах [3, с. 132; 4].



Схемы преобразователей ВТД при индивидуальном приводе:

а) с НЗПТ; б) с ЯЗПТ; L1 – сглаживающий реактор; C1, VS1, VS2 – конденсатор и тиристоры устройства искусственной коммутации; UZ1 – полупроводниковый преобразователь; M1 – ЭМП

3 ВТД для современного отечественного ЭПС

В настоящее время существует проблема обновления парка подвижного состава отечественных железных дорог. Целесообразным можно считать создание отечественного ЭПС, в приводе которого вместо КТД применены ВТД, имеющие перед коллекторными ряд преимуществ [5, 6].

Приоритетным направлением является разработка перспективного ЭПС с бесколлекторными тяговыми двигателями. Поскольку ВТД конкурентоспособны асинхронным при мощностях выше 800–1000 кВт [7, с. 16; 8,

с. 96, 99], возможно их применение в тяговом приводе электровазов.

В сжатые сроки, с учетом опыта проектирования тягового привода электровоза ЭП200 [9] может быть создан вентильный двигатель с преобразователем по схеме инвертора тока с ЯЗПТ. Предполагаемая конструкция ЭМП ВТД – синхронная машина, на статоре которой расположена трехфазная обмотка с нулевым выводом, на роторе – обмотка возбуждения в оси d и демпферная обмотка. В преобразователе целесообразно применить искусственную коммутацию тириستоров во всем диапазоне скоростей движения.

Массовое применение вентильных двигателей в нашей стране позволит накопить достаточный опыт проектирования и эксплуатации полностью отечественных тяговых электромашинно-полупроводниковых комплексов.

Заключение

Можно сделать следующие выводы.

ВТД с преобразователями тока разработаны преимущественно для замены коллекторных двигателей постоянного тока в тяговом приводе электропоездов. Имеющиеся образцы ЭПС с ВТД имеют как индивидуальный, так и групповой привод, как опорно-осевое подвешивание ТЭД, так и опорно-рамное; охвачено большинство существующих систем тягового электроснабжения.

ЭМП ВТД преимущественно представляет собой синхронную машину нормального исполнения с фазной обмоткой на статоре и обмоткой возбуждения, размещенной на роторе в оси d и питаемой через контактные кольца, а также с демпферной обмоткой. Типы фазных обмоток, число полюсов индуктора, а также форма их выраженности отличаются в зависимости от страны-производителя, вида тягового привода, типа подвешивания ТЭД.

В существующих ВТД применяются преобразователи тока на базе однооперационных тиристоров. Два основных типа преобразователей различаются в основном принципом коммутации тиристоров при пуске и малых скоростях движения.

Возможная область применения ВТД на современном этапе на отечественных железных дорогах – электропоезды с индивидуальным приводом осевой мощностью выше 1000 кВт. Наиболее быстро привод таких электропоездов можно создать на основе ВТД с преобразователем тока по схеме ЯЗПТ, максимально привлекая опыт проектирования отечественного электропоезда ЭП200. Производство ЭПС с ВТД позволит в перспективе освоить про-

изводство полностью отечественного ЭПС с бесколлекторными двигателями.

Библиографический список

1. **Конструкционные** параметры вентильного тягового двигателя / А. С. Курбасов, Н. К. Иванченко, В. А. Ерманченко // Перспективный электроподвижной состав : сб. ст. / под ред. О. А. Некрасова. – М. : Транспорт, 1970. – С. 28–33. – (Тр. ЦНИИ МПС ; вып. 416).
2. **Вентильные** двигатели и их применение на электроподвижном составе / под ред. Б. Н. Тихмеева. – М. : Транспорт, 1976. – 280 с.
3. **Brun D.** Why the French chose synchronous motors // *Railway Gazette Int.* – 1985. – № 2. – P. 130–134.
4. **Исследование** искусственной коммутации тока в тяговом вентильном двигателе / В. А. Сенаторов, Н. Н. Горин, В. А. Кучумов // Повышение тягово-энергетических и эксплуатационных качеств электроподвижного состава / под ред. О. А. Некрасова. – М. : Транспорт, 1977. – С. 118–138. – (Тр. ЦНИИ МПС; вып. 576).
5. **Возможности** повышения тяговых свойств электроподвижного состава с вентильными двигателями / Г. И. Колпахчян, В. Д. Тулупов // *Электричество*. – 1976. – № 4. – С. 34–39.
6. **Сравнение** синхронного тягового двигателя с двигателями других типов / А. Барраль // *Железные дороги мира*. – 1984. – № 3. – С. 28–33.
7. **Применение** асинхронных и синхронных тяговых двигателей / И. Машфер-Тассэн, А. Гаш // *Железные дороги мира*. – 1986. – № 12. – С. 9–16.
8. **Сравнительное** исследование электропоездов с бесколлекторными тяговыми двигателями, асинхронными и вентильными / В. А. Кучумов, Н. Н. Горин, В. Д. Кондрашов, В. А. Сенаторов // Параметры перспективных электропоездов и вопросы электрической тяги / под ред. О. А. Некрасова. – М. : Транспорт, 1978. – С. 85–122. – (Тр. ЦНИИ МПС ; вып. 597).
9. **Тяговый** электропривод с микропроцессорной системой управления электропоезда ЭП200 при применении усовершенствованных алгоритмов управления / Г. И. Колпахчян, А. В. Лебедев, Е. М. Ефимов, Е. Ю. Парнюк // *Вестн. ВЭЛНИИ*. – 2006. – Вып. 1 (50). – С. 80–90.

УДК 656.21

П. К. Рыбин, Р. Р. Ахмедов, А. П. БадецкийПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**О. А. Медведь**

Санкт-Петербургский техникум железнодорожного транспорта

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В ЦЕЛЯХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОСТУПЛЕНИЯ ВАГОНОВ В ПОРТ

Прогнозирование является важной составляющей частью планирования эксплуатационной работы как всего железнодорожного транспорта в целом, так и его отдельных подразделений. Чем выше качество прогноза, тем выше качество планирования и, соответственно, организации работы. В статье рассматривается возможность применения математического аппарата искусственных нейронных сетей для прогнозирования количества поступающих в порт вагонов на примере угольных вагонопотоков. Интерес к проблеме взаимодействия железнодорожного и морского транспорта в припортовых транспортных узлах объясняется ее непосредственным влиянием на развитие всего транспортного комплекса России и повышение эффективности его работы.

искусственные нейронные сети, взаимодействие морского и железнодорожного транспорта, многослойный персептрон, прогнозирование, планирование.

Введение

Одним из основных партнеров морского торгового флота по объему грузоперевозок является железнодорожный транспорт, поэтому любая несогласованность действий морского порта и припортовой железнодорожной станции приводит к значительным потерям не только для участников перевозочного процесса, но и для всей экономики страны. Чтобы избежать этого, важно максимально точно определить условия, обеспечивающие четкое взаимодействие припортовых станций и порта [1].

Нарушения единой технологии взаимодействия железнодорожного и морского транспорта в ряде припортовых транспортных узлов часто вызваны сверхнормативным простоем вагонов. Например, в порту Санкт-Петербург простой вагонов в ожидании подачи и уборки доходит в среднем до 19 часов, а среднее время ожидания окончания грузовых операций на погрузочно-выгрузочных фронтах порта – до

30 часов. Причины этого – малая вместимость и большое число грузовых фронтов, расположенных на значительном расстоянии друг от друга, в результате группы разгруженных вагонов вынуждены ожидать окончания грузовых операций со всей партией поступивших вагонов и формирования состава из порожних вагонов для их дальнейшего отправления [2]. Это создает проблемы для железнодорожных компаний-перевозчиков, операторов подвижного состава и его владельцев.

Основным условием четкого взаимодействия железнодорожного и морского транспорта является поступление в порт заданного объема груза в установленные промежутки времени, определяющие условия его выгрузки, которые учитывают допустимую загрузку перегрузочной техники и складских мощностей порта, а также припортовой инфраструктуры железнодорожного транспорта.

Допустимый уровень загрузки портовых мощностей, а также технических и техноло-

гических резервов для освоения заданного объема работы необходимо планировать на основе оперативного прогноза поступления вагонов в порт. При этом горизонт прогноза должен быть максимально продолжительным.

Например, если вагоны подают в порт с периодом 4 часа, то при оценке складывающейся ситуации даже на одни сутки необходимо достоверно спрогнозировать шесть значений. Таким образом, прогноз величины вагонопотоков на следующие несколько суток представляет собой сложную задачу, поэтому для прогнозирования поступления вагонов в порт желательно использовать математические модели, которые позволяют выявлять сложные зависимости между входными и выходными данными, а также обобщать результаты. Именно такими качествами обладают искусственные нейронные сети (ИНС), показавшие свою эффективность при прогнозировании колебаний вагонопотоков отдельных назначений плана формирования поездов [3]. Кроме того, они имеют ряд преимуществ:

- постоянную оптимизацию своей структуры в режиме реального времени с целью минимизации прогностической ошибки;
- более широкие возможности при анализе сложных динамических систем и закономерностей;

- способность решать задачи, опираясь на неполную и внутренне противоречивую входную информацию.

1 Анализ неравномерности поступающих в порт вагонопотоков

При прогнозировании желательно применять математическую модель, которая является наиболее эффективной с точки зрения затрат времени на расчеты и получаемых результатов. Для упрощения поиска такой модели нейронной сети необходимо выявить и изучить закономерности изменения исследуемых вагонопотоков. С этой целью были собраны и проанализированы собранные статистические данные за 2011–2013 гг. по угольным вагонопотокам, поступающим в порт в течение 4-часовых периодов (рис. 1). Несмотря на то, что исходный ряд обладает высокой динамичностью, можно визуально выделить тренд и периодическую компоненту ряда. Как видно на рис. 1, колебания величины вагонопотоков, поступающих в порт, ежегодно повторяются, наблюдается тенденция к небольшому возрастанию этой величины.

Для выявления в структуре представленного временного ряда пика отклонений от тренда

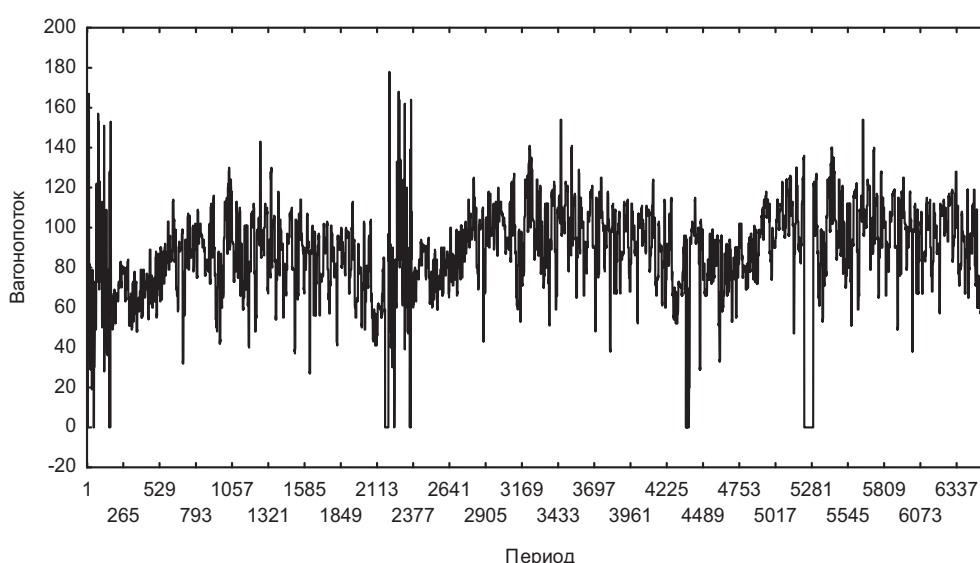


Рис. 1. Прибытие вагонов в порт в течение 4-часовых периодов за 2011–2013 гг.

и определения продолжительности периодической компоненты был проведен спектральный анализ с использованием одномерных рядов Фурье.

Анализ проводился отдельно для каждого вида неравномерности – годовой, квартальной, месячной, недельной, внутринедельной, суточной. В статье представлены только те виды неравномерности, для которых анализ дал положительный результат (рис. 2–5).

Периодограмма, построенная по данным за три года, позволяет выделить в качестве циклической составляющей (наибольший пик на рис. 2) 2048 периодов, которые суммарно составляют 341 день.

Периодограмма значений вагонопотока за 2011 г. (рис. 3) подтвердила предыдущую гипотезу о 341-дневной циклической составляющей обследованного вагонопотока, поступающего в порт.

На рис. 4 представлена периодограмма значений вагонопотока, поступающего в порт, за II квартал 2013 г. Видно ярко выраженный цикл в 180 периодов (30 суток), что соответствует одному месяцу. Стоит отметить, что анализ квартальной неравномерности всего временного ряда показал схожие результаты,

отличающиеся друг от друга на 1–2 суток. Также проанализирована внутримесячная неравномерность (рис. 5). По результатам определено, что внутри месяца циклическая составляющая вагонопотока равна 46 периодам, т. е. ≈ 8 суток.

С учетом результатов спектрального анализа решено прогнозировать количество прибывающих в адрес порта вагонов на следующие 4 суток по значениям вагонопотока за предыдущие 8 суток.

2 Синтез искусственной нейронной сети и проверка точности прогноза

2.1 Выбор количества слоев и нейронов в сети

Искусственная нейронная сеть создавалась в системе инженерных расчетов MatLab на основе примеров, описанных С. Хайкином [4]. В качестве нейронной сети для прогноза выбран многослойный персептрон (рис. 6), поскольку он является универсальным аппроксиматором сложных нелинейных функций.

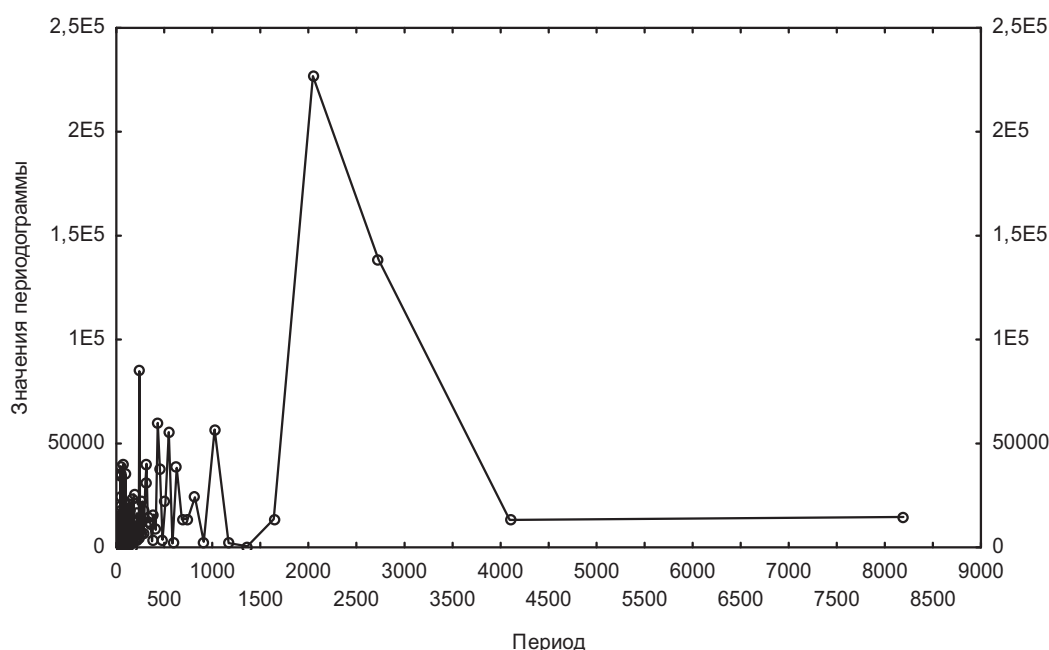


Рис. 2. Периодограмма значений поступающего в порт вагонопотока за 2011–2013 гг.

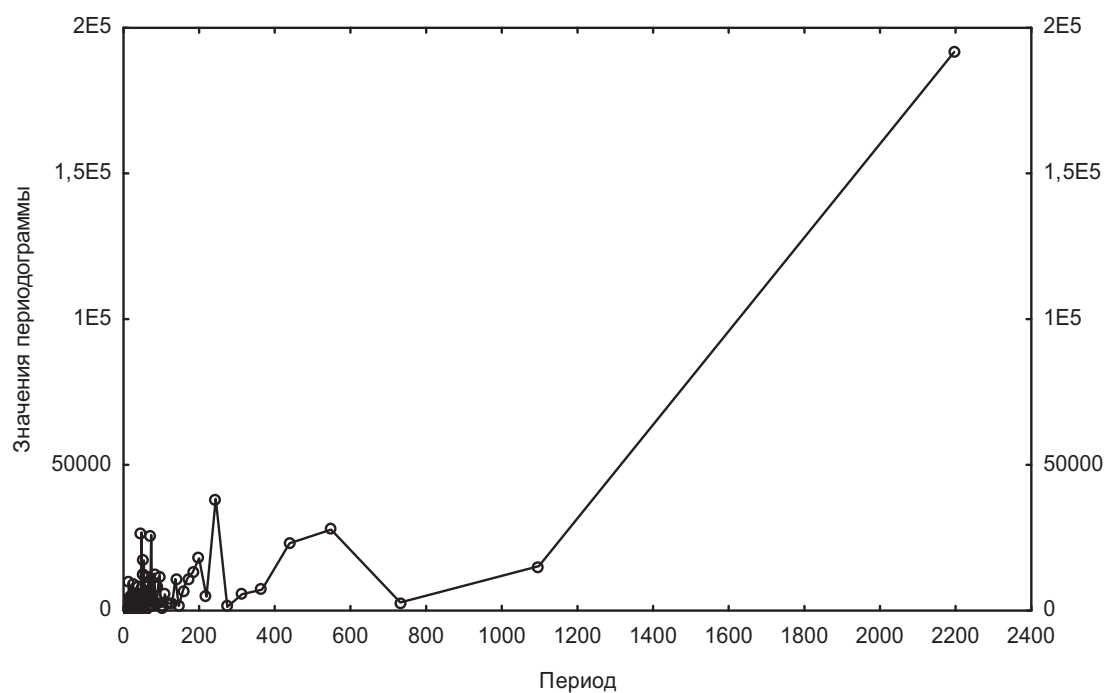


Рис. 3. Периодограмма значений поступающего в порт вагонопотока за 2011 г.

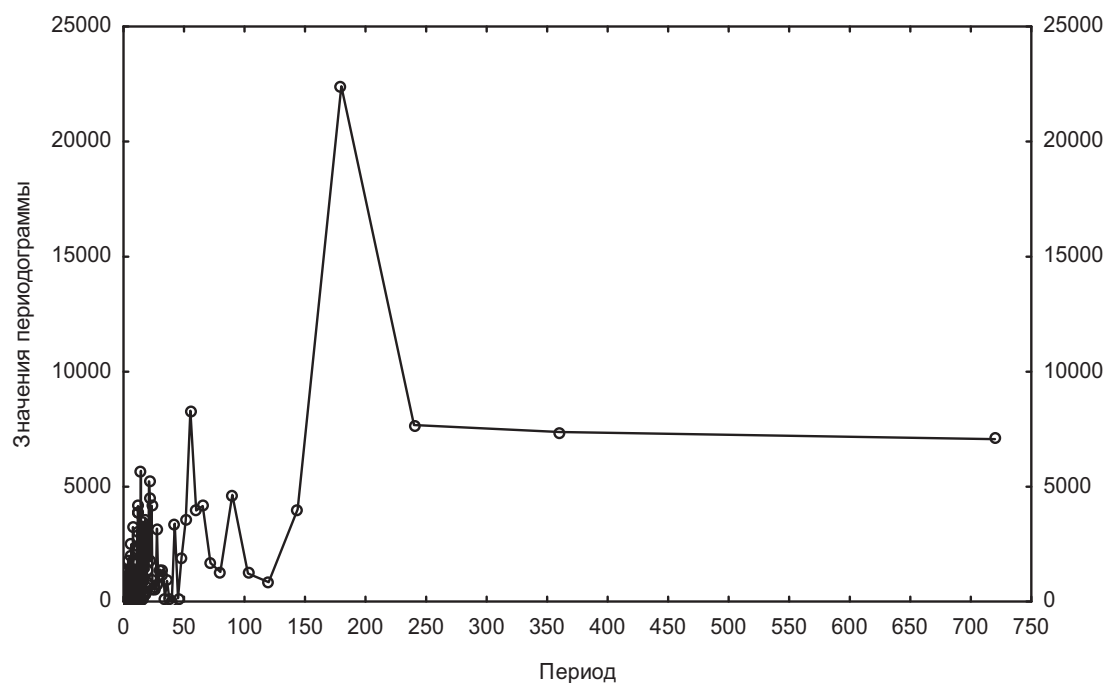


Рис. 4. Периодограмма значений поступающего в порт вагонопотока за II квартал 2013 г.

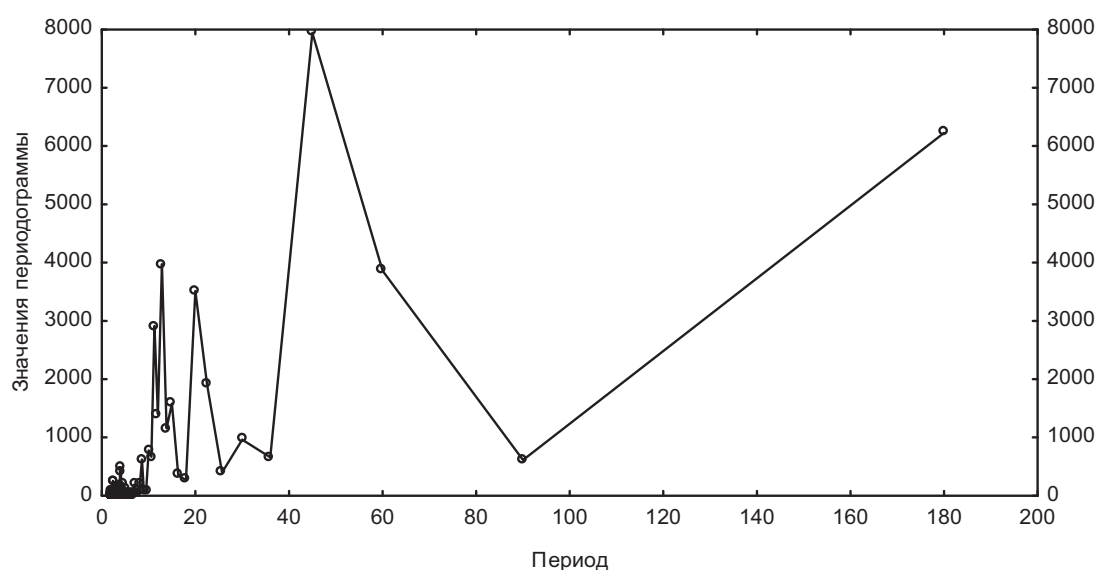


Рис. 5. Периодограмма месячных значений поступающего в порт вагонопотока в течение 2011–2013 гг.

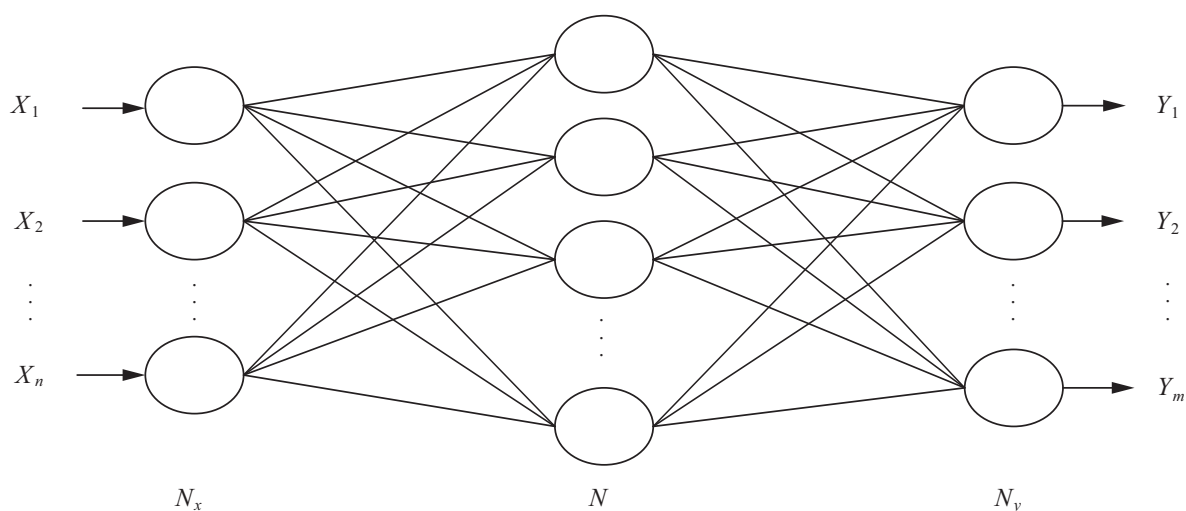


Рис. 6. Многослойный персептрон

Сеть состоит из произвольного количества слоев нейронов. Нейроны следующего слоя соединяются с нейронами предыдущего по принципу «каждый с каждым». На вход нейронной сети подаются последовательно векторы входных данных $[X_1, X_2, \dots, X_n]^T$, нейроны входного (сенсорного) слоя распределяют входные сигналы между нейронами скрытого (ассоциативного) слоя. Скрытый слой рассчитывает нелинейное преобразование от линей-

ной комбинации сигналов и подает результат на нейроны выходного (результативного) слоя. Результатом работы сети является вектор выходных данных $[Y_1, Y_2, \dots, Y_m]^T$.

Выбор количества нейронов каждого слоя зависит от сложности задачи, количества имеющихся данных для обучения и от ресурсов машины, на которой моделируется нейронная сеть. Стоит отметить, что в настоящее время нет строго определенной процедуры для вы-

бора количества нейронов и слоев сети. Малое количество нейронов приводит к ухудшению аппроксимационных свойств сети и большой ошибке при работе сети. При увеличении количества слоев и нейронов сети она приобретает свойство отображать все более нелинейную зависимость «вход-выход». Но если нейронов будет слишком много, то сеть «переобучится» и будет неспособна формировать адекватное отображение выходных данных.

На основе анализа и установленной периодической компоненты временного ряда количество нейронов входного и выходного слоя выбирали исходя из условий задачи – по предыдущим восьми суткам спрогнозировать подход вагонов на следующие четверо суток. Таким образом, количество нейронов входного слоя N_x выбирали согласно определенной периодической компоненте – 46, выходного N_y – 24 (4 суток по 6 периодов). Количество нейронов скрытого слоя N подбирали эмпирически с учетом теорем Арнольда – Колмогорова – Хехт-Нильсена [5–7]. Согласно следствию из этих теорем, необходимое число синаптических весов определяется как

$$\frac{N_y Q}{1 + \log_2(Q)} \leq N_w \leq N_y \left(\frac{Q}{N_x} + 1 \right) (N_x + N_y + 1) + N_y, \quad (1)$$

где N_y – размерность выходного сигнала; Q – число элементов обучающей выборки; N_w – необходимое число синаптических весов; N_x – размерность входного сигнала.

Тогда количество нейронов скрытого слоя составит

$$N = \frac{N_w}{N_x + N_y}. \quad (2)$$

Согласно проведенным расчетам, необходимое число нейронов скрытого слоя составило от 56 до 864. Согласно некоторым практическим рекомендациям, достаточное число нейронов скрытого слоя можно определить как $N_x + N_y$ [8]. Таким образом, сеть пред-

ставляет собой многослойный персептрон с архитектурой (46–70–24).

2.2 Формализация задачи прогнозирования и определение условий обучения сети

Многослойный персептрон осуществляет расчет вектора выходных данных u для любого вектора входных данных x . Тогда исходным условием задачи прогнозирования, которая ставится перед персептроном, является множество векторов $[X_1, X_2, \dots, X_n]^T$, а решением служит множество векторов $[Y_1, Y_2, \dots, Y_n]^T$. Важным этапом формализации является выбор смысла, которым наделяются компоненты вектора входных данных.

Для поставленной задачи компоненты входного вектора задавали в форме $[date, period, u_{dp}]$, где $date$ – число, месяц и год, $period$ – номер периода внутри суток, u_{dp} – вагонопоток, поступающий в порт в заданный период заданных суток.

В обучающую выборку вошли значения прибывающего вагонопотока за период с 1 января 2011 г. по 2 октября 2013 г. Значения с 3 октября 2013 г. по 31 декабря 2013 г. в обучении сети не участвовали и служили для проверки точности прогноза.

Обучение нейронной сети осуществлялось методом обратного распространения ошибки (back propagation). Количество эпох обучения – 1200. В качестве функции активации нейронов выбрана сигмоидная (логистическая) функция с несимметричной областью изменений, которая в силу своих особенностей (она монотонно возрастает и имеет непрерывную производную) позволяет очень хорошо преобразовывать нелинейные функции. Сигмоидная функция активации задается формулой

$$y = \frac{1}{1 + e^{-S}}, \quad (3)$$

где S – разность между взвешенной суммой входных сигналов и пороговым значением нейрона:

$$S = \sum_{i=1}^n x_i w_i - \theta. \quad (4)$$

Среднеквадратичная ошибка обучения (разница между требуемыми d_i и реальными y_i выходными сигналами МП) определялась как

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^l (d_i - y_i)^2. \quad (5)$$

После обучения сети среднеквадратичная ошибка составила $\varepsilon = 0,065$. График изменения среднеквадратичной ошибки в результате

обучения представлен на рис. 7. После обучения с помощью нейронной сети был спрогнозирован вагонопоток на следующие 80 суток (480 значений). Средняя абсолютная ошибка прогнозирования составила 5,45 %, что является достаточно хорошим результатом для столь длительного горизонта прогноза. Предсказанные нейронной сетью и фактические значения вагонопотока по периодам представлены в таблице и на рис. 8.

Как видно из таблицы и рис. 8, нейронная сеть дает возможность получить прогноз достаточно высокого уровня точности.

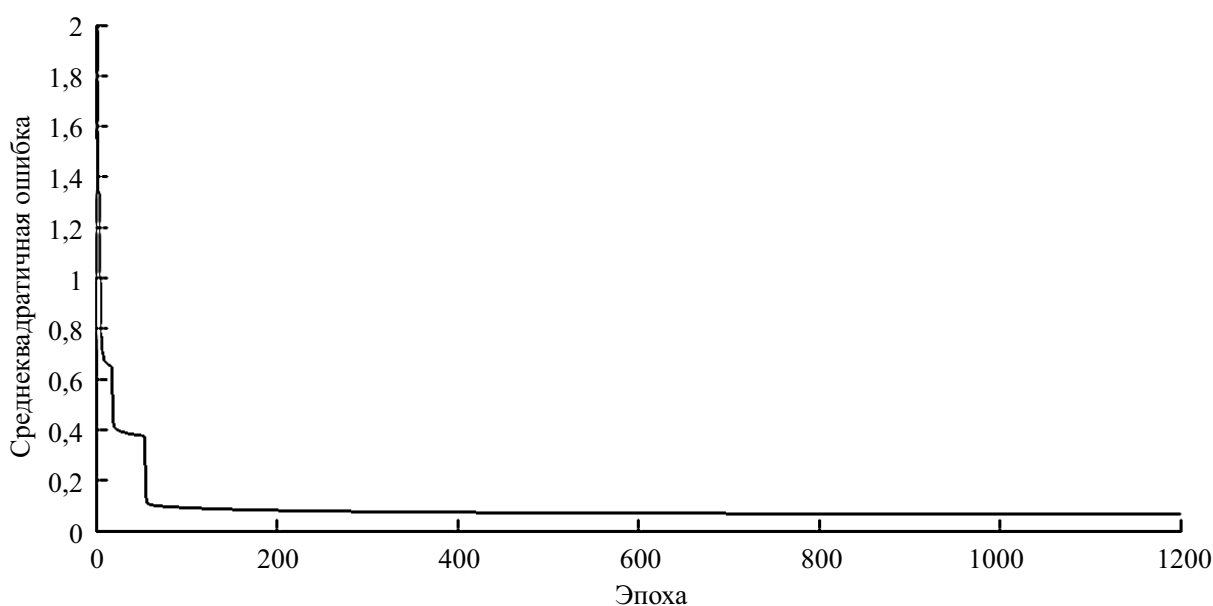


Рис. 7. Изменение среднеквадратичной ошибки в процессе обучения

Предсказанные и фактические значения прибывающего вагонопотока за первые трое суток прогноза

№ периода	Предсказанные значения, ваг.	Фактические значения, ваг.	№ периода	Предсказанные значения, ваг.	Фактические значения, ваг.
1	84,06	84	10	86,34	88
2	86,71	85	11	87,72	87
3	85,88	85	12	84,29	83
4	84,13	84	13	85,05	87
5	86,92	85	14	87,54	88
6	84,32	85	15	87,57	87
7	86,59	87	16	90,08	88
8	87,71	88	17	84,71	87
9	86,36	87	18	89,75	86

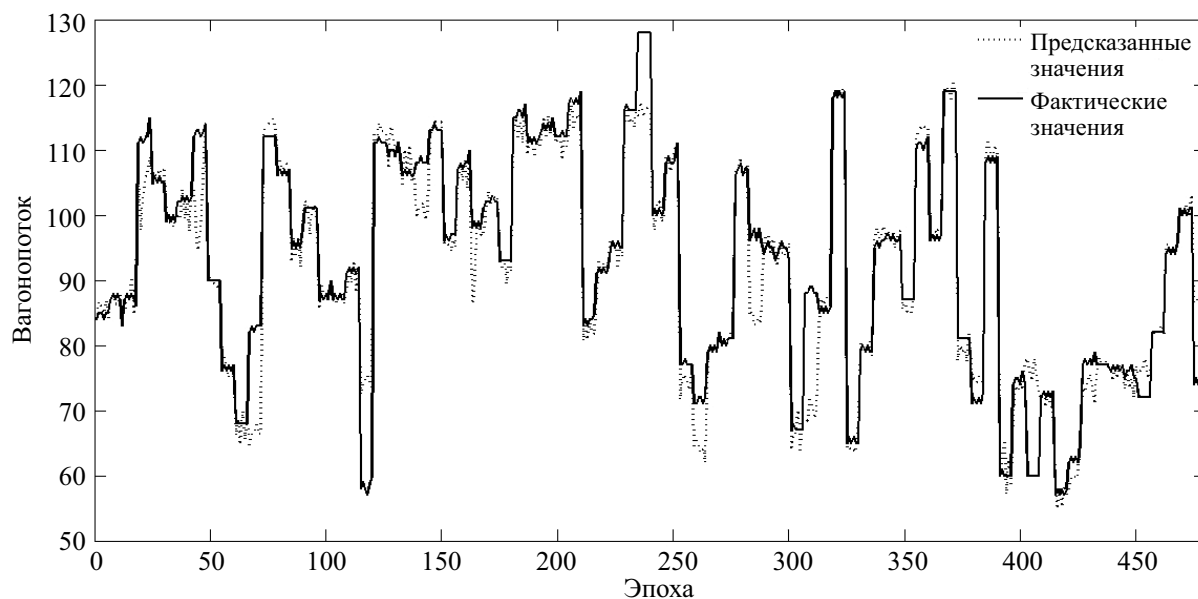


Рис. 8. Предсказанный и фактический вагонопоток

Заключение

Качественный прогноз поступления вагонов в адрес порта позволяет более эффективно планировать работу припортовых станций, а также приводит к существенному сокращению непроизводительных простоев вагонов в порту, что, в свою очередь, улучшает условия взаимодействия железнодорожного и морского транспорта. Возможность использования искусственных нейронных сетей для прогнозирования количества поступающих вагонов и высокая эффективность применения этой математической модели подтверждены в результате анализа реальных статистических данных по работе железнодорожных станций, которые обслуживают один из морских портов РФ. Таким образом, при определении потребного путевого развития станций и составлении прогноза изменения величины вагонопотоков, поступающих в адрес портов, грузовых районов, промышленных предприятий и терминально-складских комплексов, представляется целесообразным использование ИНС. В то же время необходимо продолжить исследования возможностей этого математического аппарата при построении прогнозов на более длительный период.

Библиографический список

1. **Об основных** положениях Генеральной схемы развития сети железных дорог ОАО «РЖД» на период до 2020 года / Ф.С. Пехтерев // Экономика железных дорог. – 2012. – № 5. – С. 30–38.
2. **Современный** аспект проблемы взаимодействия железнодорожного и морского транспорта в припортовых транспортных узлах (на примере Санкт-Петербургского морского торгового порта) / Р.Р. Ахмедов // Соврем. науч. исследования и инновации. – 2013. – № 8. – С. 29–32.
3. **Метод** адаптации плана формирования поездов к суточной неравномерности вагонопотоков : дис. ... канд. техн. наук / А.П. Бадеецкий. – 2013. – 141 с.
4. **Haykin S.** Neural Networks. A comprehensive Foundation. – 2nd ed. – Prentice Hal., 2005. – 823 p.
5. **О функциях** трех переменных / В.И. Арнольд // ДАН СССР. – 1957. – Т. 114, № 4. – С. 679–681.
6. **О представлении** непрерывных функций нескольких переменных суперпозициями непрерывных функций меньшего числа переменных / А.Н. Колмогоров // ДАН СССР. – 1956. – Т. 108, № 2. – С. 179–182.
7. **Hecht-Nielsen R.** Kolmogorov's Mapping Neural Network Existence Theorem // IEEE First Annual Int. Conf. on Neural Network. – San Diego, 1987. – Vol. 3.
8. **Основные** концепции нейронных сетей / Р. Каллан ; пер с англ. – М. : Вильямс, 2001. – 287 с.

УДК 339.138

Т. М. Шманёв, Е. К. Шмарина

Октябрьская железная дорога – филиал ОАО «Российские железные дороги»

ОЦЕНКА МЕТОДОМ РАСЧЕТА ИНДЕКСА УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ ПАССАЖИРОВ НЕОБХОДИМОСТИ ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ ПРОДУКТОВ И УСЛУГ НА ПОЛИГОНЕ ОКТЯБРЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Рассматриваются важность пассажирских перевозок и маркетинговые методы оценки степени удовлетворенности пассажиров услугами, предоставляемыми в границах Октябрьской железной дороги. Исследуется технология опроса методом прямого контакта при помощи анкетирования, что увеличивает достоверность собранной информации. После обработки данных выстраиваются кривые удовлетворенности пассажиров, выявляется потребность в корректирующих мероприятиях для повышения уровня сервиса и внедрения новых продуктов и услуг.

индекс удовлетворенности пассажиров, маркетинговые исследования, пригородные пассажирские компании.

Введение

Пригородные пассажирские перевозки имеют высокое социально-экономическое значение для любого региона, связанное с тем, что у железной дороги один из самых высоких показателей пассажирооборота, который, как правило, уступает только автобусам. В отдельных областях железные дороги перевозят свыше 80 % пассажиров.

В ряде регионов со значительной маятниковой миграцией населения основное преимущество железных дорог заключается в высокой провозной способности и в отсутствии пробок на автодорогах.

Северо-Западный Федеральный округ является наглядным примером транспортного узла, где ежедневно миллионы пассажиров совершают поездки на работу, учебу, отдых и с иными целями. Участниками транспортного обслуживания пригородных и пригородно-городских пассажиропотоков в границах Октябрьской железной дороги являются ОАО «Московско-Тверская пригородная пассажирская компания» и «Северо-Западная пригородная пассажирская компания».

1 Маркетинговые исследования как метод выявления индекса удовлетворенности пассажиров

Перед пассажирскими компаниями стоит особая задача – не только привлечь и удовлетворить новых потребителей, но и удержать имеющихся. То есть необходимо достичь наибольшего соответствия предоставляемых услуг ожиданиям пассажиров на всех этапах поездки – от покупки билета и посадки в поезд до прибытия в пункт назначения.

При получении информации из источников обратной коммуникации об уровне сервиса особое значение приобретает эффективное использование данных маркетинговых исследований, разработанных для железнодорожного транспорта. Потребность в использовании принципов маркетинга на рынке транспортных услуг вызвана тем, что пассажиров интересует комплексная транспортная услуга, а не процесс ее оказания. Железная дорога конкурирует с другими видами транспорта – прежде всего, автомобильным и воздушным. Чтобы повысить конкурентоспособность железных дорог при выполнении пассажирских

перевозок, необходимо использовать маркетинговые принципы для активации неценовых форм конкуренции и формирования устойчивых потребительских предпочтений независимо от тарифной политики.

Одним из важнейших элементов маркетинга является исследование рынка. Здесь может использоваться как первичная, так и вторичная информация. Последняя содержится в учетных и статистических документах как железнодорожных структур, так и региональных субъектов. С одной стороны, вторичная информация менее трудоемка, с другой стороны, она может исказить результаты и выводы, так как собиралась для других целей. Первичная же информация более трудоемка и требует затрат времени и средств, но она более достоверна [1].

Для оценки степени удовлетворенности пассажиров в пригородном сообщении была разработана и утверждена методика проведения исследований по определению степени лояльности обслуживания пассажиров. Программа введена в действие с 1 января 2013 г. [2]. Согласно данной методике, пригородные пассажирские компании ежеквартально оценивают удовлетворенность пассажира в пригородном сообщении, а также предоставляют достоверную информацию в Департамент пассажирских сообщений, Центральную дирекцию пассажирских обустройств и Центральную дирекцию моторвагонного подвижного состава. Целью данных сообщений является своевременное принятие корректирующих мер, направленных на повышение индекса удовлетворенности пассажиров.

Исследования среди пассажиров проводятся по технологии опроса методом персонального интервью. Интервью – это наиболее распространенный метод сбора количественных данных. Он основан на непосредственном общении интервьюера с респондентом. Персональное интервью проводится по структурированной анкете. Данный метод позволяет получить ответы на вопросы повышенной сложности, поскольку интервьюер имеет возможность точнее разъяснить их значение. Интервьюер в ходе опроса может заинтересовать

респондента, установить с ним доверительный контакт, уменьшить вероятность отказа от ответов. Интервьюер сам ведет опрос по анкете (Приложение 1), что исключает путаницу, пропуски вопросов из-за непонимания их смысла. Персональному интервью свойственна высокая гибкость, с его помощью можно получить больше информации.

2 Цели исследования

Цели нашего исследования – определить сводный показатель уровня удовлетворенности потребителей услугами пригородных пассажирских компаний (ППК); выявить значимость (вес) каждого ключевого фактора, влияющего на сводный показатель удовлетворенности, а также уровень удовлетворенности каждым из ключевых факторов, входящих в сводный показатель удовлетворенности; сегментировать потребителей по уровню удовлетворенности в зависимости от направления и частоты поездок, способа оплаты, возраста, места основного проживания; установить степень лояльности пассажиров к ППК – оценить долю тех, кто в дальнейшем будет пользоваться услугами ППК и не рассматривает альтернативные варианты транспорта, и долю тех, кто может отказаться от услуг ППК в связи с высокой степенью неудовлетворенности; оценить средне- и краткосрочные результаты выполнения маркетинговых и иных инициатив ППК; выявить основные приоритеты пассажиров; при построении обратной связи информировать пассажиров о внедряемых на полигоне ППК маркетинговых и иных инициатив.

3 Концептуальная модель методики

Предлагаемая модель основана на композиционном подходе к оценке уровня удовлетворенности (рис. 1).

Составляют список тех характеристик услуги перевозки пассажиров поездами в приго-

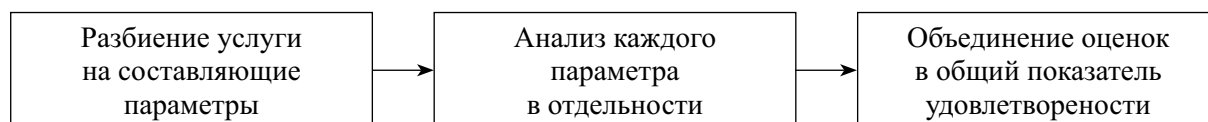


Рис. 1. Система расчета показателя удовлетворенности

родном сообщении, которые определяют удовлетворенность и лояльность потребителей: качественные показатели и маркетинговые показатели.

Каждую характеристику оценивают.

Строят профиль удовлетворенности потребителей.

Рассчитывают индексы по отдельным характеристикам.

Рассчитывают интегральную (общую) оценку удовлетворенности «Интегральный индекс удовлетворенности».

Определяют степень влияния внедряемых на полигоне ППК маркетинговых и иных инициатив на динамику пассажирооборота и удовлетворенность пассажиров.

Данный подход рассматривает услугу как систему характеристик (см. таблицу), которые оценивает потребитель. Среди ключевых параметров исследования отмечены доступность, тариф, стабильность, график движения, уровень сервиса на вокзалах и в поездах, информированность, скорость, комфортность в пути следования, санитарно-техническое состояние объектов инфраструктуры, безопасность. Затем на основании данных оценок строится общий показатель удовлетворенности.

Основные характеристики
для определения коэффициента значимости
для потребителя

Характеристика	Место характеристики по значимости
1	
2	
3	
...	
<i>n</i>	

4 Поиск показателей

Используются показатели:

- качественные – значимые для потребителей напрямую, связанные с использованием услуги;
- маркетинговые – значимые для потребителей косвенным образом, связанные с используемой услугой.

По каждой группе поиск показателей идет в трех направлениях:

- явные требования – четко осознаваемые пожелания к характеристикам услуги (то, чего хотят);
- скрытые требования – подразумеваемые характеристики услуги (то, чего ожидают);
- дополнительные требования – дополнительные характеристики услуги, предложенные компанией.

Составление списка характеристик (Приложение 2) подчиняется двум основным принципам:

- принцип дифференцированности подразумевает разделение характеристик таким образом, чтобы они воспринимались и могли быть оценены потребителем без влияния смежных, подобных параметров. В противном случае необходима большая детализация характеристик или, наоборот, объединение параметров в более общие группы;
- принцип интегративности предполагает, что сформированный список характеристик полностью описывает услугу. Суммарная оценка характеристик должна соответствовать общей оценке услуги.

5 Определение значимости каждой характеристики для потребителей

Значимость каждого параметра устанавливается в процессе интервью с потребителем.

При этом используется порядковая шкала, по которой потребитель оценивает значимость каждого параметра (см. таблицу). По результатам каждой характеристике присваивается ранг значимости, т. е. каждая характеристика получает коэффициент значимости для потребителя.

6 Оценка удовлетворенности характеристиками

Потребители оценивают удовлетворенность каждой характеристикой по 10-балльной шкале.

В анкете предлагается: «Оцените, пожалуйста, насколько вы удовлетворены перечисленными ниже характеристиками функционирования пригородных поездов. Оцените по десятибалльной шкале, где 10 – совершенно удовлетворены, а 1 – совершенно неудовлетворены».

7 Расчет интегральной оценки удовлетворенности

Интегральная оценка удовлетворенности рассчитывается из оценок удовлетворенности по каждой характеристике. Используется следующее выражение:

$$I_j = \frac{SUM_1^n \frac{SUM_1^7 ai \cdot i}{b}}{C},$$

где I_j – интегральный индекс удовлетворенности характеристикой j ; n – количество исследуемых характеристик услуги; ai – количество ответивших, которые поставили балл i -й характеристике под номером j ; i – шкала оценки – баллы от 1 до 10; b – количество ответивших на j -ю характеристику; C – общее количество характеристик

Итоги опроса пассажиров, проведенного на основании утвержденной методики, представлены на рис. 2.



Рис. 2. Результаты маркетингового исследования по определению индекса удовлетворенности пассажиров во II квартале 2014 г. на примере ОАО «Московско-Тверская пригородная компания»

Заключение

Развитие экономики и повышение общей мобильности населения ставит перед железнодорожным пассажирским транспортом новые задачи. Для усиления позиции пассажирским перевозочным компаниям, действующим в границах Октябрьской железной дороги, необходимо работать над качеством предоставляемых услуг и получать достоверную информацию о том, насколько потребители довольны сервисом. Маркетинговые технологии позволяют добиться наиболее качественных результатов в сборе подобных сведений.

Ставка на прямой контакт представителей РЖД с непосредственным пассажиром путем анкетирования позволяет получать все нужные данные из первых рук. Это повышает точность собранной информации и увеличивает возможность компании правильно перераспределить свои ресурсы для устранения слабых мест. Детальная оценка полученных в ходе интервьюирования данных и построенные на их основе профили удовлетворенности потребителя позволяют верно оценивать конечные результаты. В итоге грамотный расчет общей оценки отношения пассажиров дает возможность разработать конечную модель и определить зоны повышенного внимания на сети.

В конечном итоге эти сведения становятся важной основой для улучшения работы пассажирских компаний, показывают необходимость корректирующих мер, внедрения новых продуктов и услуг.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Здравствуйте. Меня зовут _____. Я представляю _____ пригородную пассажирскую компанию. Мы заботимся о качестве предоставляемых услуг и обслуживании клиентов. В связи с этим мы хотели бы задать Вам несколько вопросов, чтобы Вы высказали свое мнение. Пожалуйста, ответьте на несколько вопросов.

1. НАПРАВЛЕНИЕ (как пример)

1. Балтийское
2. Витебское
3. Московское
4. Финляндское
5. Волховстроевское

2. ПОЛ

1. Мужской
2. Женский

3. ВОЗРАСТ _____ лет

4. КАК ЧАСТО ВЫ СОВЕРШАЕТЕ ПОЕЗДКИ В ПРИГОРОДНЫХ ПОЕЗДАХ? (Зачитываете варианты ответов, необходимо выбрать один)

1. Каждый день
2. Три-пять раз в неделю
3. Один-два раза в неделю
4. Один-два раза в месяц
5. Реже одного раза в месяц

5. КАКОЙ ВИД ПРОЕЗДНОГО ДОКУМЕНТА ВЫ ОБЫЧНО ПРИОБРЕТАЕТЕ?

1. Разовый билет
2. Разовый туда/обратно
3. Абонемент
4. Льготный (дети, школьники, студенты, работники ж/д, социальные льготники, пенсионеры, военнослужащие)

6. РЕГИОН ВАШЕГО ПОСТОЯННОГО МЕСТОЖИТЕЛЬСТВА? (Зачитываете варианты ответов, необходимо выбрать один)

1. Санкт-Петербург
2. Ленинградская область
3. Другая область

7. В КАКИХ СИТУАЦИЯХ ВЫ ОБЫЧНО ПОЛЬЗУЕТЕСЬ ПРИГОРОДНЫМИ ПОЕЗДАМИ? (Зачитываете варианты ответов, можно выбрать несколько)

1. Для поездок на работу/с работы
2. Для поездок на дачу/с дачи
3. Для поездок на отдых
4. Для поездок к родственникам/друзьям
5. Другое (записать)

8. ВАШИ ПОЖЕЛАНИЯ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Характеристики удовлетворенности

1. ДОСТУПНОСТЬ

Стоимость поездки

Удобство расположения станций/платформ

Наличие стационарных пунктов продажи билетов (касс) на станциях/платформах

Наличие терминалов самообслуживания

Широта выбора типов проездных билетов

2. ТАРИФ

Стоимость поездки

3. СТАБИЛЬНОСТЬ

Стабильность расписания

Частота движения поездов

4. ГРАФИК ДВИЖЕНИЯ

Исполнение графика движения (опоздания прибытия/убытия пригородных поездов)

5. УРОВЕНЬ СЕРВИСА НА ВОКЗАЛАХ И В ПОЕЗДАХ

Время ожидания перед кассой

Вежливость кассиров-контролеров в поездах

Уровень компетентности персонала в кассах, на вокзалах, в поездах

Вежливость билетных кассиров

Внешний вид билетных кассиров

6. ИНФОРМИРОВАННОСТЬ

Доступность информации об отправлении поездов/изменениях в расписании

Актуальность информации об отправлении поездов/изменениях в расписании

Удобство использования информации об отправлении и изменениях

Четкость и громкость объявлений текущих и предстоящих остановок в вагонах

7. СКОРОСТЬ

Время в пути

8. КОМФОРТНОСТЬ В ПУТИ СЛЕДОВАНИЯ

Температурный/климатический режим в вагоне

Санитарное состояние (чистота) в вагонах

Удобство сидений в вагонах

Наличие мест для багажа в вагонах

9. САНИТАРНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Санитарное состояние (чистота) на платформах

Наличие навесов, сидений на станциях/платформах

10. БЕЗОПАСНОСТЬ

Состояние подвижного состава

Удобство и уровень безопасности посадки/высадки на платформах

Наличие охраны во время движения пригородных поездов

Библиографический список

1. **Маркетинг** : учеб. для вузов. – 3-е изд. / Г. Л. Багиев, В. М. Тарасевич, Х. Анн ; под ред. Г. Л. Багиева. – СПб. : Питер, 2008. – 736 с.

2. **Методика** по проведению исследований удовлетворенности потребителей (утв. распоряжением вице-президента М. П. Акулова 19 ноября 2012 г.).

3. **Стратегия** развития Холдинга «РЖД» на период до 2030 года (утв. советом директоров ОАО «РЖД», протокол № 19 от 23 дек. 2013 г.).



УДК 004.056.53

N. V. Evglevskaya, A. A. Privalov

Petersburg State Transport University

INFORMATION IMPACT MODEL AT THE TELECOMMUNICATION NETWORK OBJECTS

In the article information impact model at the telecommunication network objects is observed. The novelty of the proposed model consists in complex recognition of hacker's possibilities to provide information attack, based on data got by agent of technical and computer intelligence services. The model allows to define in number criteria the requirements for completeness and periodicity of information safety control at the objects of information, considering characteristic of their construction and functioning.

telecommunication network objects, organized hacker, method of topological transformation, stochastic network, equivalent function.

Introduction

It is known, that efficient and trouble-free functioning of telecommunication network objects provides security for main technological processes. That is why these objects are created by using an extracted, protected and inaccessible to other users information resource. However, the complexity of providing the normal operation of modern telecommunication network objects appeared in these latter days, due to increasing incidents of piracy and terrorist acts, realized by organized hackers in order to demonstrate the strength and/or horridification. Often hackers use not only the ways and means of physical destruction, but also new information impact means at technological processes [1]. According to leading experts of antiterrorist organizations, realization of such (information) influences at social significant objects will have more destructive consequences of economic shocks and human losses, compared to means of physical destruction. Usually the aim of the information impact is the main production

process; it is realized at the assailable object. For the first time the possibilities of this new type of terrorist weapons were demonstrated in 2010 at the private telecommunication network of nuclear center in Natanz (Iran), it led to the disruption of regular management at nuclear reactor and initiation of previously embedded accident-prone programs [1]. Moreover, specialists note [2] that successfully realized information influence can increase the efficiency of using physical destruction means.

Because telecommunication network object is an object realizing the technological production process, so it should be supposed that this object can be under the threat of this kind of impact although it is not available to other users seemingly.

Authors' analysis has showed that the information impacts at technological processes are organized by using data got by hacker from the information circulating in communication networks and processed at the objects of informatization. So organized hacker must realize a number of pri-

vate processes to achieve his aims and to implement the information impact:

- getting of data about the informatization object, i. e. the detection of its belonging to the chosen institution, its place and role in the implementation of the production technological process, the extent of the use of computing technics etc.;
- breaking, i. e. fact-finding of the information leakage channels existence and discovery of the most “informative” ones;
- hidden installation of information pickup equipment from the identified leakage channels;
- breaking the communication network used for the realization of the main technological process;
- embedding potentially dangerous programs providing unauthorized access to processed and transmitted information for its theft, modification, blocking etc.;
- choice of the most effective type of information influence and its implementation.

We note that the first three of these processes are implemented by hacker using forces and means of agent and agent-technical intelligence service and subsequent ones – using computer intelligence service.

For difficult implementing agent technical and computer intelligence services known methods are used which are described in the literature [3, 4]. However, the estimate methods of realization possibility of information impact kinds based on data received from various sources are not described in known literature.

In order to define and estimate of necessary time for organized hacker to realize an information impact at the telecommunication network objects we'll consider the following problem statement.

1 Task statement

Let's suppose that there is an telecommunication network object and it is the information influence subject for organized hacker, who obtains data about its elements using agent intelligence

service for random time t_d with distribution function $B(t)$. Then a hacker breaks the informatization objects and communication network. These processes are realized by hacker agent technical and computer intelligence service for random time t_k and t_p with distribution functions $K(t)$ and $R(t)$ respectively. Distribution functions $K(t)$ and $R(t)$ are defined, using known models developed previously [5]. In the case of successful breaking telecommunication network, object elements and existence of software and hardware and the probability of these events equals P_2 and P_1 , respectively, a hacker embeds potentially dangerous programs for random time t_n with distribution function $P(t)$ and installs the information pickup equipment from identified information leakage channels for random time t_a with distribution function $A(t)$. If the extracted information is not enough for embedding potentially dangerous programs and for installing information pickup equipment, thus processes described above are renewed with probabilities $(1 - P_1)$ and $(1 - P_2)$, respectively. We note that the probabilities P_1 and P_2 characterize software and hardware availability of information network and existing technical information leakage channels at the telecommunication network object.

We need to determine the average time T and the distribution function $F(t)$ of hacker readiness time to realize the information influence at the telecommunication network object elements.

2 Decision

Let's present the process described in the task statement in the form of stochastic network (fig. 1).

It is denoted in the figure:

$$b(s) = \int_0^{\infty} \exp(-s \cdot t) b(t) dt$$
 – Laplace transformation of probabilities distribution density function of data reception time about telecommunication network object elements $b(t)$;

$$r(s) = \int_0^{\infty} \exp(-s \cdot t) r(t) dt$$
 – Laplace transformation of probabilities distribution density func-

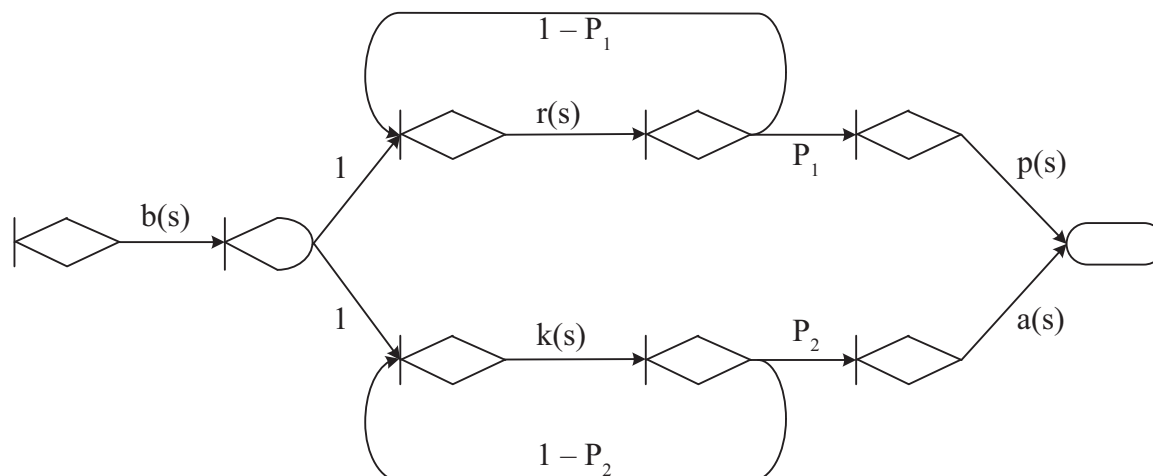


Fig. 1. Stochastic network of hacker preparing process for realization of information impact at the telecommunication network object

tion of the time for breaking telecommunication network $r(t)$;

$k(s) = \int_0^{\infty} \exp(-s \cdot t) k(t) dt$ – Laplace transformation of probabilities distribution density function of the time for breaking information leakage channels at the telecommunication network object $k(t)$;

$p(s) = \int_0^{\infty} \exp(-s \cdot t) p(t) dt$ – Laplace transformation of probabilities distribution density function of the time for embedding potentially harmful programs in terminal, server and telecommunication equipment of telecommunication network object $p(t)$;

$a(s) = \int_0^{\infty} \exp(-s \cdot t) a(t) dt$ – Laplace transformation of probabilities distribution density function of the time for information pickup equipment installation from leakage channels at the telecommunication network object $a(t)$.

Using the Mason equation and the result [5], we'll define the equivalent network function:

$$Q(s) = b(s) \times \left[\frac{p(s)r(s)P_1}{1 - (1 - P_1)r(s)} + \frac{k(s)a(s)P_2}{1 - (1 - P_2)k(s)} \right] \quad (1)$$

$$\left[\frac{p(s+y)r(s+y)P_1}{1 - (1 - P_1)r(s+y)} - \frac{k(s+x)a(s+x)P_1}{1 - (1 - P_1)k(s+x)} \right] / Q(0),$$

where: $x = -\frac{d}{ds} \left[\frac{p(s)r(s)P_1}{1 - (1 - P_1)r(s)} \right]_{s=0}^{-1}$,

$$y = -\frac{d}{ds} \left[\frac{k(s)a(s)P_2}{1 - (1 - P_2)k(s)} \right]_{s=0}^{-1}.$$

Let's suppose that the time distribution functions of private processes realization belong to the exponential class with parameters: $b=1/t_x$; $r=1/t_p$; $k=1/t_k$; $p=1/t_n$; $a=1/t_a$. Here: t_x ; t_p ; t_k ; t_n and t_a – an average data reception time about telecommunication network object elements; of breaking telecommunication network; of breaking information leakage channels; of embedding potentially harmful programs and information pickup equipment installation respectively.

It is not difficult to see that expression (1) contains a number of functions summands. Applying the Heaviside expansion to each of them and realizing term by term transition from Laplace images to the space of originals including mentioned above assumption we'll receive probabilities distribution density function of the hacker readiness

time to realize the information influence at the telecommunication network object:

$$f(t) = [\varphi_1(t) - \varphi_3(t) + \varphi_2(t) - \varphi_4(t)] / Q(0), \quad (2)$$

where:

$$\varphi_1(t) = \sum_{i=1}^3 \frac{pP_1br \exp(s_{\varphi 1i}t)}{3s_{\varphi 1i}^2 + 2s_{\varphi 1i}B1 + B2};$$

$$\varphi_2(t) = \sum_{i=1}^3 \frac{bP_2ka \exp(s_{\varphi 2i}t)}{3s_{\varphi 2i}^2 + 2s_{\varphi 2i}A1 + A2};$$

$$\varphi_3(t) = \sum_{i=1}^3 \frac{pP_1br \exp(s_{\varphi 3i}t)}{3s_{\varphi 3i}^2 + 2s_{\varphi 3i}B3 + B4};$$

$$\varphi_4(t) = \sum_{i=1}^3 \frac{kP_1ba \exp(s_{\varphi 4i}t)}{3s_{\varphi 4i}^2 + 2s_{\varphi 4i}A3 + A4}.$$

$$A1 = b + a + kP_2;$$

$$A2 = ba + bkP_2 + akP_2;$$

$$A3 = b + a + 3x + kP_2;$$

$$A4 = ab + 2bx + bkP_2 + 2xa + akP_2 + 3x^2 + 2xkP_2;$$

$$B1 = b + p + rP_1;$$

$$B2 = bp + brP_1 + prP_1;$$

$$B3 = b + p + 3y + rP_1;$$

$$B4 = pb + 2by + bpP_1 + 2yp + prP_1 + 3y^2 + 2yrP_1 -$$

functions summands expansion coefficients (1);

$$s_{\varphi 11} = -b; s_{\varphi 12} = -p; s_{\varphi 11} = -b; s_{\varphi 13} = -rP_1; s_{\varphi 21} = -b; s_{\varphi 22} = -a; s_{\varphi 23} = -kP_2; s_{\varphi 31} = -(b+y); s_{\varphi 32} = -(p+y); s_{\varphi 33} = -(P_1r+y); s_{\varphi 41} = -(b+x); s_{\varphi 32} = -(a+x); s_{\varphi 33} = -(P_2k+x) - \text{functions summands poles (1)}.$$

Integrating each of the summands (2) on t with variable upper limit we'll receive the required distribution function:

$$F(t) = \frac{1}{Q(0)} \left[\sum_{i=1}^3 \frac{\Phi 1_i}{-s_{\varphi 1i}} (1 - e^{s_{\varphi 1i}t}) - \sum_{i=1}^3 \frac{\Phi 3_i}{-s_{\varphi 3i}} (1 - e^{s_{\varphi 3i}t}) + \sum_{i=1}^3 \frac{\Phi 2_i}{-s_{\varphi 2i}} (1 - e^{s_{\varphi 2i}t}) - \sum_{i=1}^3 \frac{\Phi 4_i}{-s_{\varphi 4i}} (1 - e^{s_{\varphi 4i}t}) \right] \quad (3)$$

and the average time required for hacker for realization an information influence at the telecommunication network object:

$$T = \frac{1}{Q(0)} \left[\sum_{i=1}^3 \frac{\Phi 1_i}{s_{\varphi 1i}^2} - \sum_{i=1}^3 \frac{\Phi 3_i}{s_{\varphi 3i}^2} + \sum_{i=1}^3 \frac{\Phi 2_i}{s_{\varphi 2i}^2} - \sum_{i=1}^3 \frac{\Phi 4_i}{s_{\varphi 4i}^2} \right],$$

$\Phi 1_i; \Phi 3_i; \Phi 4_i$ – coefficients of a number of deductions corresponding to functions summands (1) numerically equal to:

$$\Phi 1_i = \frac{pP_1br}{3s_{\varphi 1i}^2 + 2s_{\varphi 1i}B1 + B2};$$

$$\Phi 2_i = \frac{bP_2ka}{3s_{\varphi 2i}^2 + 2s_{\varphi 2i}A1 + A2};$$

$$\Phi 3_i = \frac{pP_1br}{3s_{\varphi 3i}^2 + 2s_{\varphi 3i}B3 + B4};$$

$$\Phi 4_i = \frac{kP_1ba}{3s_{\varphi 4i}^2 + 2s_{\varphi 4i}A3 + A4}.$$

So the task is solved.

3 Simulation results

According to equations (3) and (4) calculations are made and their results are represented graphically in the figures 2 and 3.

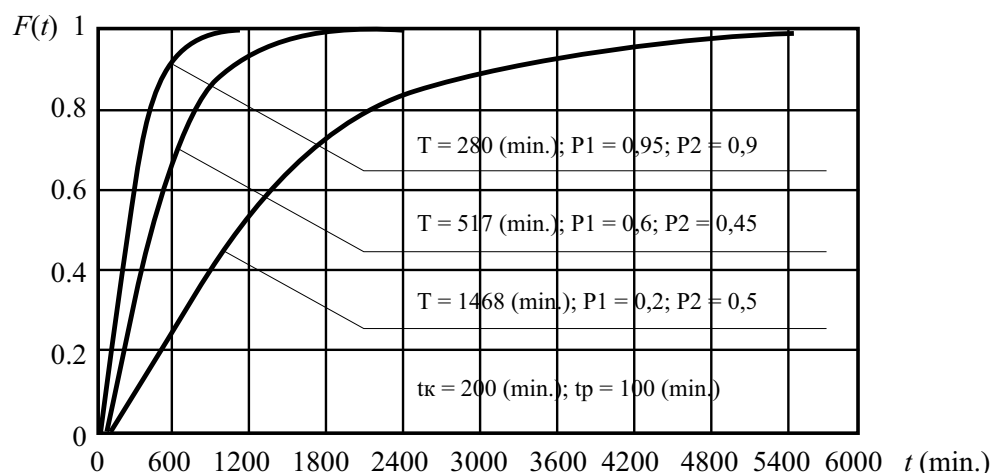


Fig. 2. Distribution functions family of hacker readiness time to realize the impact with different hardware and software availabilities

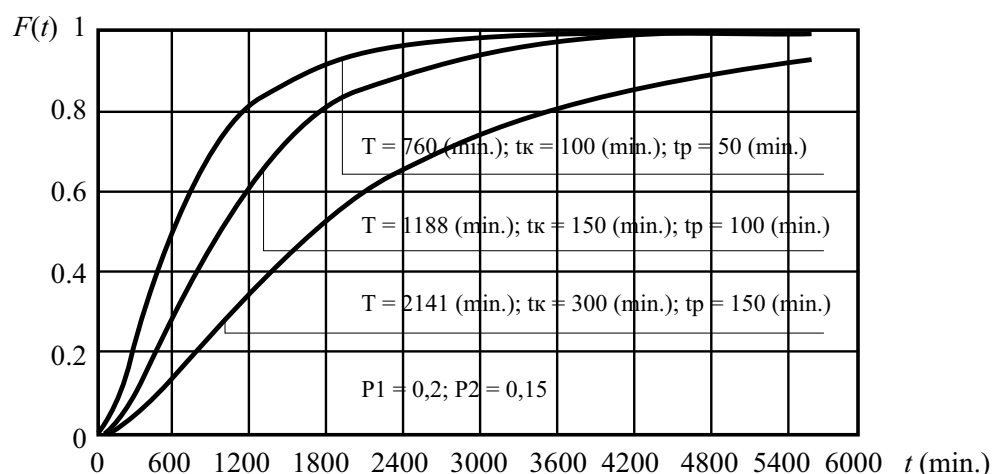


Fig. 3. Distribution functions family of hacker readiness time to realize an impact with different average time of breaking telecommunication network and information leakage technical channels

It was supposed in the calculations that the average time for embedding potentially harmful programs t_n and information pickup equipment installation from leakage channels t_a is no more than 3 minutes and 50 minutes, respectively [3, 4].

The values of software and hardware availability probabilities $P1$ of telecommunication network and hardware availability $P2$ of technical information leakage channels at the telecommunication network object changed from 0.2 to 0.95. The average time value of breaking telecommunication network t_p and information leakage channels t_k at the telecommunication network

object was determined, using intermediate simulation data of these processes, and it was variable from 50 minutes to 300 minutes.

Conclusion

Analysis of the received results allows to provide the following conclusions:

– despite the fact, that telecommunication network objects use an extracted, protected and inaccessible to other users information resource, there is a real danger of information impact at its elements by organized hacker, for example, using

“fighting viruses” [1, 2] and not declared software and hardware possibilities (embeddings);

- the developed model is efficient, sensitive to input data change, reflects the hacker preparation process for information impact at the telecommunication network object adequately, and allows to determine its probabilistic temporal characteristics. For example, using potential possibilities of existing information pickup equipment and software and hardware means of telecommunication networks breaking [3, 4], a hacker can embed «fighting virus» into telecommunication network object for a time, not exceeding 10 hours with probability at least 0,9;

- in contrast to previously known models designed one allows to estimate hacker abilities comprehensively in implementing information influence, using data got by various types of intelligence service. Also, there is the possibility of comparative analysis and estimate of information security threats using potential, described in the special literature hacker’s possibilities and the time of their appearance;

- used as the known distribution functions of the time for breaking informatization objects, telecommunication network and technical information leakage channels correspond with reasonable algorithms of hacker agent, agent-technical and computer intelligence services. This allows to implement quantitative reasonable distribution of protection and control means of information security at the telecommunication network object technical design stage, taking into account potential hacker possibilities, construction features and conditions of system elements functioning.

These functions can be defined, using models developed by the authors previously e.g. [5];

- received from the simulation values of the average time and hacker readiness probability for information influence to given point of time allow to define reasonable frequency and control depth of information security at the telecommunication network object operation stage, using the calculated values as criteria ones;

- using the developed model as part of decision acceptance support subsystem for telecommunications networks management will allow to predict the time of conditions change of their operation due to information influence and to take reasonable measures previously to prevent it (neutralization).

Bibliography list

1. **Sanger D.** To resist and hide: the secret wars of Obama and the surprising use of American power. – URL : <http://ru.wikipedia.org/wiki/Stuxnet>.

2. **Langner R.** 5 facts about the most dangerous computer virus today. – URL : <http://www.factroom.ru/facts/Stuxnet.4459>.

3. **Khalyapin D. B.** Safety of information. Are you eavesdropped? Protect yourself! – M. : NOU SHO “Baryad”, 2004. – 432 p.

4. **Biyachuev T. A.** Security of corporate networks. – St. Petersburg : SUI Inf. Technol., 2004. – 161 p.

5. **Privalov A. A.** The method of topological transformation of stochastic networks and its use for the analysis of Navy communication systems. – St. Petersburg : BMA, 2001. – 186 p.

УДК 004.056.53

Н. В. Евглевская, А. А. Привалов, Е. В. СкудневаПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**МАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ КОНФЛИКТА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ С СИСТЕМОЙ ДЕСТРУКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НАРУШИТЕЛЯ**

Автоматизированная система обработки информации и управления (АСОИУ) является сложной организационно-технической системой, в которой наряду с целевым процессом передачи информации реализуется и технологический процесс управления сетевыми ресурсами и качеством предоставляемых услуг электросвязи. Нарушение этого технологического процесса может привести к отказу самой АСОИУ. В статье рассмотрена марковская модель конфликта автоматизированных систем обработки информации и управления с системой деструктивных воздействий нарушителя. В данной модели нарушитель предпринимает серии согласованных атак, которые приводят к изменению состояния АСОИУ. Восстановлением АСОИУ управляет автоматизированная подсистема администрирования безопасности информации.

марковская модель, автоматизированная система обработки информации и управления (АСОИУ), интенсивность потоков перехода.

Введение

Обеспечение безопасности информации является весьма важным аспектом развития современного общества. В связи с тем, что в АСОИУ обрабатывается и хранится конфиденциальная и секретная информация, данная проблема актуальна при проектировании и эксплуатации АСОИУ [1].

Сложность обеспечения устойчивой работы современных АСОИУ в последнее время возросла из-за участившихся деструктивных информационных воздействий, реализуемых нарушителями, целью которых, как правило, является главный производственный процесс, реализуемый на поражаемом объекте.

Достаточно вспомнить о компьютерном черве Stuxnet и вирусе Shamoon, посредством которых было оказано воздействие на закрытые телекоммуникационные сети центра по обогащению ядерного топлива в Иране и в Саудовской Аравии [2]. В сентябре 2010 г. вирусом Stuxnet была заражена компьютер-

ная система ядерной программы Ирана. 15 августа 2012 г. компьютерная сеть нефтяной компании Saudi Arabian Oil Company (Saudi Aramco) подверглась атаке вируса Shamoon. Попав на компьютер, Shamoon пытается похитить важную информацию, после чего стереть главную загрузочную запись. При этом дальнейшее использование операционной системы становится невозможным.

Анализ показывает, что информационные воздействия на АСОИУ реализуются нарушителем на основании данных, добываемых с использованием средств компьютерной, акустической и ПЭМИН-разведок, которым, в свою очередь, противодействует входящая в структуру АСОИУ подсистема администрирования безопасности информации.

Известны модели, которые ориентированы на определение вероятностно-временных параметров системы деструктивных воздействий нарушителя [2, 3], а также системы управления безопасностью АСОИУ. Однако эти модели не позволяют совместно согласо-

ванно оценить возможности указанных систем, взаимодействующих при информационном противоборстве. Поэтому для выработки требований к подсистемам администрирования безопасности информации представляет практический интерес создание математической модели конфликта АСОИУ с системой деструктивных воздействий нарушителя.

1 Постановка задачи

Пусть имеется АСОИУ, в которой циркулирует, обрабатывается и хранится конфиденциальная информация. Указанная система функционирует в условиях атак нарушителя на охраняемые сведения, утрата которых может привести к существенному экономическому, экологическому или иному ущербу. Под атакой здесь понимается совокупность согласованных по месту, времени и цели программно-аппаратных воздействий со стороны нарушителя на элементы АСОИУ для нанесения указанной системе существенного ущерба или вывода ее из строя.

Восстановлением АСОИУ и нейтрализацией последствий атак нарушителя управляет автоматизированная подсистема администрирования безопасности информации (АПАБИ).

Реализация нарушителем атак на АСОИУ приводит к изменению ее состояния, которое может быть зафиксировано оператором АПАБИ. При этом под состоянием будем понимать число атак, успешно реализованных нарушителем. Процесс восстановления безопасного

и/или работоспособного состояния АСОИУ приводит к изменению пространства параметров, наблюдаемых системой информационного противоборства, и нарушитель реализует следующую атаку на АСОИУ. Далее описанный процесс возобновляется.

Функции распределения времени вскрытия системы и реализации атаки нарушителем [2], а также длительности цикла управления АСОИУ со стороны администратора службы безопасности [3] имеют вид

$$\begin{aligned} F_{\text{ПА}}(t) &= \sum_{k=1}^n \frac{h(s_k)}{g'(s_k)} \cdot \frac{1 - e^{s_k t}}{-s_k}; \\ F_{\text{УАС}}(t) &= \sum_{i=1}^m \frac{f(s_i)}{\varphi'(s_i)} \cdot \frac{1 - e^{s_i t}}{-s_i}. \end{aligned} \quad (1)$$

Требуется определить вероятность и время пребывания АСОИУ в состоянии безопасности.

2 Решение

Положим, что рассматриваемая АСОИУ имеет n возможных состояний, и представим описанный в постановке задачи процесс в виде графа состояний (рис. 1).

При этом:

- s_1 – состояние безопасности информации в АСОИУ;
- s_2 – состояние АСОИУ, обусловленное успешной реализацией технической разведки и атаки нарушителем; интенсивность перехода в это состояние равно $\lambda_{12}(t)$;

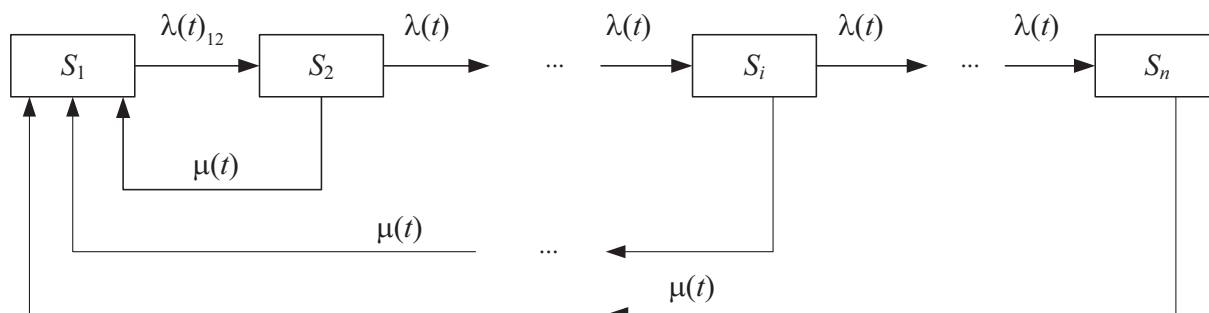


Рис. 1. Размеченный граф состояний АСОИУ

...
 • s_i – состояние, в которое переходит АСОИУ в результате успешной реализации $(i-1)$ -й атаки нарушителем с интенсивностью $\lambda(t)$;

...
 • s_n – состояние, в которое переходит АСОИУ в результате успешной реализации $(n-1)$ -й атаки нарушителем с интенсивностью $\lambda(t)$.

На АСОИУ, пребывающую в состоянии s_2 , ..., s_i , ..., s_n , воздействует поток восстановлений, имеющий интенсивность $\mu(t)$ и переводящий ее в состояние безопасности s_1 .

Составим систему уравнений Колмогорова [4].

$$\begin{aligned} \frac{dP_1(t)}{dt} &= \mu(t) \sum_{k=2}^n P_k(t) - P_1(t)\lambda(t)_{12}, \\ \frac{dP_2(t)}{dt} &= P_1(t)\lambda(t)_{12} - P_2(t)\lambda(t) - \\ &- P_2(t)\mu(t), \\ &\dots \\ \frac{dP_i(t)}{dt} &= P_{(i-1)}(t)\lambda(t) - P_i(t)\mu(t) - \\ &- P_i(t)\lambda(t), \\ &\dots \\ \frac{dP_n(t)}{dt} &= P_{(n-1)}(t)\lambda(t) - P_n(t)\mu(t). \end{aligned} \quad (2)$$

Начальными условиями являются:

$$\begin{aligned} P_1(0) &= 1; P_2(0) = 0; \\ \dots P_i(0) &= 0; \dots P_n(0) = 0; \\ \sum_{k=1}^n P_k(t) &= 1, (i = 1, 2, \dots, n). \end{aligned}$$

Данная система дифференциальных уравнений может быть решена любым известным в математике методом.

С учетом (1) определим интенсивности потоков перехода АСОИУ из одного состояния в другое:

$$\begin{aligned} \lambda_{(12)}(t) &= \frac{f_{\text{ПА}}(t)}{1 - F_{\text{ПА}}(t)} = \\ &= \frac{\sum_{k=1}^n \frac{h(s_k)e^{s_k t}}{g'(s_k)}}{1 - \sum_{k=1}^n \frac{h(s_k)}{g'(s_k)} \cdot \frac{1 - e^{s_k t}}{-s_k}} = \frac{\sum_{k=1}^n \frac{h(s_k)}{g'(s_k)} s_k e^{s_k t}}{\sum_{k=1}^n \frac{h(s_k)}{g'(s_k)} e^{s_k t}}; \quad (3) \\ \mu(t) &= \frac{f_{\text{УА}}(t)}{1 - F_{\text{УА}}(t)} = \\ &= \frac{\sum_{i=1}^m \frac{f(s_i)e^{s_i t}}{\varphi'(s_i)}}{1 - \sum_{i=1}^m \frac{f(s_i)}{\varphi'(s_i)} \cdot \frac{1 - e^{s_i t}}{-s_i}} = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{f(s_i)}{\varphi'(s_i)} s_i e^{s_i t}}{\sum_{i=1}^m \frac{f(s_i)}{\varphi'(s_i)} e^{s_i t}}. \end{aligned}$$

Анализ результатов информационного воздействия на реальные автоматизированные системы [5] показывает, что для осуществления деструктивного воздействия нарушителю достаточно успешно реализовать не более трех атак. Поэтому без потери общности допустим, что $n = 4$.

Тогда граф состояний примет вид, представленный на рис. 2.

Тогда система уравнений (2) преобразуется к виду:

$$\begin{aligned} \frac{dP_1(t)}{dt} &= P_2(t)\mu(t) + P_3(t)\mu(t) + \\ &+ P_4(t)\mu(t) - P_1(t)\lambda(t)_{12}; \\ \frac{dP_2(t)}{dt} &= P_1(t)\lambda(t)_{12} - P_2(t)\lambda(t) - P_2(t)\mu(t); \\ \frac{dP_3(t)}{dt} &= P_2(t)\lambda(t) - P_3(t)\lambda(t) - P_3(t)\mu(t); \end{aligned}$$

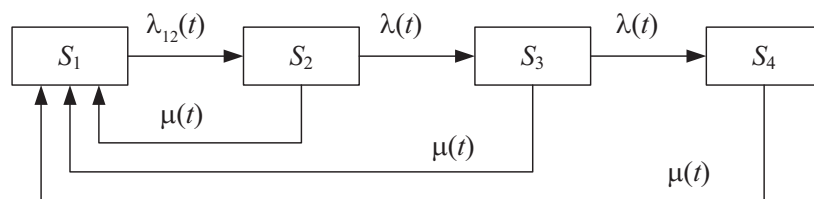


Рис. 2. Размеченный граф состояний АСОИУ при $n = 4$

$$\frac{dP_4(t)}{dt} = P_3(t)\lambda(t) - P_4(t)\mu(t).$$

$$\sum_{i=1}^4 P_i(t) = 1.$$

Начальные условия:

$$P_1(0) = 1, P_2(0) = P_3(0) = P_4(0) = 0.$$

Решениями системы дифференциальных уравнений являются вероятности пребывания АСОИУ в состояниях $s_1, \dots, s_4$, т. е.:

$$P_1(t) = \frac{\mu(t)}{\mu(t) + \lambda_{12}(t)} + (1 - \frac{\mu(t)}{\mu(t) + \lambda_{12}(t)})e^{-(\mu(t) + \lambda_{12}(t))t}; \quad (4)$$

$$P_2(t) = -\frac{A(t)}{\alpha(t)} - \frac{\Lambda(t)}{\alpha(t) - M(t)}e^{M(t)t} + \left[\frac{A(t)}{\alpha(t)} + \frac{\Lambda(t)}{\alpha(t) - M(t)} \right] e^{\alpha(t)t}; \quad (5)$$

$$P_3(t) = \frac{A(t) \cdot \lambda(t)}{\alpha^2(t)} [1 + (\alpha(t)t - 1)e^{\alpha(t)t}] + \Lambda(t)\lambda(t) \times \frac{e^{M(t)t} - [1 + (M(t) - \alpha(t))t]e^{\alpha(t)t}}{(M(t) - \alpha(t))^2}; \quad (6)$$

$$P_4(t) = 1 - P_1(t) - P_2(t) - P_3(t), \quad (7)$$

где

$$A(t) = \frac{\mu(t) \cdot \lambda_{12}(t)}{\mu(t) + \lambda_{12}(t)};$$

$$\Lambda(t) = \lambda_{12}(t) \left(1 - \frac{\mu(t)}{\mu(t) + \lambda_{12}(t)} \right);$$

$$M(t) = -(\mu(t) + \lambda_{12}(t));$$

$$\alpha(t) = -(\lambda(t) + \mu(t)).$$

Время, в течение которого АСОИУ будет находиться в состоянии безопасности, можно определить подстановкой в (4) вместо $P_1(t)$ значения уровня $P_{\text{треб}}$, предъявляемого к системе требований по безопасности. Полагая $\mu(t) = \text{const}$ и $\lambda_{12}(t) = \text{const}$, получим

$$T = \frac{-\ln\left(\frac{-\mu + P_{\text{треб}} \cdot \mu + P_{\text{треб}}}{\lambda_{12}}\right)}{(\mu + \lambda_{12})}, \quad (8)$$

где $P_{\text{треб}}$ – требуемое значение вероятности пребывания системы в состоянии безопасности [6].

Таким образом, поставленная задача решена.

3 Результаты моделирования

С использованием (3), а также результатов [2, 3] было установлено, что интенсивность перехода АСОИУ, обусловленная успешной реализацией технической разведки и атаки нарушителем $\lambda_{12}(t)$, и интенсивность потока восстановлений $\mu(t)$, переводящего ее в состояние безопасности, изменяются в пределах $\lambda_{12}(t) = 0,05-0,07$ (1/мин.); $\mu(t) = 0,03-1$ (1/мин.). Это дает основание полагать, что длительность ведения разведки нарушителем изменяется от 5 до 15 мин.; длительность реализации атаки – в пределах 3–8 мин.; длительность восстановления АСОИУ в зависимости от глубины ее поражения – 1–30 мин.

По формуле (8) рассчитано время, в течение которого АСОИУ будет пребывать в состоянии безопасности s_1 .

На рис. 3 представлены графики вероятностей пребывания АСОИУ в состояниях s_i при разном времени проведения разведки, атаки нарушителем, а также восстановления системы.

Заключение

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

Разработанная модель работоспособна, чувствительна к изменению исходных данных, адекватно отображает процесс разведки и атак нарушителя, а также процесс восстановления безопасного состояния АСОИУ.

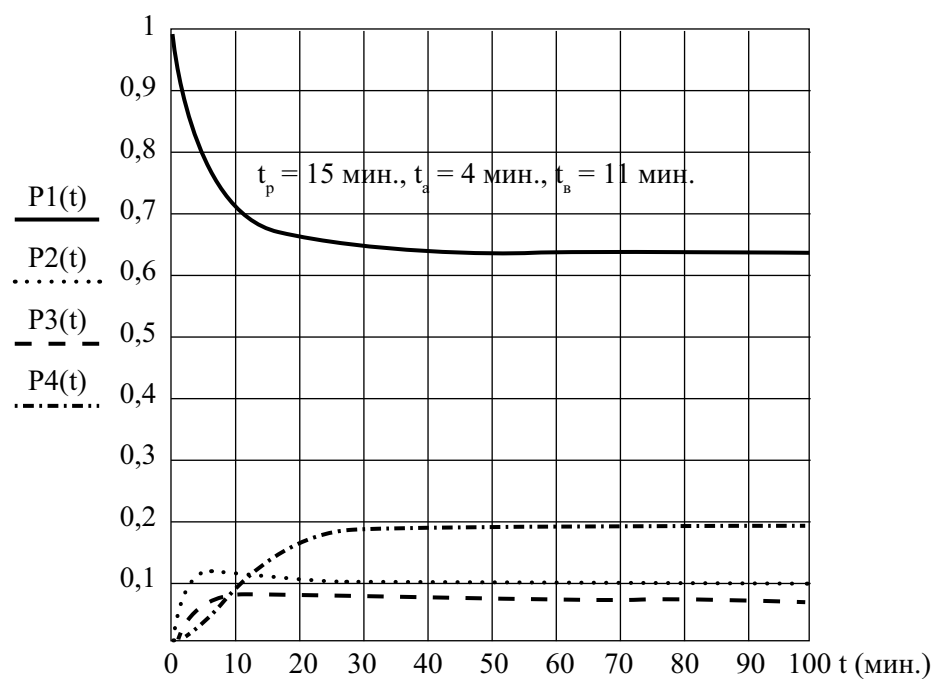
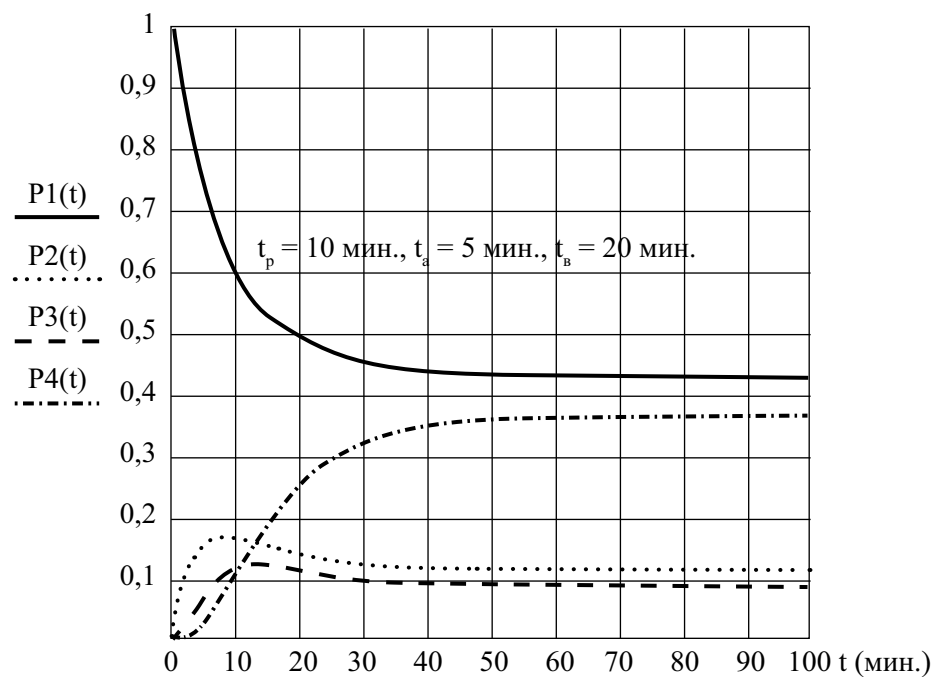


Рис. 3. Графики вероятностей пребывания АСОИУ в состояниях s_i при различном времени проведения разведки, атаки со стороны нарушителя и восстановления системы

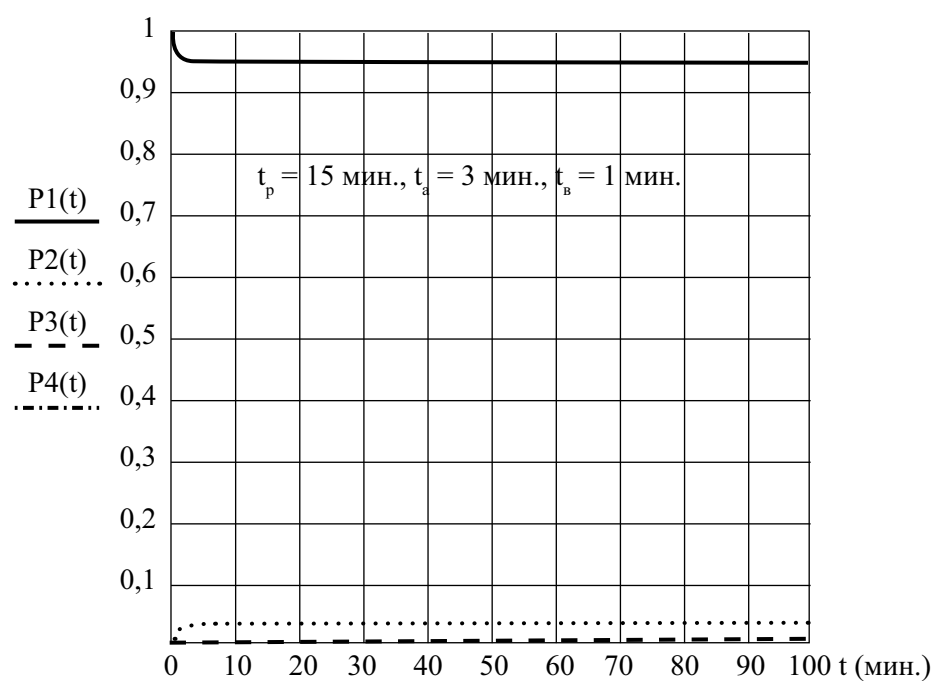
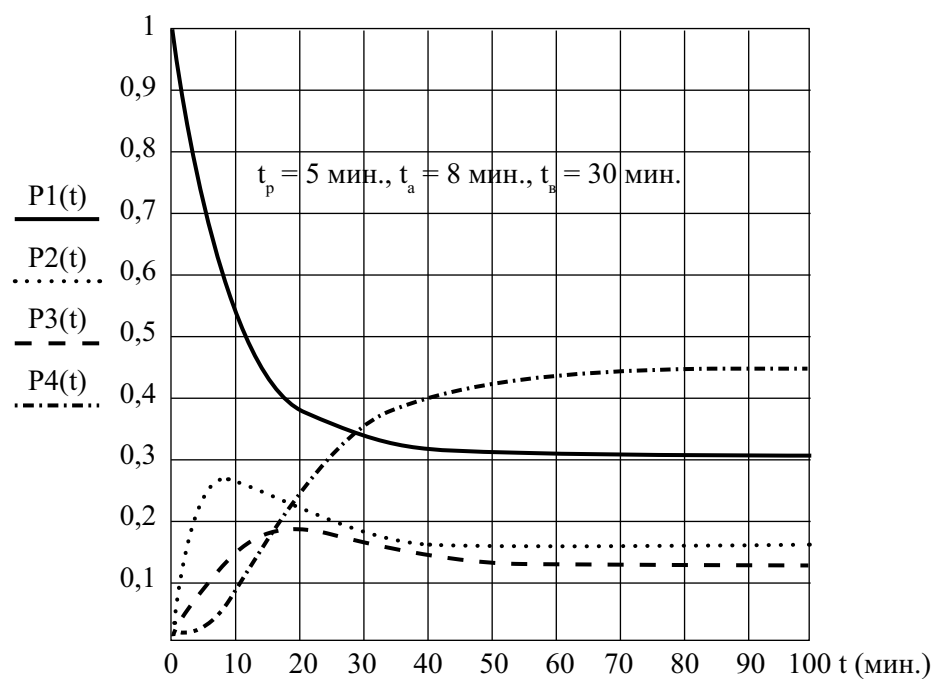


Рис. 3. Графики вероятностей пребывания АСОИУ в состояниях s_i при различном времени проведения разведки, атаки со стороны нарушителя и восстановления системы (окончание)

Полученные в ходе моделирования значения среднего времени пребывания АСОИУ в состоянии безопасности позволяют на этапе технического проектирования системы определять рациональную периодичность и глубину контроля безопасности информации за счет использования вычисленных значений в качестве критериальных.

Достижение уровня предъявляемых требований по безопасности может быть обеспечено при длительности цикла управления АСОИУ, не превышающим одной десятой длительности времени подготовки и реализации нарушителем атаки на защищаемую систему, т. е. $\mu^{-1} \leq 0,1\lambda^{-1}$.

Следует ожидать, что на защищаемую систему нарушитель будет оказывать не однократные воздействия, а серии согласованных атак. При этом возможность успешной реализации атаки остается практически при любой системе защиты, если мероприятия по защите неадекватны и не согласованы с действиями нарушителя. Отсюда возникает задача создания такой системы администрирования безопасности, которая имеет в своем составе подсистему поддержки принятия решений по выбору мероприятий и мер защиты, обеспечивающую оценку, прогнозирование и минимизацию возможностей нарушителя по реализации атак. К сожалению, отечественные стандарты в области безопасности информации (руководящие документы, ГОСТы и т. д.) и имеющийся в них методический аппарат не позволяют в полной мере реализовать перечисленные выше функции.

Таким образом, предложенная модель позволяет разработать методику оценки кибербезопасности автоматизированных систем

обработки информации и управления, функционирующих в условиях информационного противоборства.

Библиографический список

1. **Вероятностные** модели обеспечения информационной безопасности автоматизированных систем обработки информации и управления / П. И. Титубалин, В. С. Моисеев. – Казань : Школа, 2008. – 144 с.
2. **Модель** процесса подготовки злоумышленника к информационному воздействию на автоматизированные системы управления железнодорожным транспортом / Н. В. Евглевская, А. А. Привалов, Ал. А. Привалов // Бюл. результатов науч. исследований. – 2012. – № 5 (4). – С. 17–26.
3. **Об оценке** длительности цикла управления телекоммуникационной сетью ОАО «РЖД» / А. А. Привалов, А. П. Вандич, Д. А. Полторацкий // Материалы V междунар. конгресса «Цели развития тысячелетия и инновационные принципы устойчивого развития арктических регионов». – СПб. : Арктич. обществ. академия наук, 2012. – С. 92–95.
4. **Теория** случайных процессов и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М. : Высш. шк., 2000. – 383 с.
5. **Информационное** противоборство в войнах и вооруженных конфликтах / В. С. Киреев, Р. В. Максимов, А. А. Погорелов и др. – СПб. : ВАС, 2005. – 120 с.
6. **ГОСТ РВ 51987-2002.** Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Типовые требования и показатели качества функционирования информационных систем. Общие положения. – М. : Госстандарт России, 2001. – 53 с.

УДК 004.9

И. В. ИльюшкоПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСИ
В ПРОЕКТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ**

Рассмотрены процедуры согласования проектной документации в проектном институте ОАО «Ленгипротранс». Предложен метод ускорения этой процедуры с использованием системы электронного документооборота на базе электронной цифровой подписи. Описан технологический алгоритм применения электронной подписи. Рассмотрены цель и преимущества автоматизированного рабочего места с электронной цифровой подписью (АРМ-ЭЦП) для согласования и утверждения технической документации при проектировании.

электронный документооборот, электронная цифровая подпись, согласование проектной документации, технологический алгоритм, ОАО «Ленгипротранс», АРМ-ЭЦП.

Введение

В любой организации процесс деятельности отражен в большом количестве документов. В настоящее время многие компании используют системы документооборота.

В данной статье особое внимание уделено системам документооборота в проектных институтах. Рассмотрены процессы согласования технической документации на примере схематического плана станции, сформулированы предложения по ускорению этого процесса.

**1 Процедура согласования
и утверждения проектной
документации
в ОАО «Ленгипротранс»**

Рассмотрим процедуру согласования и утверждения проектной документации в проектном институте ОАО «Ленгипротранс» на примере согласования схематического плана станции (рис. 1).

Группа разработчиков (проектировщики) создает новый документ и по окончании от-

правляет его руководителю группы. Руководитель проверяет документ и при отсутствии нареканий ставит на нем свою подпись. Далее по цепочке документ направляется на утверждение главному специалисту (ГС). Если документ корректен, ГС также ставит на нем свою подпись. Следует отметить, что главные специалисты (их всего два) работают с разными группами, и только с третьей (составление монтажных схем) работают они оба.

Далее документ отправляется на согласование к главному инженеру проекта (ГИП), который подписывает корректный документ и отправляет его на нормоконтроль. После нормоконтроля документ направляется начальнику отдела, который в свою очередь визирует документ. Если этим документом не является схематический план станции, на этом этапе согласование завершено. Документ направляется на утверждение. В противном случае после прохождения нормоконтроля схематический план станции направляется главному специалисту технического отдела, который подписывает его и отправляет далее начальнику отдела узлов и станций, чья подпись является последней в цепочке согласования схематиче-

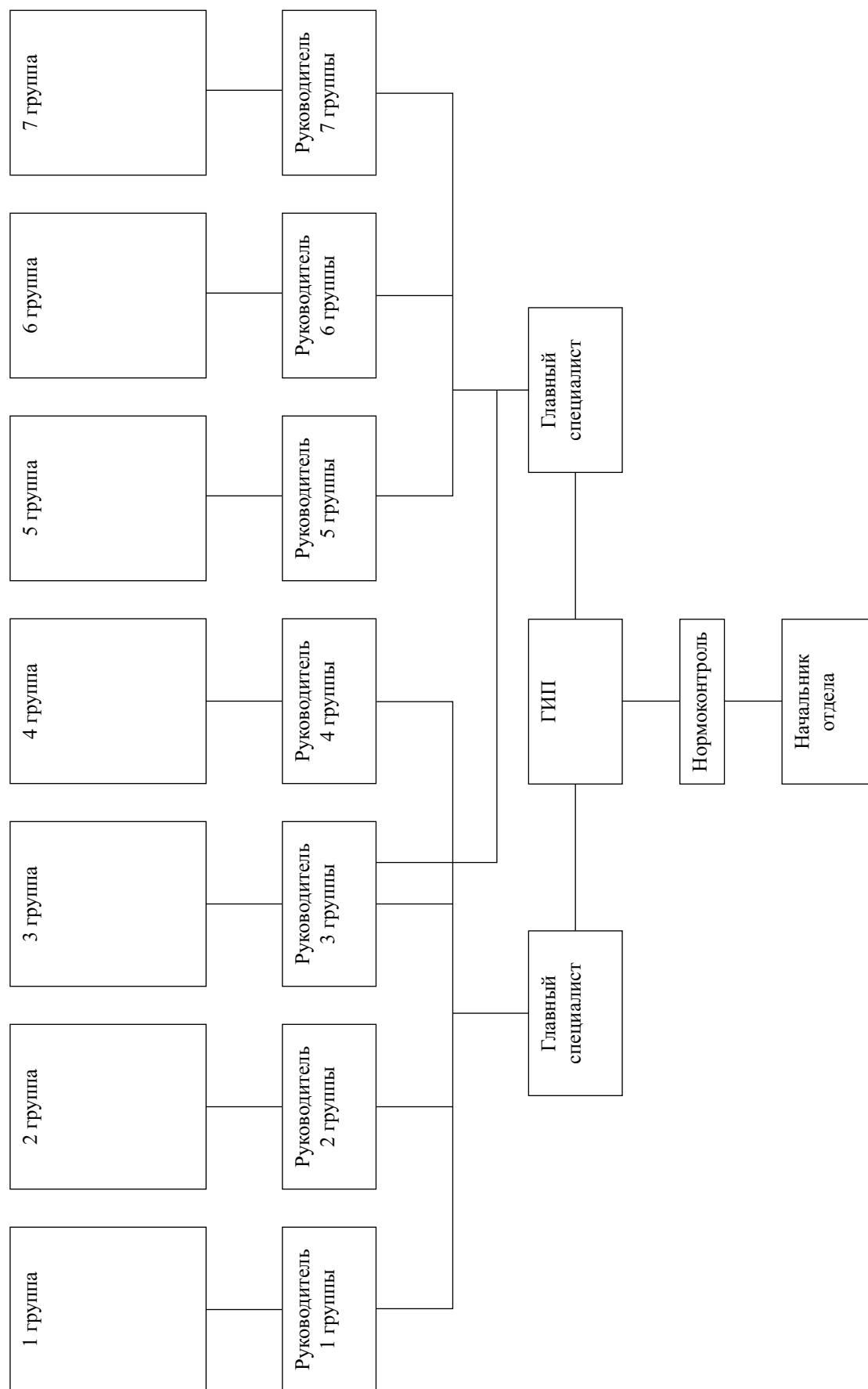


Рис. 1. Процедура согласования технической документации в ОАО «Ленгипротранс»

ского плана станции. После этого документ направляется к заказчику на согласование в ОАО «РЖД».

Следует заметить, что при наличии нареканий каждый специалист из цепочки проверки и согласования может отправить документ на доработку группе разработчиков, которые вносят коррективы, а затем вся указанная последовательность подписания повторяется.

Согласование технической документации при использовании бумажной системы документооборота – процесс долгий, он может составлять от нескольких недель до нескольких месяцев с момента создания проектной документации. И причин тому довольно много: это и ожидание при подписании документов, и длительное время нахождения сотрудника в пути, и потеря документов, и другое.

2 Процедура согласования проектной документации на базе АРМ-ЭЦП

Для ускорения процедуры согласования проектной документации предлагается использовать электронный документооборот, главной особенностью которого является использование электронной цифровой подписи. С ее помощью можно организовать процесс утверждения проектной документации.

Электронная подпись – это информация в электронной форме, которая присоединена к другой информации в электронной форме (подписываемой информации) или иным образом связана с такой информацией и которая используется для определения лица, подписывающего информацию [1].

Сегодня НТЦ САПР работает над созданием АРМ-ЭЦП для согласования технической документации при проектировании. Планируется, что оно будет являться частью интегрированной системы автоматизированного проектирования, ведения и проверки технической документации на устройства ЖАТ, куда уже входят АРМ-ПТД, АРМ-ВТД, АРМ-ТЕСТ и

ряд других АРМов, работающих в едином отраслевом формате технической документации и реализующих современные ресурсосберегающие технологии обработки технической документации в электронном виде [2]. Единый отраслевой формат технической документации необходимо использовать для создания возможности единообразной обработки документов [3].

В настоящее время указанные работы ведутся на базе электротехнического отдела Ленгипротранса на основе корпоративной электронной подписи. Корпоративная электронная подпись – это электронная подпись, которая применяется только в системе документооборота некоторой организации. В отдельно взятой корпоративной информационной системе участники электронного документооборота – это определенный круг лиц. Согласно действующему федеральному закону об ЭЦП [1], использование ЭЦП внутри организации, которая не взаимодействует с государственными системами общего пользования, регулируется внутренними нормативными документами.

При этом планируется, что пользователями АРМ-ЭЦП будут не только разработчики ОАО «Ленгипротранс», но и руководители групп.

На рис. 2 представлена часть рабочего экрана рабочего места пользователя.

В левой части экрана представлен календарь, который отображает события на текущий месяц. К примеру, в этой области могут отражаться список документов, представленных для согласования на текущую дату, и количество согласованных ранее документов.

В правой части экрана при выборе даты в календаре отображается список событий на этот день.

Каждый документ имеет свою карточку – экранную форму, содержащую всю информацию о маршруте согласования и основные атрибуты документа (рис. 3).

Любой документ, находящийся в системе, можно отправить по выбранному маршруту на дальнейшее согласование или вернуть на доработку. В программу уже включены готовые «стандартные» маршруты для согласо-

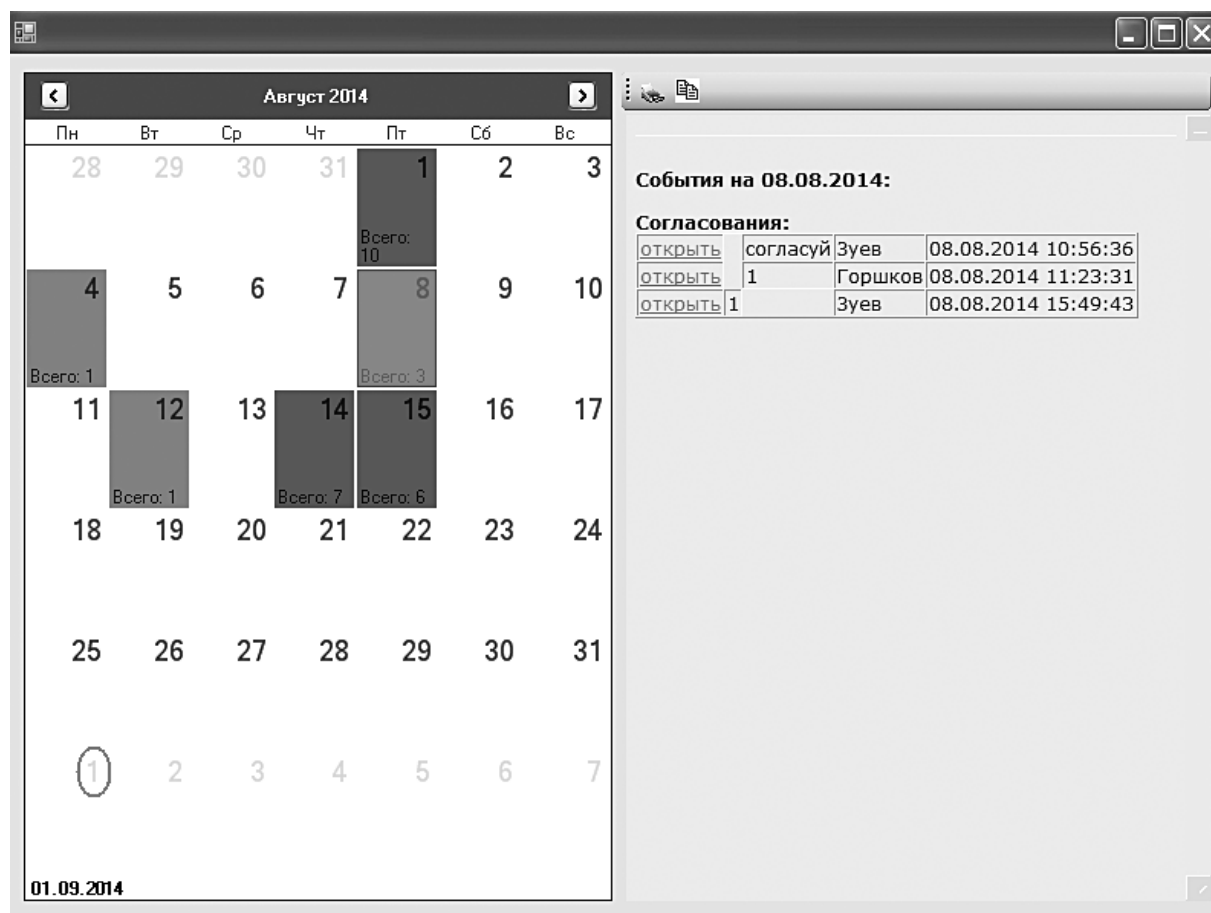


Рис. 2. Рабочая область программы АРМ-ЭЦП

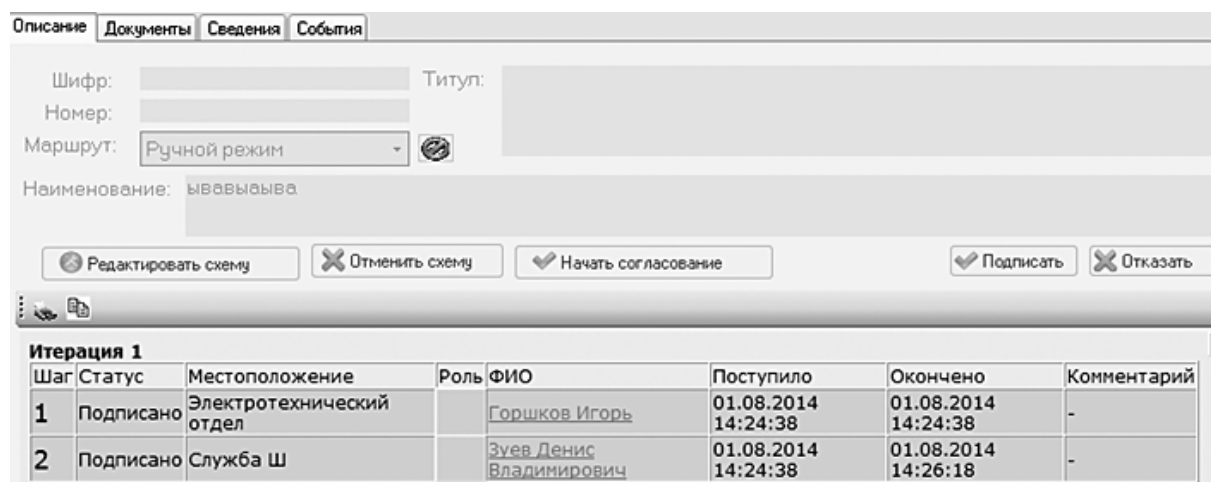


Рис. 3. Карточка документа

вания, определенные видом отправляемого документа.

Перечень возможных маршрутов отправки:

- схематический план;

- принципиальная схема;
- двухниточный план;
- монтажная схема;
- путевой план перегона;

- таблица взаимозависимости;
- инструкция по переезду;
- инструкция по станции;
- схема СЦБ;
- ручной режим, предполагающий самостоятельное построение цепочки согласования документа, а также ее редактирование по желанию.

В этом окне пользователю предлагается либо подписать выбранный документ, либо отказать в подписи и отправить на доработку.

Если пользователь согласен завизировать документ, он должен заполнить поля «шифр», «номер», «наименование» указанного документа, «титул», выбрать маршрут согласования, вставить смарт-карту, на которой хранится его закрытый ключ, ввести PIN-код и нажать кнопку «Подписать». В случае отказа от подписи требуется нажать кнопку «Отказать» и указать причину отклонения документа.

Программа также предусматривает режим переписки между пользователями системы. Указанный обмен сообщениями позволяет отправлять личные сообщения выбранным пользователям, например, о том, что нужно

исправить в конкретном документе для его подписания.

3 Технологический алгоритм применения электронной подписи

Принцип действия ЭЦП основывается на алгоритмах асимметричной криптографии. Используются два разных ключа одинаковой длины: секретный и открытый (ключевая пара). Если информацию подписать при помощи одного из них (секретного), то проверить подпись можно только при помощи другого (открытого) ключа [4].

На самом деле шифруется не весь документ целиком, а только результат применения к данному документу хэш-функции. Хэш-функция – это процедура обработки сообщения, в результате которой формируется строка символов фиксированной длины. Малейшие изменения в тексте сообщения приводят к изменению вычисленного значения функции. Таким образом, любые искажения содержимого документа приведут к изменению результата

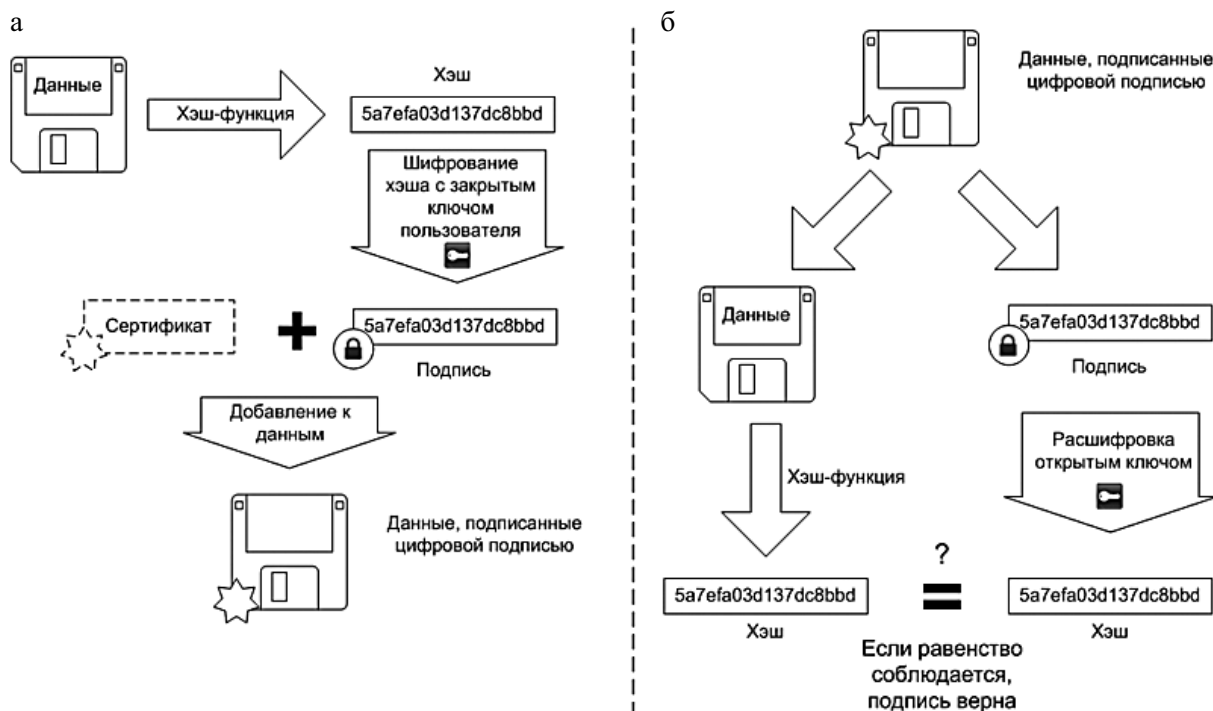


Рис. 4. Процедуры подписания (а) и проверки (б) подписи электронного документа

хэш-функции, который и есть электронная подпись.

При проверке ЭЦП получателем сообщения сначала вычисляется хэш-функция полученного документа, затем расшифровывается электронная подпись с помощью открытого ключа лица, подписавшего документ. Полученные результаты сравниваются. Если значения хэш-функции совпадают, то подпись считается верной, в противном случае признается, что при подписании или при передаче документа произошла ошибка. На рис. 4 представлена схема процедуры подписания и проверки подписанного документа.

Заключение

Полноценное внедрение ЭЦП в процедуру разработки и согласования технической документации между ОАО «Ленгипротранс» и ОАО «РЖД» приведет к ее ускорению.

Предлагается создать АРМ-ЭЦП для упрощения документооборота и для уменьшения

затрат на проектирование объектов железнодорожной отрасли и инфраструктуры в целом.

Существенная экономия времени достигается за счет отсутствия физического согласования технической документации и применения ЭЦП в качестве средства верификации, имеющей равноценную юридическую силу.

Библиографический список

1. **Федеральный** закон от 6 апр. 2011 г. № 63-ФЗ «Об электронной подписи».
2. **Интегрированная** система автоматизации проектирования, ведения и проверки технической документации / М. Н. Василенко // Автоматика, связь, информатика. – 2009. – № 12. – С. 28–29.
3. **Применение** теории и методов экспертизы схемных решений ЖАТ для повышения качества ведения технической документации / М. Н. Василенко, А. М. Горбачев // Транспорт РФ. – 2012. – № 6 (43). – С. 40–42.
4. **Практическая** криптография / Н. Фергюсон, Б. Шнайер ; пер. с англ. Н. Селиной. – М. : Вильямс, 2005. – 424 с.

УДК 62-503.56

А. К. Канаев, М. А. Сахарова, Е. В. СкудневаПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЬЮ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПРИ ЗАПРОСАХ
НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ**

В статье предложен алгоритм функционирования системы управления (СУ) сетью передачи данных (СПД) при периодических запросах от СУ на определение технического состояния СПД через систему технической диагностики.

Представлена математическая модель процесса функционирования СУ СПД с помощью метода топологического преобразования стохастических сетей, при котором, в отличие от графоаналитических методов можно декомпозировать исследуемый процесс на элементарные процессы, каждый из которых будет характеризоваться функцией распределения и средним временем выполнения процесса.

система управления, сеть передачи данных, топологическое преобразование стохастических сетей, оперативность функционирования системы управления, система поддержки принятия решений, нейронная сеть.

Введение

При принятии решения плохо формализованных и слабо структурированных задач в отсутствие полной и достоверной информации о состоянии элементов сети передачи данных (СПД) в условиях ограниченного времени на анализ проблемных ситуаций и принятие решения администратору (лицу, принимающему решение – ЛПР) сети необходимо знать все применяемое сложное оборудование СПД. Это приводит к тому, что требования эффективного управления сетью не выполняются, поскольку ЛПР не в состоянии обработать весь объем поступающей информации за минимальное время.

Для устойчивого функционирования современной СПД необходимо применять систему управления (СУ), которая выполняет следующие основные задачи: своевременно обнаруживает неисправности и отказы в оборудовании; управляет конфигурацией сети; резервирует и восстанавливает эле-

менты сети; управляет сетевым трафиком. Для выполнения поставленных задач СУ СПД необходимо применение системы поддержки принятия решений (СППР), которые ориентированы на сбор, накопление и обобщение знаний, принятие решений в условиях недостаточности вычислительных и временных ресурсов, а при использовании средств интеллектуального анализа данных СППР будут способны к обучению и адаптации. Такие СППР назовем интеллектуальными СППР (ИСППР).

1 Структурно-функциональная модель СУ СПД

СУ СПД включает три уровня управления: организационный, оперативно-технический, технологический [1], которые подробно рассмотрены в [2].

На рис. 1 представлена структурно-функциональная модель взаимодействия ИСППР в структуре СУ СПД и элементов СПД.

ИСППР функционирует на уровне технологического управления и взаимодействует с СПД через систему технической диагностики

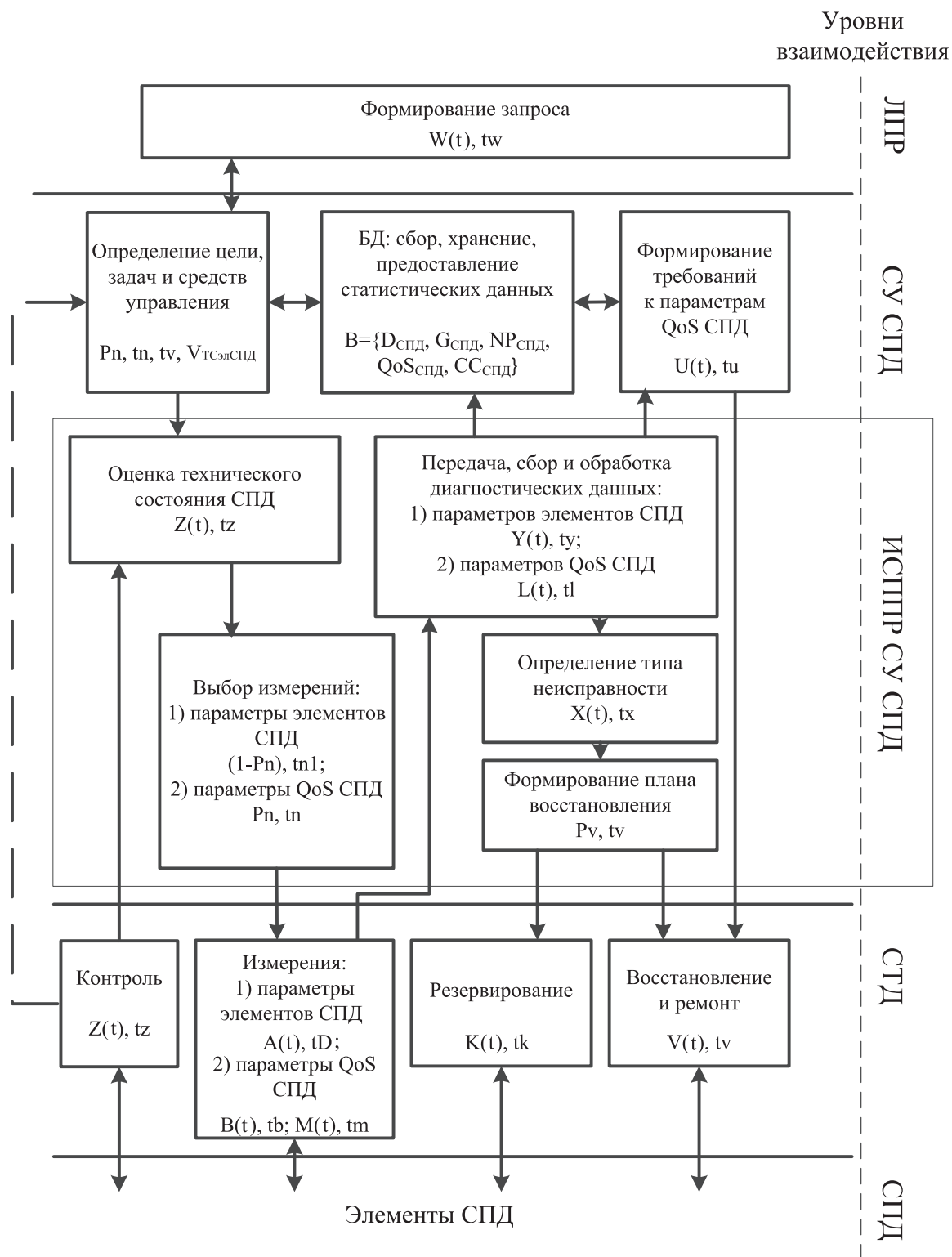


Рис. 1. Структурно-функциональная модель взаимодействия ИСППР в структуре СУ СПД и элементов СПД

(СТД), осуществляющей оперативный контроль параметров элементов сети и качества обслуживания (QoS), измерение диагностических параметров СПД, резервирование, восстановление и ремонт элементов СПД.

Перечислим базовые операции, выполняемые при принятии решений в ИСППР: определение технического состояния СПД; выбор измерений на основе оценки технического состояния СПД; передача, сбор и обработка диагностических данных; определение типа неисправности; формирование плана восстановления СПД.

При формировании решений в ИСППР СУ СПД по восстановлению исправного состояния СПД можно использовать метод ситуационного управления [3], при котором каждому набору входных данных (диагностических параметров СПД) соответствует типовое решение по восстановлению СПД.

2 Алгоритмы функционирования СУ СПД

Структурно-функциональная модель СУ СПД имеет многоуровневую организацию, в связи с этим описание процесса функционирования СУ СПД представляет собой сложную исследовательскую задачу.

Для решения различных задач СУ СПД может работать в разных режимах. Представим ключевые алгоритмы ее функционирования:

1) при периодических запросах от СУ на определение технического состояния СПД;

2) обращении пользователей СПД в службу поддержки в связи с изменением перечня предоставляемых услуг или при снижении показателей QoS;

3) сообщении в СУ о выходе из строя одного или нескольких элементов СПД;

4) модернизации СПД.

Процесс функционирования СУ СПД, согласно алгоритму № 1 (рис. 2), осуществляется через равные интервалы времени, при этом должен поддерживаться непрерывный контроль всех элементов СПД и постоянно

пополняться база знаний СУ СПД с целью накопления сведений о состоянии сети и составления статистики ее работы.

Алгоритм № 2 функционирования СУ СПД запускается при обращении пользователя СПД в связи с изменением перечня предоставляемых услуг или при снижении показателей QoS.

Функционирование СУ СПД по алгоритму № 3 выполняется по факту выявления неисправности или полного выхода из строя одного или нескольких элементов СПД, причем могут использоваться как устройства со встроенными средствами диагностики, так и без них.

Алгоритм № 4 функционирования СУ СПД применяется только в случае существенных изменений в СПД, например, при изменении топологии СПД.

3 Модели оценки оперативности функционирования СУ СПД

Для оценки оперативности функционирования ИСУ СПД можно использовать различные модели (графоаналитический, марковские цепи, топологического преобразования стохастических сетей (ТПСС) и другие).

Графоаналитическая модель при решении задачи анализа сводится к поиску путей между вершинами графа [4]. Однако из-за сложности процесса применение такого метода требует дополнительного определения весовых коэффициентов.

Модель марковских цепей применима для обоснования способов рациональной организации функционирования СУ СПД, но существует трудность задания исходных данных, а также такая модель не учитывает время нахождения системы в отдельных состояниях.

При применении модели ТПСС сложный процесс функционирования СУ СПД можно декомпозировать на элементарные процессы, каждый из которых будет характеризоваться функцией распределения или средним временем выполнения процесса [5].

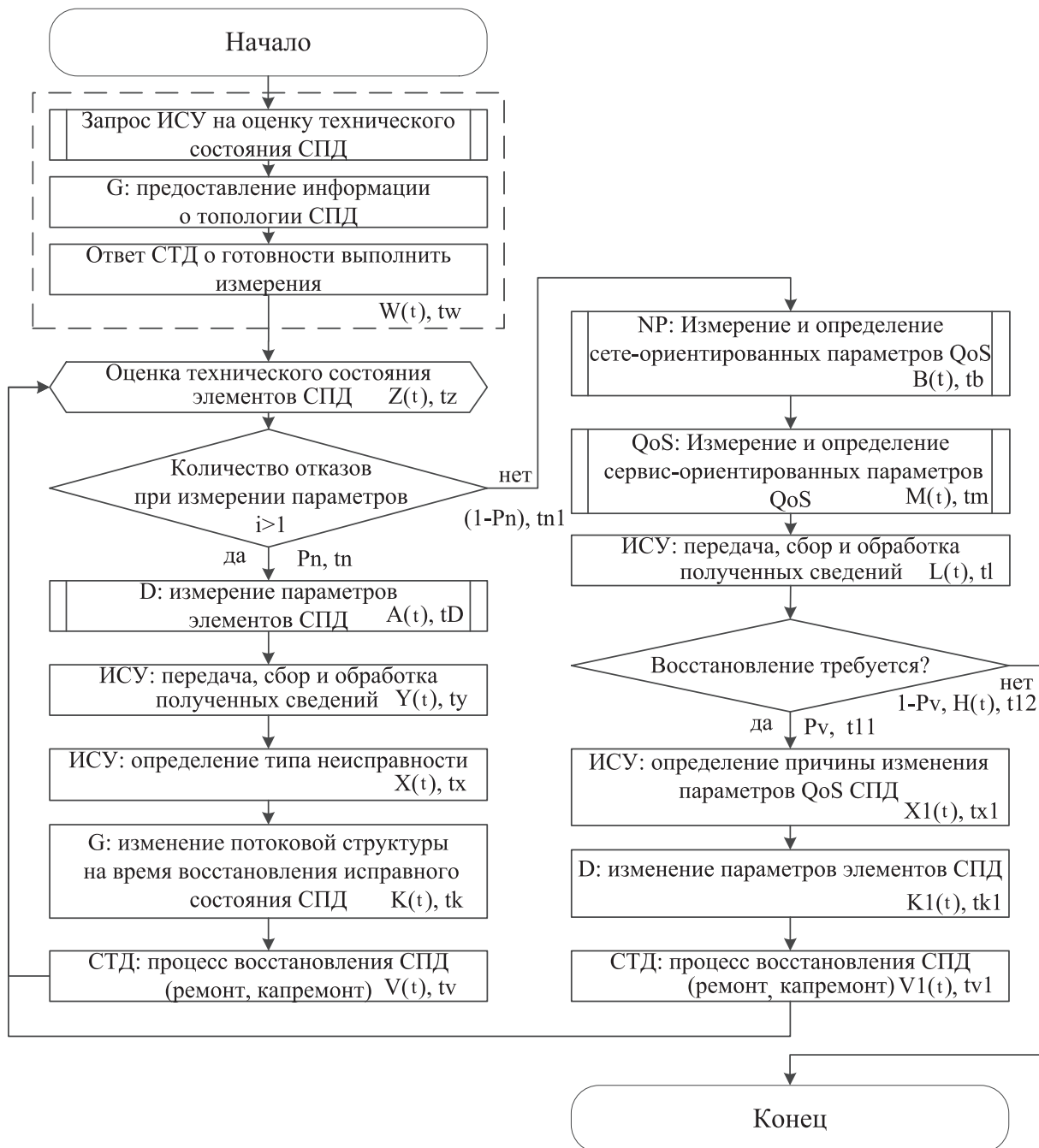


Рис. 2. Алгоритм функционирования ИСУ СПД при запросах на определение технического состояния СПД

4 Математическая модель процесса функционирования СУ СПД при запросах от СУ на определение технического состояния СПД

Алгоритм № 1 функционирования СУ СПД (рис. 2) можно представить в виде стохастической

сетевой (СС), под которой понимается совокупность взаимосвязанных узлов (вершин) и ветвей, соединение которых соответствует алгоритму функционирования исследуемой системы [5]. Ребрам сети соответствуют элементарные процессы, а узлам – условия их выполнения.

5 Постановка задачи

Пусть на вход СУ СПД поступает пуассоновский поток заявок на определение технического состояния СПД с некоторой интенсивностью, который реализуется за время t_w с функцией распределения (ФР) $W(t)$.

Определение технического состояния СПД реализуется за время t_z с ФР $Z(t)$, по результатам которого определяется тип измерений, а именно измерения могут быть ориентированы на определение параметров и характеристик элементов СПД или QoS в зависимости от количества обнаруженных отказов в СПД.

С вероятностью P_n за время реализации t_n измеряются параметры элементов СПД за время t_d с ФР $A(t)$, результаты обрабатываются за время t_y с ФР $Y(t)$.

С вероятностью $1-P_n$ за время реализации t_{n1} измеряются параметры QoS, которые включают измерение и определение сетевых ориентированных параметров QoS СПД за время t_b с ФР $B(t)$ и сервис-ориентированных параметров QoS за время t_m с ФР $M(t)$, результаты которых обрабатываются за время t_l с ФР $L(t)$.

Собранные диагностические данные как элементов СПД, так и параметров QoS СПД могут быть обработаны администратором СУ СПД или с помощью средств анализа данных в ИСППР СУ СПД, например с помощью нейронных сетей.

После обработки измеренных значений параметров элементов СПД проводят ряд мероприятий по восстановлению СПД:

- определяют тип неисправности за время t_x с ФР $X(t)$,
- изменяют потоковую структуру СПД на время восстановления за время t_k с ФР $K(t)$,
- с помощью СТД восстанавливают СПД за время t_v с ФР $V(t)$.

После анализа диагностических данных параметров QoS СПД принимается решение о необходимости восстановления СПД. Если все показатели параметров QoS соответствуют нормативным значениям исправного состояния СПД, то с вероятностью $1-P_v$ за время t_{l2} с ФР $H(t)$ алгоритм № 1 функционирования СУ СПД завершается, а СС замыкается.

Если хотя бы один показатель параметра QoS не соответствует нормативным значениям исправного состояния СПД, то необходимо провести ряд мероприятий по восстановлению работоспособного состояния СПД:

- определить причину изменения параметров QoS за время t_{x1} с ФР $X1(t)$,
- изменить параметры элементов СПД на время восстановления за время t_{k1} с ФР $K1(t)$,
- с помощью СТД восстановить СПД за время t_{v1} с ФР $V1(t)$.

По окончании восстановительных работ проводят контрольные измерения параметров СПД, чтобы убедиться в достоверности восстановления СПД.

Стохастическая сеть процесса функционирования СУ СПД при периодических запросах от СУ СПД представлена на рис. 3.

Необходимо определить ФР $Q(t)$ и среднее время выполнения всех процессов, проис-

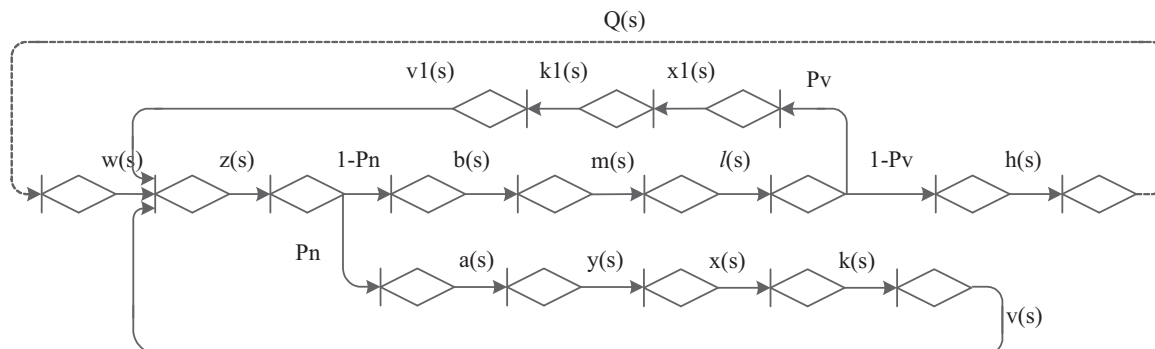


Рис. 3. Стохастическая сеть процесса функционирования СУ СПД на определение технического состояния СПД

ходящих в СС процесса функционирования СУ СПД. Каждый элементарный процесс, характеризующийся ФР, представим, используя преобразование Лапласа [4, 5]. Исходные данные для моделирования исследуемого процесса представлены в таблице.

Ограничения и допущения:

- 1) функции распределения случайных величин относятся к классу экспоненциальных;
- 2) вероятности, соответствующие ветвям стохастической сети, определяются статистическими методами;
- 3) время реализации отдельных операций искомого процесса имеют экспоненциальное распределение;
- 4) модель предполагает отсутствие новых заявок до окончания обработки предыдущей;
- 5) потоки заявок являются неконкурирующими.

Тогда топологическое уравнение Мейсона [5] для СС функционирования СУ СПД согласно алгоритму, представленному на рис. 2, будет иметь вид

$$Q(s) = \frac{\frac{w}{w+s} \frac{z}{z+s} (1-P_n)(1-P_v) \times}{1 - \frac{z}{z+s} P_n \frac{a}{a+s} \frac{y}{y+s} \frac{x}{x+s} \frac{k}{k+s} \frac{v}{v+s} - \frac{z}{z+s} \times \frac{b}{b+s} \frac{m}{m+s} \frac{l}{l+s} \frac{h}{h+s}} \times \frac{b}{b+s} \frac{m}{m+s} \frac{l}{l+s} P_v (1-P_n) \frac{x_1}{x_1+s} \frac{k_1}{k_1+s} \frac{v_1}{v_1+s}.$$

Определим вероятностно-временные характеристики СС при помощи метода двухмоментной аппроксимации.

Для исследуемой СС (рис. 3) начальный момент случайного времени реализации СС модели функционирования СУ СПД для $s = 0$: $M_1(0) = 154,3$.

Второй момент случайного времени реализации СС модели функционирования СУ СПД для $s = 0$: $M_2(0) = 5,083 \cdot 10^4$.

Дисперсия времени передачи заявки на измерение, определяемая как второй центральный момент для $s = 0$: $D = 2,702 \cdot 10^4$.

Исходные данные для моделирования

$w(s) = 1/0,5$	Формирование запроса от СУ на определение состояния СПД
$z(s) = 1/60$	Измерение параметров СПД
$a = 1/2$	Определение параметров элементов СПД
$y(s) = 1/0,2$	Обработка результатов параметров элементов СПД
$b(s) = 1/2$	Определение сете-ориентированных параметров QoS СПД
$m(s) = 1/3$	Определение сервис-ориентированных параметров QoS СПД
$l(s) = 1/0,3$	Обработка параметров QoS СПД
$x(s) = 1/10$	Определение типа неисправности
$k(s) = 1/1,5$	Изменение потоковой структуры СПД
$v(s) = 1/45$	Восстановление СПД на уровне элементов сети (EMS)
$h(s) = 1/1,5$	Определение исправного состояния
$P_n = 0.3$	Измерение параметров элементов СПД
$P_v = 0.3$	Определение отклонений параметров QoS
$x_1(s) = 1/2$	Определение причины изменения параметров QoS
$k_1(s) = 1/15$	Изменение параметров элементов СПД на время восстановления
$v_1(s) = 1/60$	Восстановление СПД на уровне сети (NMS)

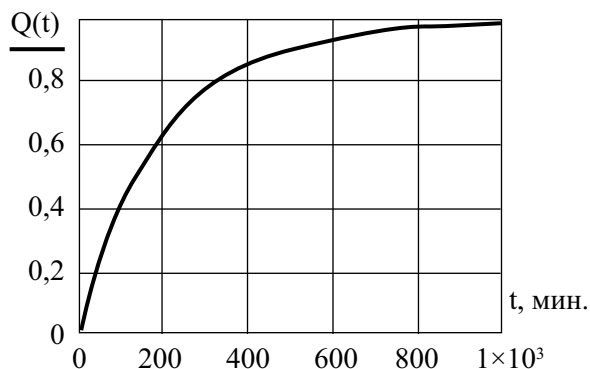


Рис. 4. Функция распределения времени обработки запроса на определение технического состояния СПД, включая задачи восстановления СПД

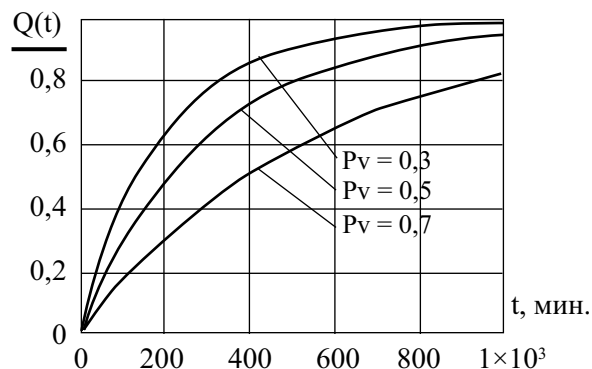


Рис. 5. Функция распределения времени функционирования СУ СПД при изменении вероятности P_v появления отклонений параметров QoS

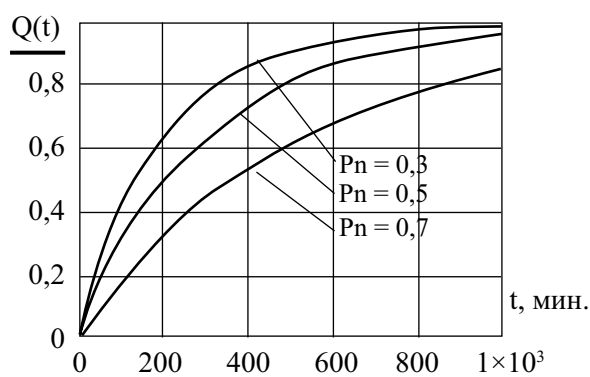


Рис. 6. Функция распределения времени функционирования СУ СПД при изменении вероятности P_n появления событий, при которых необходимо измерение параметров элементов СПД

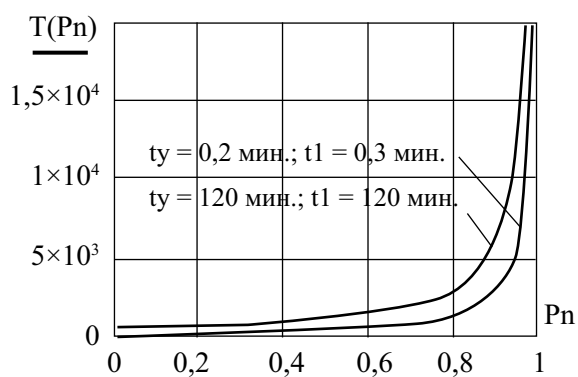


Рис. 7. Среднее время выполнения процессов СУ СПД при изменении вероятности появления события P_n и времени анализа результатов диагностирования параметров элементов СПД t_y и времени на обработку результатов параметров QoS СПД t_l

Оценим эффективность исследуемой системы.

При значениях исходных данных (см. таблицу) ФР времени функционирования СУ СПД при периодических запросах от СУ СПД на определение технического состояния СПД примет вид, как на рис. 4. Результаты моделирования представлены на рис. 5–7.

Заключение

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- предложенная модель функционирования СУ СПД работоспособна и чувствительна к из-

менению исходных данных, а результаты моделирования согласуются со статистическими данными по затрачиваемому времени на восстановление СПД;

- предложенная модель позволяет определить среднее время, необходимое для выполнения всех процессов по восстановлению СПД;

- ФР времени реализации цикла управления СУ СПД увеличивается при заданном значении времени при уменьшении вероятности P_v появления отклонений параметров QoS, это свидетельствует, что в СПД не обнаружено отказов элементов СПД и параметры QoS соответствуют предъявленному классу обслуживания (рис. 5);

- ФР времени функционирования СУ СПД увеличивается при заданном значении времени при уменьшении вероятности P_n появления событий, при которых необходимо измерение параметров элементов СПД, это свидетельствует, что в СПД обнаружены отказы элементов СПД (рис. 6);

- с ростом вероятности P_n проведения дополнительных мероприятий по восстановлению СПД среднее время обработки запросов зависит от времени обработки диагностических параметров СПД (рис. 7). При увеличении интенсивности отказов в СПД эффективность применения нейросетевых алгоритмов для обработки диагностических данных возрастает на порядок.

Для оценки оперативности функционирования СУ СПД можно использовать метод топологического преобразования стохастических сетей.

Анализ полученных результатов показывает, что предложенная модель СС для описания процессов функционирования СУ СПД при периодических запросах на определение технического состояния СПД работоспособна, чувствительна к изменению входных данных. Показано, что существенное влияние на работу модели СС оказывает изменение вероятностей P_n и P_v , доказана необходимость применения нейросетевых алгоритмов для обработки диагностических данных при увеличении интенсивности отказов в СПД.

Библиографический список

1. **Теоретические** основы управления современными телекоммуникационными сетями : моногр. / А. Н. Буренин, В. И. Курносков. – М. : Наука, 2011. – 464 с.

2. **Способы** обнаружения аномалий в функционировании сети передачи данных на технологическом уровне интеллектуальной системы управления / А. К. Канаев, М. А. Камынина, Е. В. Опарин // Материалы междунар. конгресса. Науч.-практич. конф. «Геополитические факторы устойчивого развития Арктики и инновационные технологии прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций». – СПб., 29 нояб. 2012 г. – СПб. : ПИФ.com, 2012. – С. 96–101.

3. **Методика** формирования интеллектуальной системы поддержки принятия решений по управлению сетью тактовой сетевой синхронизацией. 05.12.13 : дис. ... канд. техн. наук / Е. В. Опарин ; Санкт-Петербург. гос. ун-т путей сообщения. – СПб., 2013. – 156 с.

4. **Моделирование** процесса управления в единой системе мониторинга и администрирования связи ОАО «РЖД» / А. А. Привалов, А. П. Вандич, Е. В. Опарин // Сб. материалов IV Междунар. конгресса «Цели развития тысячелетия и инновационные принципы устойчивого развития арктических регионов». – СПб. : ПИФ.com, 2011. – С. 130–133.

5. **Метод** топологического преобразования стохастических сетей и его использование для анализа систем связи ВМФ / А. А. Привалов. – СПб. : ВМА, 2000. – 166 с.

УДК 504.064

О. А. КапустинаПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМООБРАБОТАННОГО
ПЕНОБЕТОНА ДЛЯ ИММОБИЛИЗАЦИИ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ**

Разрабатывается способ очистки водных объектов и почв от ионов тяжелых металлов с помощью термообработанного пенобетона. Предполагается использование этого поглотителя в том числе для очистки сточных вод, при этом не только в проектируемых очистных сооружениях, но и в уже построенных. Приведены результаты экспериментальных исследований в области поглощения ионов тяжелых металлов термообработанным пенобетоном. Исследования показали эффективность очистки, а также более высокую емкость поглощения ионов тяжелых металлов данным материалом по сравнению с применяемыми сорбентами.

очистка водных объектов и почв, тяжелые металлы, реагенты для иммобилизации тяжелых металлов.

Введение

Проблема очистки водных объектов и почв от ионов тяжелых металлов, привносимых туда в результате строительной, железнодорожной и иной хозяйственной деятельности, была и остается актуальной.

К глобальному загрязнению окружающей среды приводит и научно-технический прогресс, который невозможно представить без активного природопользования. В сточной воде объектов строительной и иной хозяйственной деятельности содержатся ионы тяжелых металлов, чаще всего – железа, меди, марганца, свинца и цинка.

Многие крупные предприятия столкнулись с проблемой очистки сточных вод, загрязненных в результате не только своей деятельности, но и попадания фоновых поллютантов, концентрации которых зачастую в несколько раз превышают нормативные значения. В результате несмотря на очистку концентрация загрязняющих веществ при сбросе по-прежнему остается выше предельно допустимого значения (ПДК).

На основании мониторинга в Красногвардейском районе Санкт-Петербурга (Индустриальный пр., промплощадка) в ливневых сточных водах предприятия концентрация железа общего в контрольном колодце колеблется в диапазоне 1,7–68 мг/л (при нормативе 0,3 мг/л), что превышает ПДК в 5,7–226,7 раз; марганца – 0,12–5,2 мг/л (при нормативе 0,1 мг/л), что превышает ПДК в 1,2–52 раза.

В связи с этим одной из наиболее важных проблем остается очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов (ИТМ), в том числе железа и марганца, которые попадают в сточные воды и за счет вымывания из почв.

Наличие загрязняющих веществ в почве обусловлено, прежде всего, подстилающими породами. Так, на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области распространены нижнекембрийские синие глины, в которых обычно присутствуют гидрослюда, глауконит, хлорит и гидрохлорит, монтмориллонит, пирит и др. [1, 2]. Химический состав минералов приведен в табл. 1.

То есть в подстилающих породах Санкт-Петербурга в больших количествах содержатся

ТАБЛИЦА 1. Химический состав минералов подстилающих пород

Минерал	Химический состав
Гидрослюды	$K_x(Al, Mg, Fe)_2^{-3} \cdot [Si_{4-x}Al_xO_{10}] \cdot (OH)_2 \cdot nH_2O$, где $x = 0,5$, $n = 1,5$
Глауконит	$(K, Na, CaO)(Fe^{3+}, Mg, Fe^{2+}, Al)_2[(Al, Si)Si_3O_{10}](OH)_2 \cdot H_2O$
Хлорит	$(Mg, Fe^{2+})_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2 \cdot 3(Mg, Fe^{2+})(OH)_2$
Монтмориллонит	$m \{Mg_3[Si_4O_{10}][OH]_2\} \cdot p \{Al, Fe^{3+}\}_2[Si_4O_{10}][OH]_2 \cdot nH_2O$
Пирит	FeS_2

ся ИТМ. В нашем регионе воздействие кислотных осадков на почвы способствует вымыванию свободных форм тяжелых металлов из пород. Именно поэтому необходимо искать новые методы и технологии снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Цель исследования заключается в поиске новых методов и технологий очистки водных объектов и почв от ионов тяжелых металлов.

1 Методы очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов

Современные технологии очистки сточных вод позволяют удалять железо и марганец из сточных вод, однако данные сооружения предполагают много ступеней очистки, и поэтому дорогостоящи.

Как правило, соединения, содержащие марганец, присутствуют в воде вместе с растворенным железом Fe^{+2} . Марганец, находящийся в воде в растворенном состоянии, удаляется вместе с железом. Таким образом, очистка воды от железа приводит к снижению концентрации марганца. Но нужно учитывать, что по сравнению с железом марганец окисляется медленнее и требует большего количества кислорода.

На реакцию окисления влияют температура, величина водородного показателя (рН) и концентрация растворенного кислорода.

Методы очистки воды от соединений железа и марганца можно разделить на реагентные

и безреагентные. Реагентные методы связаны с применением хлора, озона, перманганата калия, извести, коагулянтов и т. п., которые добавляют непосредственно в воду. Безреагентные методы подразумевают на первом этапе аэрирование воды, а затем ее фильтрование через зернистую загрузку. Главной целью обоих методов является окисление ионов примеси, чтобы перевести их в нерастворимое состояние, а затем удалить из воды механическим способом (отстаиванием либо фильтрацией).

Методы очистки воды от железа и марганца схожи. Их эффективность зависит от исходной концентрации железа, марганца и иных примесей, от значений рН, от технических характеристик обезжелезивающих и деманганационных устройств (в частности, фильтров), их стоимости, дизайна, фильтрующей загрузки и иных показателей.

В настоящее время сорбционные методы очистки наиболее эффективны. В табл. 2 приведены распространенные промышленные сорбенты, наиболее широко применяемые для удаления ИТМ из сточных вод [3].

Стоимость имеющихся сорбентов достаточно высока. Известно, что стоимость фильтрационно-сорбционной очистки на 40% зависит от стоимости загрузки в фильтре. В связи с этим на основании исследований Петербургского государственного университета путей сообщения было предложено использовать в качестве сорбента отходы пенобетона, который по своим сорбционным свойствам сопоставим с применяемыми промышленно выпускаемыми фильтрующе-сорбирующими материалами [3].

ТАБЛИЦА 2. Виды промышленных сорбентов

Материалы	Происхождение	Емкость по ИТМ
Карбоксильные катионообменники	Искусственный сорбент	0,5–5,7 ммоль/г (все катионы)
Сорбенты на основе цеолитов	Искусственный сорбент на основе природных минералов	1,24–4,2 мг/г (сорбция меди, железа, хрома)
Сорбент на основе торфа	Природный сорбент	1,24–4,2 мг/г (сорбция меди, железа, хрома)
Алюмосиликатный адсорбент	Искусственный сорбент на основе природных минералов	0,4 мг/г (сорбция свинца)
Туф	Природный сорбент	1 мг/г (сорбция железа)
Вермулит	Природный сорбент	1,13–1,43 мг/г (сорбция марганца и железа)
Сорбент на основе осадка природных вод	Искусственный сорбент на основе промышленных отходов	1,5–2,0 мг/г (сорбция железа)

Исследования в области геоэкозащитных технологий доказывают, что продукты разрушения бетона, а также отходы производства пенобетона эффективно работают в отношении таких тяжелых металлов, как медь, кадмий, железо, марганец, никель, хром [4, 5].

Известны пути увеличения емкости сорбентов: прокаливание, нагрев, активация поверхности ускоренными электронами [6].

На основании этого мы предлагаем использовать в качестве сорбента бой автоклавного пенобетона, обработанного при 200 °С, который показал хорошие поглощающие характеристики.

В табл. 3 представлены данные статической емкости различных сорбентов на примере поглощения марганца.

Из табл. 3 видно, что статическая емкость термообработанного пенобетона в 2,7 раз выше, чем у пенобетона, и в 5,6 раз выше, чем у тяжелого бетона.

2 Результаты экспериментальных исследований

Ранее мы исследовали поглощение из сточных вод железа и марганца боем термообработанного пенобетона, а также промышленно применяемым алюмосиликатным сорбентом «Глинт». Результаты данных исследований подробно отражены в [7].

Дальнейшие исследования на практике доказали, что поглощение из сточных вод желе-

ТАБЛИЦА 3. Статическая емкость силикатсодержащих материалов на примере поглощения марганца

Материал	Статическая емкость, мг/г
Пенобетон	2,3
Бой тяжелого бетона	1,1
Термообработанный пенобетон	6,18

за и марганца боем термообработанного пенобетона гораздо эффективнее, чем промышленно применяемым алюмосиликатным сорбентом «Глинт». На рис. 1 представлена остаточная концентрация ионов железа и марганца после поглощения их из сточных вод термообработанным пенобетоном и сорбентом «Глинт».

На нынешнем этапе исследований определяется максимально возможная емкость поглощения ИТМ термообработанным пенобетоном с целью подбора необходимого и оптимального гранулометрического состава и объема загрузки при применении в локальных очистных сооружениях.

Известно, что фракция с диаметром гранул 0,63 мм оптимальна для промышленного применения в очистных сооружениях. Так как данная фракция требует дополнительного отсева, исследовалась возможность использования более крупной фракции. Для этого бой автоклавного термообработанного пенобетона был просеян через сита с диаметром отверстий 2,5 мм, 1 мм и 0,63 мм. Диаметр самых крупных кусочков поглотителя был не более 12 мм.

Для имитации аварийного сброса, а также для определения максимально возможной емкости поглощения термообработанного пенобетона были приготовлены растворы меди, железа и марганца с концентрацией 0,1 моль/л, которые затем смешали в равных пропорциях.

С помощью атомно-абсорбционной спектрометрии были определены начальная и конечная концентрация загрязняющих веществ в растворе, который контактировал с термообработанным пенобетоном различных фракций в течение 2 ч. Измерения остаточной концентрации проводились с интервалом 15 мин. Результаты исследований приведены в табл. 4.

В эксперименте уже через полчаса сорбент показал максимальную емкость поглощения марганца. Статическая емкость поглощения меди и железа продолжала увеличиваться и достигла максимума через 2 ч.

Анализ результатов (табл. 4) показывает, что средняя статическая емкость поглощения железа, марганца и меди составила 774,1 мг/г. Средняя эффективность очистки составила 53,7%.

Эксперимент еще раз подтвердил: чем мельче гранулометрический состав поглощающего материала, тем выше эффективность очистки, при этом от фракции к фракции эффективность очистки увеличивается в среднем на 3–7%.

Экспериментальным путем установлено, что отсеивать конкретную фракцию термообработанного пенобетона затратно по времени, трудоемко и нецелесообразно с точки зрения эффективности очистки, так как при его применении в технологическом процессе каждая конкретная фракция будет вносить свой процент очистки и тем самым улучшать качество сточной воды.

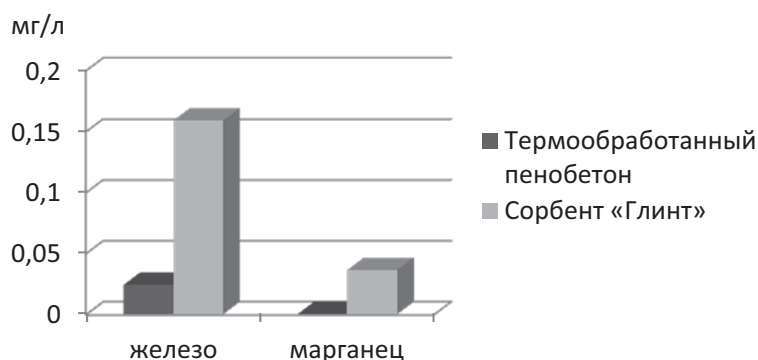


Рис. 1. Остаточная концентрация ионов тяжелых металлов в сточной воде после поглощения их сорбентами

ТАБЛИЦА 4. Результаты поглощения ионов тяжелых металлов термообработанным пенобетоном из 0,1-молярного раствора

Тяжелый металл	Исходная концентрация, мг/л	Средняя остаточная концентрация, мг/л		Средняя эффективность очистки, %		Средняя статическая емкость, мг/г	
		Через 30 мин.	Через 2 ч	Через 30 мин.	Через 2 ч	Через 30 мин.	Через 2 ч
Марганец	4752,5	3823,9	3769,4	19,5	20,69	239,8	185,2
Железо	5605	676,142	25,41	87,9	99,55	1239	1299
Медь	6120	2836,99	630,8	53,6	89,69	843,6	1371

3 Способы загрузки поглотителя в типовые очистные сооружения

В состав типичных ливневых очистных сооружений, как правило, входят следующие технологические элементы (рис. 2):

- 1) приемный (распределительный) колодец;
- 2) пескоуловитель (пескоотделитель);
- 3) нефтеуловитель (маслобензоотделитель);
- 4) сорбционный фильтр;
- 5) контрольный колодец (для отбора проб).

Система ливневых очистных сооружений подбирается в зависимости от основных параметров: объема сточных вод с территории, производительности очистных сооружений; концентрации загрязняющих веществ на входе в очистное сооружение; необходимой степени очистки до норм сброса в городскую канализацию или в водные объекты [8].

Однако, как показывает практика, не всегда удается очистить сток от всех загрязняющих веществ до нормативных показателей, используя ливневые очистные сооружения.

Так, на выбранном нами предприятии концентрация вредных (загрязняющих) веществ в контрольном колодце после очистных сооружений в несколько десятков раз превышает допустимые значения. В связи с тем, что очистные сооружения уже смонтированы и места для дополнительных очистных сооружений нет, мы предлагаем использовать приемный резервуар в качестве емкости, куда в необходимом количестве можно заложить поглощающий материал, способный даже из исходной воды удалить до 99% загрязняющих веществ (а именно тяжелых металлов).

Количество поглощающего материала будет рассчитываться исходя из общегодового объема поверхностного стока, а также среднего количества загрязняющих веществ (на основании данных мониторинга). Таким образом, с учетом максимальной емкости поглощающего материала можно будет определить наиболее подходящее количество загрузки, а также время ее «работы».

Для удобства обслуживания очистных сооружений мы предлагаем помещать по-

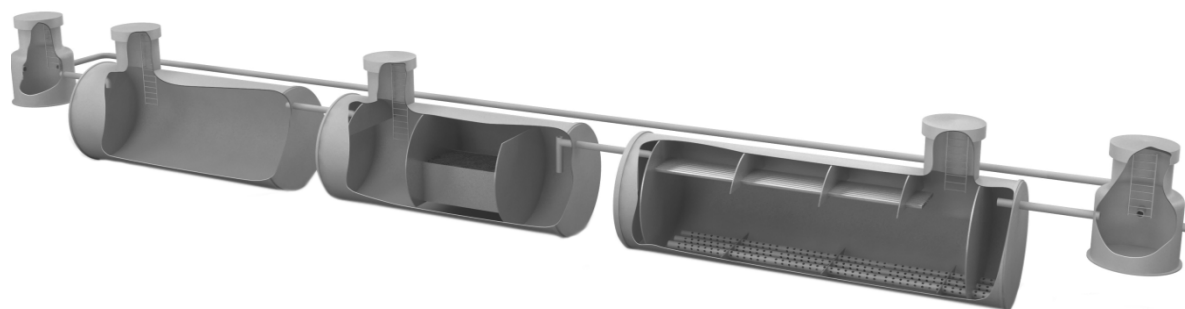


Рис. 2. Типовые ливневые очистные сооружения

глошающий сорбент в полипропиленовые мешки, которые будут инертны к сточной воде. Предполагается, что для более эффективной работы очистных сооружений один мешок можно поместить на дно колодца, где он будет находиться длительное время (до полугода-года) и служить элементом доочистки, а другой подвесить в самом колодце и заменять новым согласно разработанной схеме замены поглотителя. Ввиду незначительного объема загрузки (по проведенным расчетам – в пределах 5–10 кг) данная процедура потребует минимальных трудовых затрат.

Так как поглощающий материал не оказывает отрицательного воздействия на сточную воду, то при наличии в ней загрязняющих веществ с концентрацией, превышающей допустимую, мешки с поглотителем можно складывать и в контрольный колодец по той же схеме, что и в приемный резервуар.

Заключение

Исследования в Петербургском государственном университете путей сообщения, посвященные изучению геоэкозащитных свойств бетона, а именно его способности сорбировать ионы тяжелых металлов из почв, показали, что степень удаления загрязняющих веществ из почвы зависит от гранулометрических параметров фракций бетона и от времени его работы. Диапазон эффективности очистки составил 82–98% [3].

Положительный опыт удаления тяжелых металлов из сточных вод термообработанным пенобетоном позволяет предполагать его лучшие поглощающие свойства по сравнению с обычным бетоном и при удалении ИТМ из почв.

Кроме того, преимуществами термообработанного пенобетона является не только его высокая сорбционная способность, дешевизна, но и пригодность к дальнейшей утилизации в качестве отощителя в строительной

керамике [9], что обеспечивает безотходность производственного процесса.

Библиографический список

1. **Инженерно-геологическая** и геоэкологическая оценка нижекембрийских синих глин Санкт-Петербургского региона. – СПб., 1997. – URL : http://metodi4ka.com/wp-content/uploads/2011/05/geografija_1.pdf (дата обращения 22.02.2014).
2. **ОАО «МАКСМИР»** / А. А. Матвиевский, В. Г. Овчинников // Новости теплоснабжения. – 2005. – № 7. – URL : www.nts.ru (дата обращения 08.02.2014).
3. **Инженерно-химические** и естественно-научные основы охраны окружающей среды : учеб. пособие / Л. Б. Сватовская, М. В. Шершнева, А. М. Сычева, Е. И. Макарова. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2009. – 24 с.
4. **Минимизация** негативного воздействия на окружающую среду строительной деятельности и ЖКХ системой превентивных методов : дис. ... д-ра техн. наук : 25.00.36 / Н. А. Бабак. – СПб., 2011. – 497 с.
5. **Геоэкологический** резерв технологий, материалов и конструкций в строительстве при использовании промышленных минеральных отходов / Н. А. Бабак, Л. Л. Масленникова, А. М. Славина. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2011. – 86 с.
6. **Промышленные** и природные твердые отходы с геоэкозащитным резервом / М. В. Шершнева // Новые исследования в материаловедении и экологии : сб. науч. тр. – Вып. 7. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2007. – С. 10–13.
7. **Технологии** локализации негативного техногенного воздействия на окружающую среду / Н. А. Бабак, О. А. Капустина // Технологии техно-сферной безопасности : интернет-журнал. – Вып. 3 (55). – 2014. – 7 с. – URL : <http://ipb.mos.ru/ttb/2014-3/2014-3.html>.
8. **Ливневые** очистные сооружения : материал с сайта компании ООО «Композитные технологии России». – URL : <http://ktr-g.ru/livnevka-los.html> (дата обращения 23.12.2014).
9. **Пат. № 2416585 РФ.** Керамическая масса / Л. Б. Сватовская, Л. Л. Масленникова, Н. А. Бабак, О. А. Капустина. – № 2009143284/03 ; заявл. 23.11.2009 ; опубл. 20.04.2011 ; Бюл. № 11.

УДК 004.896

А. А. МатушевПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ
МОНТАЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ**

Рассмотрена проблема использования и хранения старой бумажной документации. Проанализированы средства распознавания документов. Предложено улучшение программы для распознавания монтажных карточек. Описаны модули программного комплекса, в том числе модуль распознавания структур монтажных документов. Представлен алгоритм для распознавания структур монтажной документации табличного типа с помощью логических схем алгоритмов (ЛСА). Приведена структурная схема разрабатываемого программного комплекса.

техническая документация, распознавание, электронный документооборот, алгоритм, ЛСА.

Введение

На железнодорожных дистанциях сигнализации, централизации и блокировки внедрены автоматизированные рабочие места АРМ-ВТД. С помощью данных программных комплексов организован электронный документооборот. Согласно распоряжению № 1299р от 10 июня 2013 г. вся новая документация должна поступать в электронном виде, однако в архивах имеются большие объемы старой бумажной технической документации, большей частью – монтажные схемы.

При модернизации систем автоматики и телемеханики, а также для решения задач эксплуатации приходится пользоваться старыми схемами, часто плохого качества. В настоящее время старая документация вручную переводится в электронный вид. Такой перевод занимает много времени (одна монтажная схема – около 30 мин.), при этом допускается много ошибок.

Для сокращения времени перевода и снижения трудозатрат предлагается автоматизировать процесс перевода документации с помощью специальных программ. Сегодня на рынке действуют две наиболее эффективные программы для распознавания документов:

Fine Reader (разработка фирмы ABBYY) и Cuneiform (Cognitive Technologies). Эксперименты с данными программами показали, что они не справляются с распознаванием сложной железнодорожной технической документации. Программа Fine Reader распознает в среднем 5 %, а Cuneiform – 2 % монтажной схемы. Для распознавания железнодорожной монтажной технической документации предлагается разработать более специализированный программный комплекс.

**1 Постановка задачи распознавания
монтажной документации**

Одним из решений задачи распознавания текста является применение искусственных нейронных сетей. В диссертации «Синтез объектной нейросетевой модели распознавания образов и ее применение в задачах железнодорожной автоматики» Д. В. Зуева [1] предложено использовать сверточную нейронную сеть для распознавания монтажной технической документации. Данная сеть показала высокую эффективность работы с монтажными карточками, однако монтажная техническая документация весьма разнообразна.

Помимо монтажных карточек имеются другие виды документации: схемы лицевых панелей стивов и релейных шкафов, нижних и верхних клеммных панелей, нештепсельных полок и пр. Всю монтажную документацию можно условно разделить на два типа: к первому относятся документы, в которых данные представлены преимущественно в табличной форме (рис. 1); ко второму – остальные монтажные схемы (рис. 2).

В работе Д. В. Зуева рассмотрено распознавание монтажных карточек ЖАТ, т. е. документов первого типа. Вопрос распознавания клеммных и лицевых панелей, монтажа нештепсельных полок и других документов второго типа остается открытым. Автор данной статьи предлагает методы распознавания монтажных документов схематического типа, а также методы повышения качества распознавания монтажной документации табличного типа.

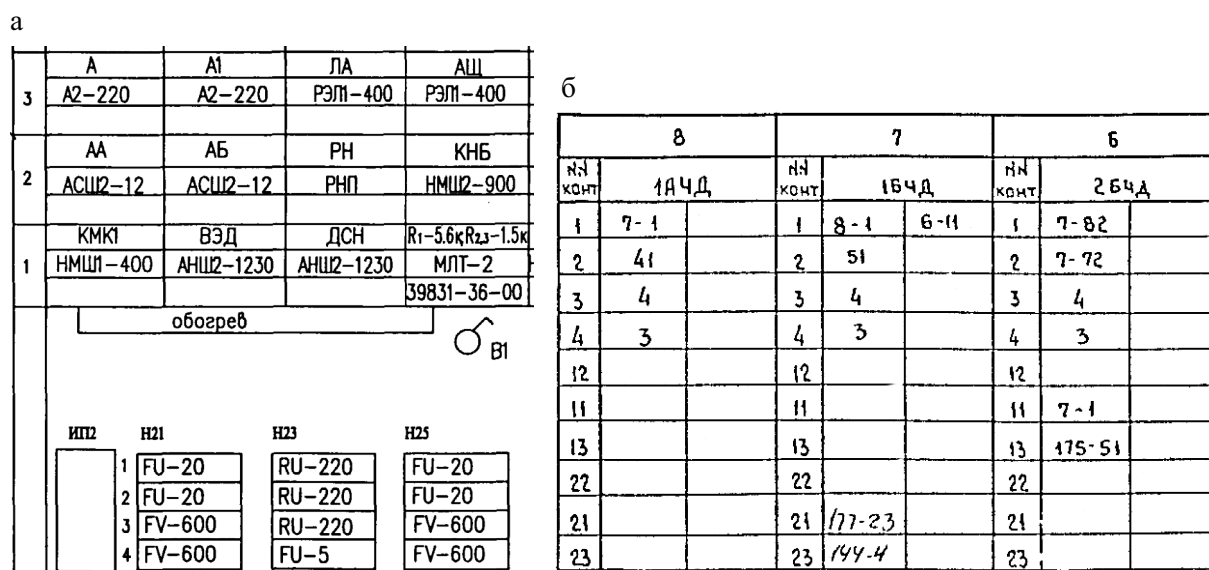


Рис. 1. Примеры монтажных схем табличного типа:
а) лицевая панель стива; б) монтажная карточка

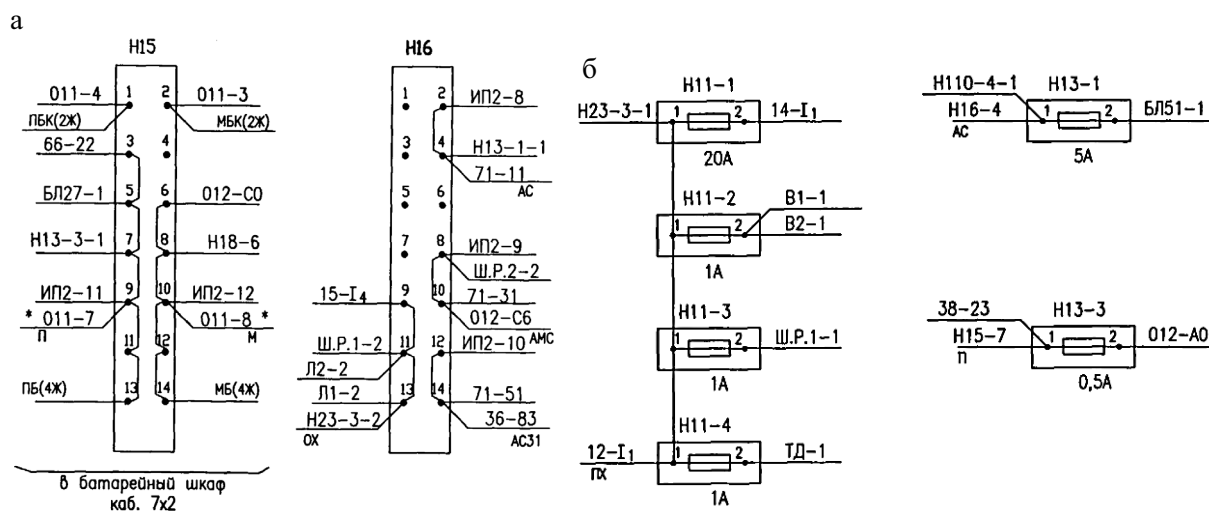


Рис. 2. Примеры монтажных схем схематического типа:
а) клеммные панели; б) панели предохранителей

2 Описание программного комплекса для распознавания монтажной технической документации

Автор предлагает адаптировать работу нейронной сети для решения задач распознавания всех типов монтажной документации. Для этого следует использовать программный модуль распознавания структуры монтажной схемы. Распознавание структуры позволит выделять базовые элементы различных монтажных схем. Примером базового элемента

для табличных монтажных схем служит ячейка таблицы. На рис. 3 представлен базовый алгоритм поиска ячеек таблицы. На языке логических схем алгоритмов [2, с. 60] данный алгоритм будет выглядеть так:

$$\begin{aligned}
 &Ap_1 \uparrow^1 p_2 \uparrow^2 p_3 \uparrow^3 p_4 \uparrow^4 p_5 \uparrow^5 B \downarrow^5 \\
 &C \downarrow^1 \downarrow^2 \downarrow^3 \downarrow^4 p_6 \uparrow^6 \downarrow^9 Dq_1 \uparrow^7 \\
 &q_2 \uparrow^8 \downarrow^{11} \downarrow^{12} \downarrow^{14} \downarrow^{15} q_3 \uparrow^9 O \\
 &\downarrow^7 \overline{q_4} \uparrow^{10} q_5 \uparrow^{11} \downarrow^{10} E_1 \omega \uparrow^{12} \downarrow^8 \\
 &\overline{q_6} \uparrow^{13} q_7 \uparrow^{14} \downarrow^{13} E_2 \omega \uparrow^{15},
 \end{aligned}$$

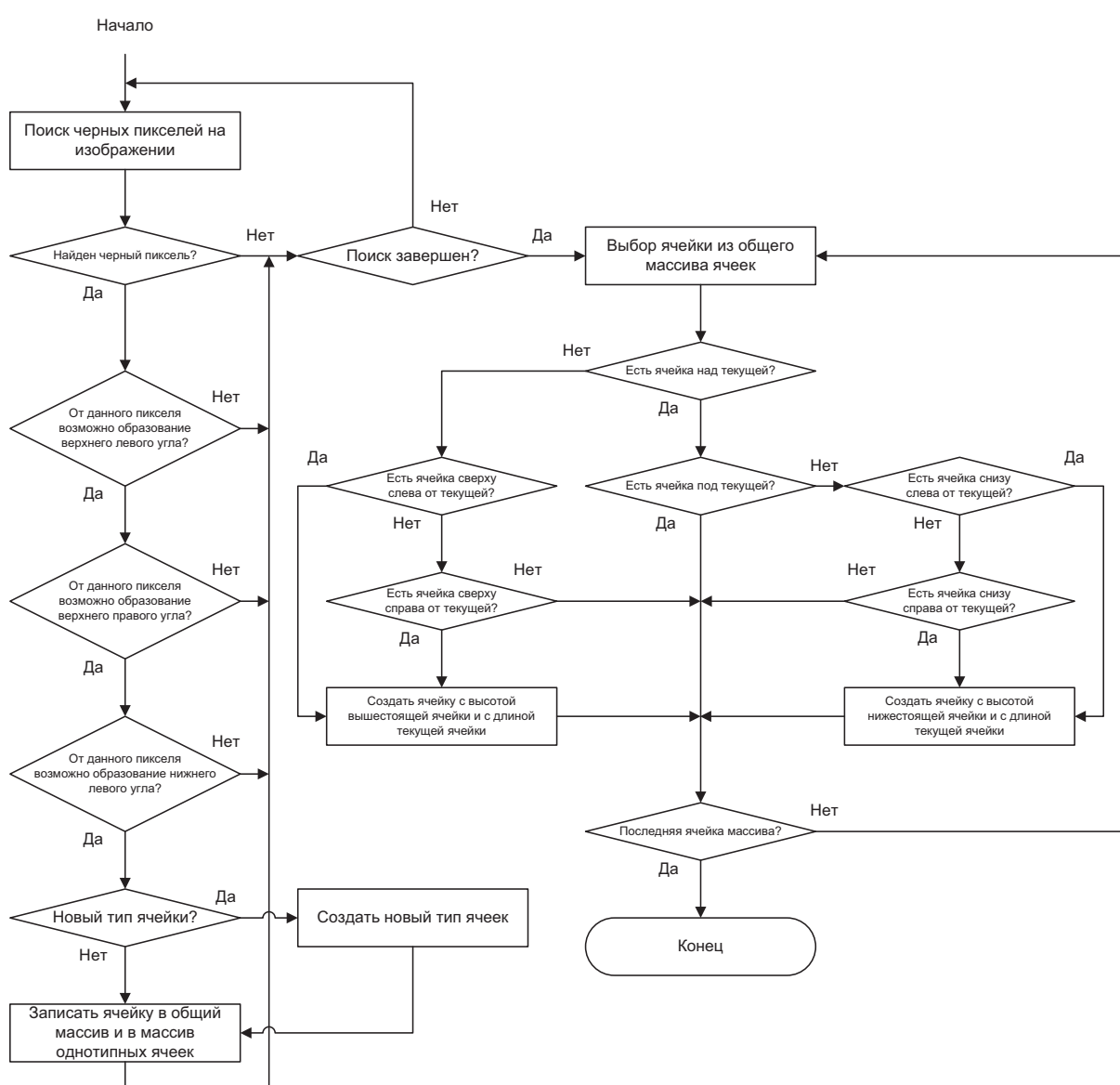


Рис. 3. Алгоритм распознавания документов табличного типа

где A – оператор поиска черных пикселей на изображении; B – оператор, создающий новый тип ячеек; C – оператор записи ячейки в общий массив и массив однотипных ячеек; D – оператор выбора ячейки из общего массива ячеек; E_1, E_2 – операторы, создающие ячейку с высотой вышестоящей (E_1) или нижестоящей (E_2) ячейки и с длиной текущей ячейки; O – оператор остановки и выдачи результатов; p_1 – условие, проверяющее, является ли найденный пиксель черным; p_2, p_3, p_4 – условия, проверяющее возможность образования углов; p_5 – условие, проверяющее, относится ли ячейка к известным типам; p_6 – условие, проверяющее, закончен ли поиск пикселей; q_1 – условие, проверяющее наличие ячейки выше текущей; q_2 – условие, проверяющее наличие ячейки ниже текущей; q_3 – условие, проверяющее, является ли текущая ячейка последней; q_4, q_5 – условия, проверяющие наличие ячеек сверху слева (q_4) и справа (q_5) от текущей; q_6, q_7 – условия, проверяющие наличие ячеек снизу слева (q_6) и справа (q_7) от текущей.

Данный алгоритм показал высокую эффективность распознавания структур таблиц. На данный момент ведется разработка алгоритма для распознавания схематических документов.

После завершения распознавания документа полученные данные необходимо представить в отраслевом формате. Модуль распознавания структур зафиксирует местонахождение всех найденных базовых элементов. Базовые элементы в свою очередь распознает нейронная сеть. Нейронная сеть, дополненная модулем распознавания структур, дает более точные результаты благодаря тому, что нейронная сеть работает непосредственно с текстом ячеек, зная конкретный адрес и тип ячейки, а не со всей монтажной карточкой сразу. Введение модуля распознавания структуры монтажной схемы позволит распознавать документы схематического типа и повысит качество распознавания документов табличного типа.

Для исключения ошибок, связанных с неверным распознаванием структур монтаж-

ных документов, предлагается ввести модуль предобработки изображения. Под предобработкой понимается выравнивание таблиц, удаление «шумов» и дорисовка недостающих элементов, если таковые имеются. Предобработка позволит повысить качество распознавания структур документов.

В ходе экспериментов по распознаванию монтажных схем на старых, грязных или рваных документах автор выяснил, что на таких документах имеются перечеркнутые, исправленные и поврежденные символы, из-за которых программа выдает ложные результаты. Такие символы зачастую даже человек разбирает с трудом. Для повышения количества распознанных символов предлагается использовать модуль логического анализа. Логический анализ разработан на основе принципов построения монтажной документации, базы марок различных используемых приборов и альбомов для проектирования различных систем. Получив на выходе распознанный документ, программа проанализирует и в случае несоответствия заданным требованиям исправит его.

Предлагаемый программный комплекс включает набор модулей:

- 1) предобработки изображения;
- 2) определения структуры документа и выделения базовых элементов;
- 3) распознавания полученных данных;
- 4) логического анализа;
- 5) просмотра, редактирования и сохранения документа.

Структурная схема программного комплекса представлена на рис. 4.

Заключение

Применение полученного программного комплекса позволит существенно сократить время перевода документов в электронный вид и ускорит переход дистанций сигнализации, централизации и блокировки на электронную безбумажную технологию ведения технической документации.



Рис. 4. Структура программного комплекса

Библиографический список

1. **Синтез** объектной нейросетевой модели распознавания образов и ее применение в задачах железнодорожной автоматики : дис. ... канд.

техн. наук : 05.13.18 / Д. В. Зуев. – СПб. : Санкт-Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2013.

2. **Синтез** управляющих автоматов / В. Г. Лазарев, Е. И. Пийль. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 328 с.

УДК 624.19:699.874:331.451

А. М. Сазонова

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ОСОБЕННОСТИ ОХРАНЫ ТРУДА ПРИ РАБОТАХ НА ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТАХ

В современном мире из-за высокой степени урбанизации, быстрого роста количества транспортных средств, дефицита территории большинство крупных городов мира активно использует подземное пространство, однако подземным работам свойственны специфические вредные производственные факторы. В статье рассматриваются вредные факторы, действующие на работников подземных объектов. Описано действие на организм человека биологических агентов, мелкодисперсной пыли, гипогеомагнитного поля земли, аэроионного состава воздуха, избытка двуокси углерода. Приведен анализ результатов исследования подземных объектов города Санкт-Петербурга, текущего состояния условий труда, даны рекомендации по их улучшению.

подземный объект, охрана труда, вредные производственные факторы, микромицеты, РМ-частицы, гипогеомагнитное поле, аэроионы, углерода диоксид.

Введение

Подземные сооружения стали неотъемлемой частью крупного города. Все чаще они используются для различных нужд населения.

Комплексная застройка подземного пространства мегаполиса позволяет рационально использовать наземные территории, содействует упорядочению транспортного обслуживания жителей и повышению безопасности дорож-

ного движения, снижает уличный шум и загрязнение воздуха выхлопными газами автомобильного транспорта, а также способствует повышению художественно-эстетических качеств городской среды [1].

Работа на подземных объектах всегда связана с повышенной опасностью, что требует особого внимания и осторожности, а следовательно, особого подхода к охране труда.

Работники в подземном пространстве подвергаются воздействию множества вредных факторов производственной среды: это вредные вещества в воздухе рабочей зоны, шум и вибрация, неблагоприятные микроклимат и световая среда, тяжесть, напряженность трудового процесса и т. д. При определенных обстоятельствах вредные факторы могут стать опасными, т. е. привести к травме работника. Важное место занимают биологический фактор, мелкодисперсная пыль, гипогеомагнитное поле Земли, аэроионный состав воздуха, избыток двуокиси углерода. Им уделяется особое внимание, поскольку, во-первых, эти неблагоприятные свойства среды недооценены при определении условий труда, а некоторые даже не рассматриваются; во-вторых, надо исследовать комплексное действие этих факторов на организм человека, в-третьих, требуется изучить взаимодействие факторов между собой.

1 Биологические агенты

Биологические агенты – многообразные живые организмы, повсеместно распространенные в окружающей среде, ее естественная составляющая. Повреждениям от биологических агентов подвержено практически все, что создает и сооружает человек во всех сферах своей деятельности [2]. Воздействие организмов на объекты деятельности человека приводит к физическому и химическому изменению свойств материалов – к биоповреждению. Совокупность реакций таких изменений (биодеструкция) может быть вы-

звана действием одного организма или сообщества организмов (биодеструкторов). Если вовремя не принять меры по ликвидации последствий биоповреждения, это приведет к биоразрушению объекта. Биоповреждения приводят к колоссальным экономическим потерям: повреждению и полному разрушению строительных конструкций, материалов и изделий техники, утрате памятников истории и архитектуры, произведений искусства.

Среди всех видов биоповреждений наиболее часто встречаются микробиологические. Степень агрессивности биодеструктора зависит от его количества, видового состава и от условий среды. Особенности подземных пространств – замкнутость, повышенная относительная влажность, недостаточная вентиляция – создают благоприятную среду для развития микроорганизмов.

Микроорганизмы не только приводят к биоповреждению материалов, но и являются источником риска опасного воздействия самих микроорганизмов и продуктов биодеструкции в целом на человека, работающего в зданиях и помещениях с биопоражением. Такое негативное влияние на работника можно разделить на группы [3]:

1) разрушение (например, обвалы) зданий, подвергшихся биоповреждению, могут нанести травму работнику;

2) сочетание повышенной влажности в помещении с охлаждением организма работника приводит к таким заболеваниям, как хронические неспецифические заболевания органов дыхания, опорно-двигательного аппарата и др.;

3) непосредственно действие микроорганизмов на человека ведет к инфекционным поражениям – микозам, в некоторых случаях – к микогенным аллергиям.

В качестве биодеструкторов рассматривались микромицеты (микроскопические грибы), так как они преобладают над другими микроорганизмами в почве и в воздухе городов [3]. Объектом исследования стали участки конструкций тоннелей, пораженные микроорганизмами.

Во время эксперимента проведены:

- визуальный осмотр подземного пространства на наличие биоповреждений строительных конструкций;
- отбор микробиологических проб методом смывов с поверхности стерильными салфетками и методом бактериологических отпечатков;
- первичная идентификация микроорганизмов (подсчитаны колонии на поверхности среды в колониобразующих единицах (КОЕ) на 1 г и на 1 см²);
- окончательная идентификация агентов биоповреждения путем микологического анализа проб (до рода, в некоторых случаях – до вида).

Исследования проводились в соответствии с методиками РВСН 20-01-2006 (ТСН-20-303-2006).

При обследовании конструкций установлено, что на строительные материалы микроорганизмы, их сообщества и продукты жизнедеятельности воздействуют комплексно (комбинированное разрушение). Наиболее часто встречается III степень повреждения: наблюдается отслоение штукатурки, шпаклевки, шелушение, выкрошивание кирпича, кладочного раствора; шелушение и выкрошивание бетона и железобетона, отслоение коррозионного слоя от арматуры железобетона; повреждение поверхности натурального камня на глубину более 5 мм.

В ходе первичной идентификации установлено, что причиной данных биоповреждений являлась массивированная глубокая биодеструкция, вызванная микромицетами.

Микромицеты, идентифицированные в ходе микологического анализа:

Exophiala oligosperma Calandron ex de Hog
Phoma sp.

Aureobasidium pullulans (de Bary)

G. Aunaud

Aspergillus sp.

Acremonium sp.

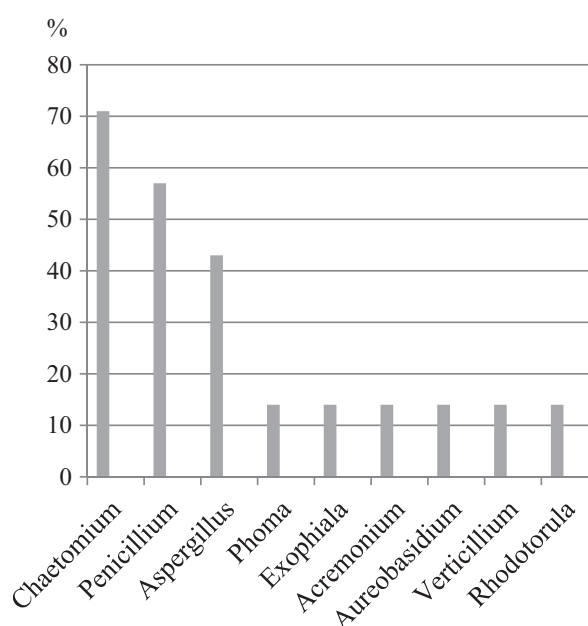
Chaetomium sp.

Penicillium brevicompactum Dier ckh

Verticillium lecanii (Zimm) Viegas

Rhodotorula sp.

Выделенные микромицеты обнаружены на пораженных участках как в монокультурах, так и (чаще) в сообществах. По частоте встречаемости на первом месте стоят микромицеты рода *Chaetomium* sp., на втором – *Penicillium* sp., на третьем – *Aspergillus* sp. Наибольшие повреждения материалов вызывают плесневые грибы рода *Aspergillus* и *Penicillium*, также представляющие опасность для здоровья людей. Результаты пораженности идентифицируемыми микромицетами исследуемых участков представлен на диаграмме (см. рисунок).



Пораженность идентифицированными микромицетами исследуемых участков

Подсчет колоний на поверхности среды в КОЕ на 1 г и на 1 см² поверхности выявил микромицеты, встречающиеся в максимальной концентрации: *Penicillium* sp., *Chaetomium* sp., *Phoma* sp., *Aspergillus* sp.

Природные микроорганизмы в естественных условиях заселяют пространство планеты, участвуя в круговороте органического вещества. Для подземных рабочих мест характерна искусственная экологическая обстановка. В результате антропогенного влияния микроорганизмы могут начать проявлять патогенные свойства [3]. Проявление патогенных свойств

также может выступать защитной функцией грибов на действие фунгицидов, поэтому при подборе защиты материалов необходимо учитывать характер и степень воздействия фунгицидов на активность микромицетов для прогнозирования возможных последствий [2].

Биодеструкторы обладают высокими адаптивными свойствами к различным материалам как к источникам питания, условиям внешней среды и к средствам защиты. Разработка и подбор методов ликвидации биодеструкции – трудоемкая задача, требующая комплексного подхода.

2 Мелкодисперсная пыль

Среди прочих загрязняющих веществ воздуха рабочей зоны подземного объекта можно обнаружить взвешенные частицы в форме мелкодисперсной пыли (РМ-частицы). РМ-частицы представляют собой сложное соединение органических и неорганических субстанций.

Именно мелкие частицы пыли опасны для людей. Длительное вдыхание пыли, проникающей в легочные альвеолы, приводит к развитию особого заболевания легких – пневмокониоза [4].

В ходе эксперимента с помощью комбинированного полуавтоматического пылемера ОПМН-10,0 замерена концентрация мелких взвешенных частиц РМ10 в воздухе рабочей зоны подземного объекта. По средней концентрации за операцию и по длительности операции определена пылевая нагрузка.

Так как взвешенные РМ-частицы обладают беспороговым действием, для оценки использовали предельно допустимую среднесуточную концентрацию (ПДК_с) РМ-частиц атмосферного воздуха для воздуха рабочей зоны в соответствии с ГН 2.1.6.2604-10. Согласно Р 2.2.2006-05, в случае превышения среднесменной ПДК мелкодисперсной пыли обязателен расчет пылевой нагрузки. Пылевая нагрузка (ПН) на органы дыхания работника – это реальная или прогностическая величина

суммарной экспозиционной дозы пыли, которую работник вдыхает за весь период фактического (или предполагаемого) профессионального контакта с пылью. ПН превысила контрольную пылевую нагрузку в 6 раз. Следовательно, требуется использовать принцип защиты временем.

Учет повышенной запыленности воздуха при оценке условий труда работников подземных объектов – необходимое мероприятие для предупреждения профзаболеваний.

3 Гипогеомагнитное поле

Геомагнитное поле – это магнитное поле Земли. Гипогеомагнитное поле – магнитное поле, ослабленное экранирующим объектом.

Согласно СанПин 2.1.8/2.2.4.2489-09, наиболее неблагоприятные гипогеомагнитные условия могут возникнуть в помещениях (объектах) под землей.

Снижение уровня внешнего магнитного поля негативно отражается на организме человека и может проявляться в нарушениях работы кровеносной системы (нарушении кровообращения, транспортировки питательных веществ к органам и тканям).

В ходе исследования с помощью трехкомпонентного магнитометра МТМ-01 определена интенсивность ослабления геомагнитного поля внутри помещений на рабочих местах и в открытом пространстве на территории, прилегающей к месту расположения подземного объекта, рассчитан коэффициент ослабления геомагнитного поля (КОГМП).

Установлено, что при работе более 2 часов за смену КОГМП превышает предельно допустимый уровень ослабления интенсивности геомагнитного поля в 1,7 раз.

Для повышения адаптационных возможностей организма целесообразно использовать комплексы психо-физиологической разгрузки, производственную гимнастику, фито- и витаминпрофилактику, а также сокращать продолжительность рабочей смены.

4 Аэроионный состав воздуха

Согласно СанПиН 2.2.4.129-03, аэроионы – легкие ионы, носителями заряда которых являются атомы, молекулы или комплексы молекул газа воздуха.

Неблагоприятное воздействие на организм человека оказывают как избыток, так и недостаток аэроионов обеих полярностей. Негативное влияние воспринимается кожей и органами дыхания, сердечно-сосудистой системой: ухудшается общее самочувствие, появляется головная боль, пропадает аппетит.

Аэроионная недостаточность или избыток аэроионов часто наблюдается у объектов с искусственной средой обитания, имеющих свою воздушную среду.

Во время эксперимента с помощью счетчика аэроионов МАС-01 измерена концентрация аэроионов обеих полярностей (p^+ , p^-), определяемая как количество аэроионов в одном кубическом сантиметре воздуха (ион/см³), рассчитан коэффициент униполярности (U), определяемый как отношение концентрации аэроионов положительной полярности к концентрации аэроионов отрицательной полярности.

В результате эксперимента установлено, что на подземных рабочих местах наблюдается недостаток аэроионов обеих полярностей, причем недостаток отрицательных аэроионов более значителен.

При недостатке аэроионов рекомендуется использовать генератор аэроионов и сокращать время пребывания в таком помещении.

5 Избыток двуокиси углерода

Углекислый газ (оксид углерода (IV), CO_2) – один из трех основных составляющих (после азота и кислорода) атмосферного воздуха.

Избыток углекислого газа в воздухе рабочей зоны вызывает снижение работоспособности, повышенную утомляемость. При концентрации CO_2 на уровне примерно 5 % появляются признаки удушья.

Во время исследования условий труда на рабочих местах подземных объектов с помощью портативного газоанализатора ПГА-200 измерена объемная доля диоксида углерода, определена средняя концентрация CO_2 на каждом рабочем месте.

Экспериментально установлено, что в воздухе подземных объектов избыток CO_2 . Согласно исследованиям 2013 г., объемная доля CO_2 в атмосферном воздухе составляет от 0,0393 до 0,0397 %. Полученные значения превышают этот показатель более чем в 2 раза.

При содержании CO_2 в воздухе уже 0,06 об. % могут появиться первые симптомы утомления, снижения работоспособности, замедление реакции, слабость, плохая сосредоточенность, нарушение дыхания [5].

Заключение

Таким образом, при изучении состояния среды в подземных сооружениях установлено влияние следующих факторов:

- биодеструкторов;
- мелкодисперсной пыли;
- гипогеомагнитного поля;
- несоблюдения минимально необходимой концентрации аэроионов;
- избытка CO_2 .

Комплекс неблагоприятных факторов производственной среды ведет к снижению работоспособности, к раннему утомлению, к снижению иммунитета, в итоге – к преждевременной утрате здоровья.

В качестве профилактических мероприятий рекомендуется:

- учитывать биологический фактор и повышенную запыленность воздуха (РМ-частицы) при оценке условий труда;
- комплексно подходить к разработке и подбору методов ликвидации защиты от биодеструкторов;
- использовать комплекс психо-физиологической разгрузки, производственной гимнастики, фито- и витаминпрофилактики;
- сокращать продолжительность смены;
- использовать генератор аэроионов.

Библиографический список

1. **Горная** энциклопедия. Подземные сооружения. – URL : <http://www.mining-enc.ru/p/podzemnye-sooruzheniya> (дата обращения 19.12.2014).

2. **Защита** от биоповреждений, вызываемых грибами / В.И. Сухаревич, И.Л. Кузикова, Н.Г. Медведева. – СПб. : ЭЛБИ-СПб, 2009. – 207 с.

3. **Антропогенно-очаговые** болезни жителей большого города / В.Б. Антонов // Журнал инфектологии. – 2009. – Т. 1, № 2/3. – С. 7–12.

4. **Популярная** медицинская энциклопедия. Пыль. – URL : <http://medbooka.ru/pyl> (дата обращения 21.12.2014).

5. **Экобаланс**. Углекислый газ : определения и свойства. – URL : [http://ekobalans.ru/investigations/uglekislyj-gaz-\(co2\)](http://ekobalans.ru/investigations/uglekislyj-gaz-(co2)) (дата обращения 21.12.2014).

УДК 681.518.5:004.052.32

В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

АНАЛИЗ СВОЙСТВ КОДОВ С СУММИРОВАНИЕМ ВЗВЕШЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РАЗРЯДОВ ПО ОБНАРУЖЕНИЮ ОШИБОК В СИСТЕМАХ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ЛОГИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Рассмотрены коды с суммированием взвешенных информационных разрядов в системах функционального контроля логических устройств автоматики и вычислительной техники. Установлены новые свойства взвешенных кодов с суммированием, число контрольных разрядов в которых равно числу контрольных разрядов классических кодов Бергера. Показано, что взвешенные коды с суммированием обладают большей эффективностью обнаружения ошибок в системах функционального контроля, чем известные коды с суммированием. Кроме того, анализируемые в работе взвешенные коды обладают свойством 100%-ного обнаружения любых однонаправленных (монотонных) искажений в информационных векторах, что позволяет использовать их для организации контроля логических устройств с монотонными и монотонно независимыми выходами.

техническая диагностика, функциональный контроль, код Бергера, взвешенный код с суммированием, информационный вектор, необнаруживаемая ошибка.

Введение

Современные системы автоматического управления и контроля, в том числе и объекты железнодорожной автоматики и телемеханики, строятся с использованием микропроцессорной и микроэлектронной техники [1]. С каждым годом технологии создания элементов компьютерной техники совершенствуются, растет плотность интеграции транзисторов на кристалле, увеличивается быстродействие логических схем [2]. Задача обеспечения надеж-

ной работы компьютерной техники, особенно в системах управления, имеет фундаментальное значение. Для достижения высокого уровня надежности используются различные методы, включающие в себя применение высоконадежной элементной базы, резервирования, помехоустойчивого кодирования, а также технического диагностирования [3, 4].

Техническое диагностирование логических устройств позволяет определить состояние их функциональных узлов и впоследствии вы-

работать стратегию дальнейшего применения объекта по назначению (в том числе выбрать вариант ремонта в случае возникновения дефекта). При организации систем технического диагностирования используются различные подходы, связанные с работой самого диагностируемого объекта. При тестовом диагностировании объект контроля кратковременно отключается от работы с целью подачи на его входы специальных проверочных воздействий. Противоположным подходом в диагностировании является функциональный контроль, или рабочий (on-line) контроль. Данный вид диагностирования проводится в режиме функционирования объекта (concurrent error detection system) [5, 6].

Данная статья посвящена развитию теории функционального контроля комбинационных логических устройств, являющихся частью любых современных компьютерных систем. Суть функционального контроля комбинационных устройств состоит в возможности обнаружения любых одиночных искажений в их внутренней структуре (будь то константные неисправности или неисправности типа

«временная задержка» [7, 8]) без специальных воздействий: тестирование производится на рабочих наборах логического устройства.

1 Коды с суммированием в системах функционального контроля

При организации систем функционального контроля (рис. 1) применяются свойства избыточных кодов. Наиболее простым способом организации системы функционального контроля является применение разделимых кодов. В этом случае выходы контролируемого устройства $f(x)$ отождествляют с информационными разрядами $\langle f_1 f_2 \dots f_m \rangle$, а выходы контрольного устройства $g(x)$ – с контрольными разрядами $\langle g_1 g_2 \dots g_k \rangle$, получаемыми по заранее установленным правилам. Факт соответствия информационных и контрольных разрядов фиксируется тестером с парафазным выходом [9]. Тестер является самопроверяемым, т. е. в нем любые одиночные ошибки во внутренней структуре определяются хотя бы на одном входном наборе. В этом случае и при

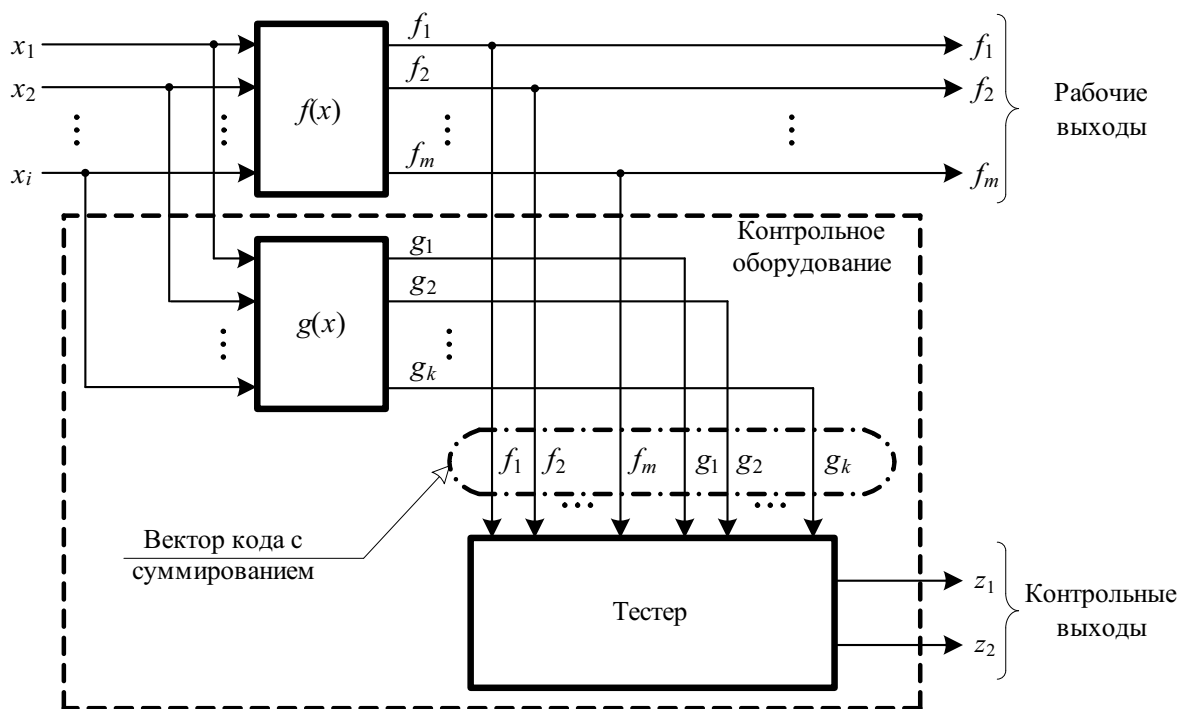


Рис. 1. Структура системы функционального контроля

наличии дефектов в блоках $f(x)$ и $g(x)$ на контрольных выходах тестера (z_1 и z_2) устанавливается непарафазный сигнал $\langle 00 \rangle$ или $\langle 11 \rangle$.

От выбранного на этапе проектирования варианта кодирования в значительной степени зависят свойства самой системы функционального контроля по обнаружению искажений в контролируемом блоке $f(x)$. Поскольку все блоки системы диагностирования реализованы отдельно, одновременное возникновение дефектов в разных блоках невозможно. Это позволяет рассматривать свойства системы функционального контроля при возникновении искажений только в информационных выходах при безошибочности контрольных выходов [10].

Наиболее часто при организации систем функционального контроля используются классические коды с суммированием, или коды Бергера [11, 12]. Коды Бергера в контрольном векторе содержат двоичное число, равное сумме числа единичных информационных разрядов (число, равное весу r кодового слова). Таким образом, при длине информационного вектора, равной m , длина контрольного вектора составляет $k = \lceil \log_2(m+1) \rceil$, где запись $\lceil b \rceil$ обозначает ближайшее целое, не превосходящее значения b . Коды Бергера обозначим как $S(m,k)$ -коды.

В [10] установлены свойства кодов Бергера по обнаружению искажений в информационных векторах. Доказано, что доля необнаруживаемых искажений кратности d в информационных векторах от общего числа искажений данной кратности не зависит от длины информационного вектора и является постоянной величиной:

$$\beta_d = 2^{-d} C_d^{\frac{d}{2}}. \quad (1)$$

Из выражения (1), например, следует, что коды Бергера не обнаруживают 50 % двукратных искажений в информационных разрядах.

Одним из способов повышения эффективности обнаружения искажений в информаци-

онных векторах кодов является модификация кода по следующим правилам [13].

Алгоритм 1. Построение модифицированного кода Бергера.

1. Подсчитывается вес информационного вектора r ;
2. Выбирается модуль $M = 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil - 1}$;
3. Вес r представляется по выбранному модулю $(r) \bmod M$;
4. Подсчитывается специальный поправочный коэффициент α как сумма по модулю два заранее выбранных информационных разрядов;
5. Подсчитывается результирующий вес информационного слова $W = (r) \bmod M + \alpha M$;
6. Число W представляется в двоичном виде.

Коды, получаемые по приведенному алгоритму, называются модифицированными кодами Бергера, или $RS(m,k)$ -кодами.

$RS(m,k)$ -коды обнаруживают почти вдвое больше искажений в информационных векторах, чем $S(m,k)$ -коды. При этом от выбора правила подсчета поправочного коэффициента α зависит и число необнаруживаемых искажений в коде. Все модифицированные коды с длиной информационных векторов $m < 8$ имеют одинаковое общее число необнаруживаемых искажений, а с длиной $m \geq 8$ минимум необнаруживаемых искажений получается в том случае, если поправочный коэффициент содержит $\left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor$ информационных разрядов (запись $\lfloor b \rfloor$ обозначает ближайшее целое, не превосходящее значения b). $RS(m,k)$ -коды, у которых поправочный коэффициент вычисляется как сумма по модулю два $\left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor$ информационных разрядов, также имеют и минимум двукратных необнаруживаемых искажений [13].

Длина контрольного вектора в $S(m,k)$ - и $RS(m,k)$ -кодах зависит от длины информационного вектора и с его увеличением также увеличивается. Это влияет на сложность контрольного оборудования в системе функционального контроля (рис. 1). При использовании модульного принципа подсчета веса ин-

формационного вектора число контрольных разрядов фиксируется и становится постоянным при любой длине информационного вектора. Модульные коды, или $SM(m,k)$ -коды, также эффективно применяются при построении систем функционального контроля [14]. В [15] установлены свойства $SM(m,k)$ -кодов по обнаружению искажений в информационных векторах, показано, что модуль может быть выбран из множества $M \in 2^1, 2^2, \dots, 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil - 1}$. Это дает целое семейство модульных кодов с суммированием с числом контрольных разрядов меньшим, чем у кода Бергера.

Используя алгоритм модификации, приведенный выше, а также выбирая модуль из множества $M \in 2^1, 2^2, \dots, 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil - 1}$, можно получить целое семейство модульно-модифицированных кодов с суммированием ($RSM(m,k)$ -кодов), которые также можно использовать при организации систем функционального контроля логических устройств [16].

Любые коды с суммированием, в которых вес информационного слова подсчитан по некоторому модулю M , имеют существенный недостаток, накладывающий ограничение на их использование в системах диагностирования. Модульный принцип подсчета веса приводит к возникновению однонаправленных (монотонных) искажений в информационных векторах кода, что, например, не дает гарантированного применения $SM(m,k)$ -, $RS(m,k)$ -или $RSM(m,k)$ -кодов при организации системы контроля комбинационных логических устройств с монотонными и монотонно независимыми выходами [17].

Получить код с улучшенными характеристиками по обнаружению искажений в информационных векторах можно путем взвешивания информационных разрядов и записи в контрольных разрядах суммарного веса информационных разрядов. Впервые о такой возможности упоминается в работе J. M. Berger [11]. Особенности систем функционального контроля, построенных с применением взвешенных кодов с суммированием, изложены в [18, 19].

Цель данной статьи – показать возможности взвешивания информационных разрядов для получения кодов с суммированием с разнообразными распределениями необнаруживаемых искажений в информационных векторах. Взвешенные коды, к которым не применяется модульный принцип подсчета веса, гарантированно могут применяться для контроля схем, в которых на выходах могут возникать только монотонные искажения.

2 Свойства взвешенных кодов с суммированием

Во взвешенных кодах с суммированием ($WS(m,k)$ -кодах) в общем случае могут быть взвешены любые информационные разряды, последовательность весовых коэффициентов таким образом имеет вид $[w_1, w_2, \dots, w_m]$. $WS(m,k)$ -код с последовательностью весовых коэффициентов $[1, 1, \dots, 1]$ есть классический код Бергера. В контрольном векторе $WS(m,k)$ -кода записывается двоичное число, равное величине

$$W = \sum_{i=1}^m x_i w_i,$$

где x_i – значение информационного разряда (0 или 1).

В [20] сравниваются классические коды Бергера и взвешенные коды с последовательностями весовых коэффициентов $[1, 1, \dots, 1, 3]$, т.е. кодов с одним взвешенным разрядом $w_i = 3$. Там же показано, что взвешенные коды с суммированием обладают всеми особенностями кодов Бергера.

Будем рассматривать только те взвешенные коды, в которых число контрольных разрядов равно числу контрольных разрядов в классических кодах Бергера, т.е. $k = \lceil \log_2(W + 1) \rceil$. Для таких $WS(m,k)$ -кодов устанавливается следующее ограничение на значения весовых коэффициентов [21]:

$$m \leq w_1 + w_2 + \dots + w_m \leq 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil} - 1. \quad (2)$$

Чем ближе длина информационного вектора к величине $2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil} - 1$, тем меньшее количество различных взвешенных кодов можно построить. Например, если $m = 6$, то имеются две последовательности весовых коэффициентов: $[1, 1, 1, 1, 1, 1]$ и $[1, 1, 1, 1, 1, 2]$, а при $m = 5$ таких последовательностей четыре: $[1, 1, 1, 1, 1]$, $[1, 1, 1, 1, 2]$, $[1, 1, 1, 1, 3]$, $[1, 1, 1, 2, 2]$.

Поскольку мы рассматриваем свойства кодов на всех входных наборах, то положение взвешенных разрядов в информационном векторе несущественно. Важным фактором в этом случае является значение весового коэффициента.

Контрольные векторы кодов с суммированием представляют собой суммы единичных информационных разрядов, умноженных на значение их весовых коэффициентов. Например, в табл. 1 приводятся кодовые слова $S(4,3)$ - и $WS(4,3)$ -кодов с последовательностью весовых коэффициентов $[1, 1, 2, 2]$.

Для определения характеристик кодов по обнаружению ошибок в информационных векторах удобна табличная форма представления, где все информационные векторы распределены по контрольным векторам [10]. В табл. 2 и 3 приведены табличные формы представления $S(4,3)$ - и $WS(4,3)$ -кодов. Код Бергера имеет в каждой контрольной группе C_m^r информационных векторов (r – вес информационного вектора). Поскольку число $r < m$, три контрольные группы являются пустыми. Кроме того, заполнение занятых групп крайне неравномерно. Эти особенности кода Бергера определяют и его достаточно низкие возможности по обнаружению искажений в информационных векторах. Приписывание информационным разрядам весовых коэффициентов позволяет перераспределить информационные векторы по контрольным группам. Подбор значений весовых коэффициентов позволяет получать коды с различными распределениями информационных векторов по контрольным группам.

Ошибка в информационном векторе не будет обнаружена только тогда, когда она преобразит один информационный вектор в другой

внутри одной контрольной группы. Из табл. 2 и 3 ясно, что имеются 54 таких перехода для $S(4,3)$ -кода и 28 – для $WS(4,3)$ -кода. Для любого кода Бергера известна формула подсчета числа необнаруживаемых искажений [13]:

$$N_m = \sum_{p \in Q} 2C_p^2, \quad (3)$$

где $Q = \{C_m^1, C_m^2, \dots, C_m^{m-1}\}$.

Для кодов Бергера число информационных векторов в одной контрольной группе определяется только значениями m и r , что позволяет легко установить количество необнаруживаемых переходов. Взвешенные коды имеют перераспределение информационных векторов, а именно – сдвиг в правую часть таблицы некоторого количества информационных векторов. Например, если взвешен один информационный разряд, на величину $w_i - 1$ сдвигается 2^{m-1} информационный вектор. При большем количестве взвешенных разрядов осуществляется большее количество «перемещений» информационных векторов в сравнении с классическим кодом Бергера. Подсчет числа необнаруживаемых искажений затрудняется.

Для $WS(m,k)$ -кодов справедливо **Утверждение 1**. Любой $WS(m,k)$ -код, контрольный вектор которого представляет собой двоичный эквивалент суммы весовых коэффициентов информационных разрядов, обнаруживает 100% монотонных ошибок в информационных векторах. Утверждение 1 следует из того, что при взвешивании информационных векторов увеличивается суммарный вес W , т. е. смещается значение истинного веса в большую сторону. В группу с весом r , соответствующим весу невзвешенного кода, не попадает информационный вектор взвешенного кода с большим значением веса.

Также для $WS(m,k)$ -кодов нетрудно доказать **Утверждение 2**: взвешенный код с суммированием, весовые коэффициенты которого являются нечетными числами, обнаруживает любые ошибки нечетных кратностей и все монотонные ошибки четных кратностей [21].

ТАБЛИЦА 1. Кодовые векторы кодов с суммированием

№	Информационные разряды, вес информационных разрядов				Контрольные разряды					
	x_1 $w_1=1$	x_2 $w_2=1$	x_3 $w_3=2$	x_4 $w_4=2$	$S(4,3)$			$WS(4,3)$		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
2	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
3	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0
4	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
5	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1
6	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1
7	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1
8	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
9	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1
10	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1
11	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1
12	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0
13	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0
14	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0
15	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0

ТАБЛИЦА 2. $S(4,3)$ -код

000	001	010	011	100	101	110	111
0000	0001	0011	0111	1111			
	0010	0101	1011				
	0100	0110	1101				
	1000	1001	1110				
		1010					
		1100					

ТАБЛИЦА 3. $WS(4,3)$ -код с последовательностью весов [1,1,2,2]

000	001	010	011	100	101	110	111
0000	0001	0011	0101	0111	1101	1111	
	0010	0100	0110	1011	1110		
		1000	1001	1100			
			1010				

Для более глубокого анализа характеристик взвешенных кодов с суммированием был составлен алгоритм построения взвешенного кода с суммированием на основе анализа табличной формы представления делимого кода и реализован в программном виде. Это позволило рассчитать характеристики взвешенных кодов с суммированием при длине информационных векторов $m = 2 \div 20$. Например, в табл. 4 приведены все взвешенные коды с суммированием, удовлетворяющие условию (2), при длине информационного вектора $m = 8$.

В табл. 4 в графах N_m , γ , ξ записаны характеристики взвешенных кодов: N_m – общее число обнаруживаемых искажений в информационном векторе, γ – доля обнаруживаемых искажений от общего числа искажений в информационном векторе, ξ – показатель эффективности кода при заданной длине информационных и контрольных векторов. Коэффициент ξ показывает, насколько данный код ближе к оптимальному коду при заданных значениях m и k [13]:

$$\xi = \frac{N_m^{\min}}{N_m}, \quad (4)$$

где $N_m^{\min} = 2^m(2^{m-k} - 1)$ – число обнаруживаемых ошибок в оптимальном коде, имеющем равномерное распределение информационных векторов между контрольными векторами.

Чем ближе ξ к 1, тем эффективнее код при данных значениях m и k . По величине ξ в табл. 4 видно, насколько взвешивание информационных разрядов увеличивает эффективность обнаружения искажений в коде с суммированием. Для некоторых последовательностей весовых коэффициентов эффективность возрастает более чем в два раза.

Коды в табл. 4 сгруппированы по следующему признаку: в каждой группе кодов изменяется значение только одного весового коэффициента. Это позволяет установить ряд свойств $WS(m, k)$ -кодов, интересных с практической точки зрения:

1) любой взвешенный код с суммированием имеет меньшее количество обнару-

живаемых искажений, чем классический код Бергера, в том числе по каждой четной кратности;

2) любой взвешенный код из группы с постоянным значением весовых коэффициентов $m - 1$ информационного разряда имеет постоянное количество двукратных необнаруживаемых искажений, кроме первого кода группы. Это коды с последовательностями весовых коэффициентов $[1, 1, 1, 1, w_5, w_6, w_7, w_8]$, где $w_8 > w_5$, $w_8 > w_6$, $w_8 > w_7$;

3) чем больше взвешено информационных разрядов, тем меньше двукратных необнаруживаемых искажений в коде, удовлетворяющем предыдущему свойству. К примеру, у кода с последовательностью информационных разрядов $[1, 1, 1, 1, 1, 2, 6]$ 1920 двукратных необнаруживаемых ошибок, а у кода с последовательностью $[1, 1, 1, 1, 2, 2, 3, 4]$ – всего 896;

4) максимальное значение коэффициента ξ имеет каждый последний код каждой группы – он имеет суммарное значение веса информационного слова W , максимально близкое к пороговому $2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil} - 1$, после превышения которого добавляется еще один контрольный разряд (см. условие 2);

5) для кодов из первой группы (коды с одним взвешенным разрядом) число обнаруживаемых ошибок четных кратностей d постоянно при $w_i \geq d$;

6) для данной длины информационного вектора m коды с одним взвешенным разрядом с четными значениями w_i имеют одинаковое количество искажений четных кратностей d .

Анализ характеристических таблиц показывает, что все перечисленные свойства сохраняются для взвешенных кодов с суммированием с любой длиной информационных векторов.

3 О синтезе тестеров кодов с суммированием

Важным блоком системы функционального контроля является тестер: он отвечает за контроль технического состояния всех состав-

ТАБЛИЦА 4. Характеристики $WS(8,4)$ -кодов

Последовательность весовых коэффициентов	Распределения необнаруживаемых ошибок по кратностям d								N_m	γ	ξ
	1	2	3	4	5	6	7	8			
1,1,1,1,1,1,1,1	0	3584	0	6720	0	2240	0	70	12614	0,1932	0,3044
1,1,1,1,1,1,1,2	0	2688	1344	3360	2240	560	420	0	10612	0,1626	0,3619
1,1,1,1,1,1,1,3	0	2688	0	4480	0	1400	0	42	8610	0,1319	0,446
1,1,1,1,1,1,1,4	0	2688	0	3360	560	560	168	0	7336	0,1124	0,5234
1,1,1,1,1,1,1,5	0	2688	0	3360	728	0	14	0	6790	0,104	0,5655
1,1,1,1,1,1,1,6	0	2688	0	3360	0	560	28	0	6636	0,1017	0,5787
1,1,1,1,1,1,1,7	0	2688	0	3360	0	560	0	2	6610	0,1013	0,5809
1,1,1,1,1,1,1,8	0	2688	0	3360	0	560	0	0	6608	0,1012	0,5811
1,1,1,1,1,1,2,2	0	2048	1920	2400	1920	920	120	52	9380	0,1437	0,4094
1,1,1,1,1,1,2,3	0	1920	1344	2080	1920	320	324	0	7908	0,1211	0,4856
1,1,1,1,1,1,2,4	0	1920	960	1920	1200	560	84	32	6676	0,1023	0,5752
1,1,1,1,1,1,2,5	0	1920	960	1440	1280	128	180	0	5908	0,0905	0,65
1,1,1,1,1,1,2,6	0	1920	960	1440	960	200	64	12	5556	0,0851	0,6911
1,1,1,1,1,1,2,7	0	1920	960	1440	960	80	84	0	5444	0,0834	0,7054
1,1,1,1,1,1,3,3	0	2048	0	3680	0	1280	0	42	7050	0,108	0,5447
1,1,1,1,1,1,3,4	0	1920	384	2080	1200	320	264	0	6168	0,0945	0,6226
1,1,1,1,1,1,3,5	0	1920	0	2560	0	848	0	30	5358	0,0821	0,7167
1,1,1,1,1,1,3,6	0	1920	0	2080	320	320	124	0	4764	0,073	0,806
1,1,1,1,1,1,4,4	0	2048	0	2400	480	800	48	40	5816	0,0891	0,6602
1,1,1,1,1,1,4,5	0	1920	384	1440	1200	128	264	0	5336	0,0817	0,7196
1,1,1,1,1,2,2,2	0	1664	1920	2400	1440	840	240	0	8504	0,1303	0,4516
1,1,1,1,1,2,2,3	0	1408	1920	1600	1600	720	88	40	7376	0,113	0,5206
1,1,1,1,1,2,2,4	0	1408	1344	1760	1040	600	160	0	6312	0,0967	0,6084
1,1,1,1,1,2,2,5	0	1408	1280	1280	960	528	40	24	5520	0,0846	0,6957
1,1,1,1,1,2,2,6	0	1408	1280	1120	800	360	80	0	5048	0,0773	0,7607
1,1,1,1,1,2,3,3	0	1408	1280	1760	1600	320	268	0	6636	0,1017	0,5787
1,1,1,1,1,2,3,4	0	1280	1280	1280	1360	520	84	32	5836	0,0894	0,658
1,1,1,1,1,2,3,5	0	1280	1024	1120	1280	208	204	0	5116	0,0784	0,7506
1,1,1,1,1,2,4,4	0	1408	640	1760	800	560	160	0	5328	0,0816	0,7207
1,1,1,1,2,2,2,2	0	1536	1536	2496	1408	624	192	44	7836	0,12	0,49
1,1,1,1,2,2,2,3	0	1152	1920	1760	1248	648	208	0	6936	0,1063	0,5536
1,1,1,1,2,2,2,4	0	1152	1344	1824	1072	456	144	32	6024	0,0923	0,6375
1,1,1,1,2,2,2,5	0	1152	1152	1632	736	456	144	0	5272	0,0808	0,7284
1,1,1,1,2,2,3,3	0	1024	1792	1440	1280	664	72	36	6308	0,0966	0,6088
1,1,1,1,2,2,3,4	0	896	1600	1376	1040	536	160	0	5608	0,0859	0,6847

ляющих системы диагностирования. Теория синтеза тестеров кодов с суммированием разработана достаточно хорошо [3, 9, 22]. Тестер любого разделимого кода удобно строить по структуре, включающей в себя два модуля: генератор и компаратор [9]. Генератор по значениям рабочих функций блока $f(x)$ вычисляет контрольный вектор $\langle g'_1, g'_2, \dots, g'_k \rangle$, а компаратор сравнивает его с контрольным вектором от блока $g(x)$ (рис. 2).

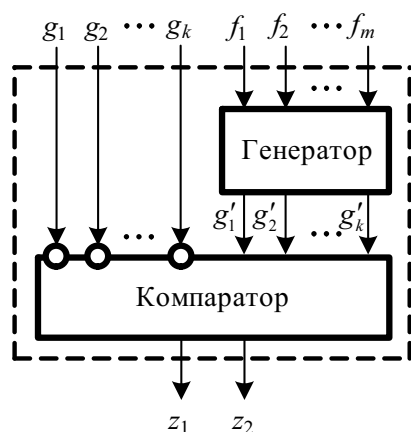


Рис. 2. Структура тестера

Компараторы строятся по каскадному принципу соединения модулей сравнения парафазных сигналов, что подробно описано в [9]. Кроме того, все компараторы одинаковы для кодов с одинаковым количеством контрольных разрядов.

Генератор представляет собой сумматор весовых коэффициентов. Его целесообразно строить на базе стандартных модулей сложения двоичных чисел: сумматора (FA), полусумматора (HA) и сумматора по модулю два (XOR) [22]. На рис. 3 показаны условные обозначения функциональных блоков, из которых строится генератор.

Сумматор имеет три входа – x_1, x_2, x_3 – и два выхода – S (сумма) и C (перенос). Сумматор вычисляет сумму единичных значений на входах в соответствии с уравнениями: $S = x_1 \oplus x_2 \oplus x_3$ и $C = x_1 x_2 \vee x_1 x_3 \vee x_2 x_3$. В отличие от полного сумматора полусумматор имеет два входа – x_1, x_2 – и два выхода – S и C . Функции S и C вычисляются по правилам:

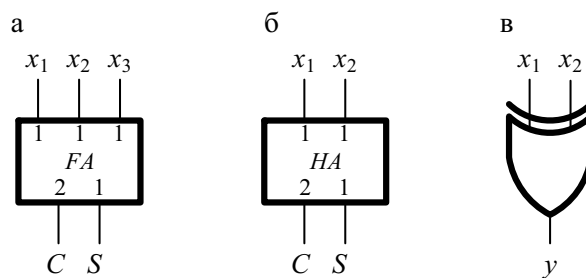


Рис. 3. Типовые функциональные элементы:
а) сумматор; б) полусумматор;
в) сумматор по модулю два

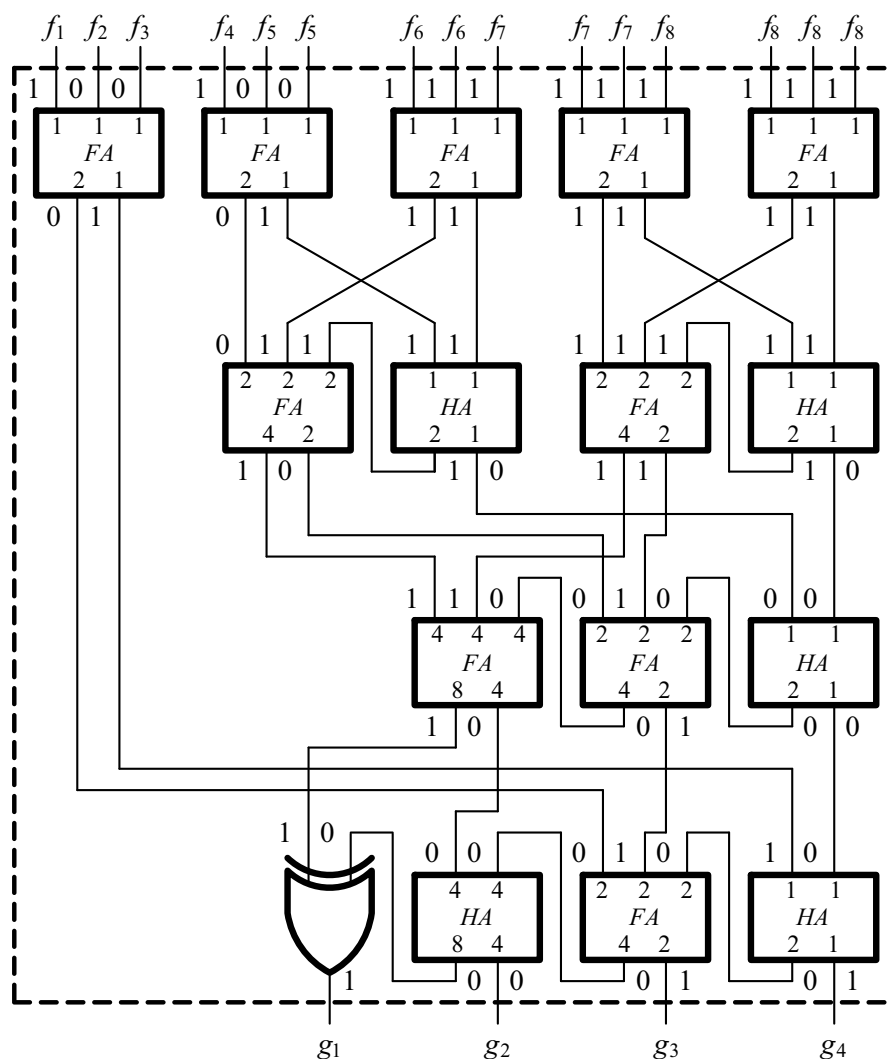
$S = x_1 \oplus x_2$ и $C = x_1 x_2$. Используя только эту элементную базу, можно синтезировать любые генераторы взвешенных кодов.

Принцип построения генераторов следующий: значение одного информационного разряда подается на w_i входов генератора. Другими словами, генератор будет иметь количество входов, равное максимальному суммарному весу информационного вектора.

Например, на рис. 4 приводится схема генератора $WS(8,4)$ -кода с последовательностью весовых коэффициентов $[1, 1, 1, 1, 2, 2, 3, 4]$. На рис. 4 показаны сигналы каждой линии генератора при поступлении входного вектора $\langle 10010111 \rangle$.

Генераторы взвешенных кодов с суммированием, построенные по описанному методу, более сложны в технической реализации, чем генераторы классических кодов с суммированием при одинаковой длине информационных векторов. Для построения генератора $WS(8,4)$ -кода потребовалось 10 полных сумматоров, 5 полусумматоров и 1 сумматор по модулю два. Для сравнения: структура генератора классического $S(8,4)$ -кода содержит 4 полных сумматора и 4 полусумматора.

При построении генераторов взвешенных кодов с суммированием можно учитывать вес информационного разряда и его способность в зависимости от значения (0 или 1) принимать только два возможных варианта веса – 0 или w_i . Это может существенно сократить сложность генератора при оптимизации структуры. Например, на рис. 5 показана упрощенная структура рассмотренного выше генератора

Рис. 4. Генератор тестера $WS(12,8)$ -кода

$WS(8,4)$ -кода с последовательностью весовых коэффициентов $[1,1,1,1,2,2,3,4]$. При упрощении структуры генератора мы воспользовались следующими соображениями:

1) седьмой разряд в суммарный вес может давать либо 0, либо 3 (в двоичном виде – 000 или 011),

2) восьмой разряд в суммарный вес может давать либо 0, либо 4 (в двоичном виде – 000, либо 100);

3) сумма веса седьмого и восьмого разрядов может быть равна 0, 3, 4 или 7;

4) из п. 3 следует, что двоичное число, характеризующее сумму весов седьмого и восьмого разрядов, будет иметь вид: $\langle f_8 f_7 f_7 \rangle$.

С учетом этих соображений можно удалить из структуры генератора сумматор весов седьмого и восьмого разрядов. Таким образом, из схемы генератора полностью удаляются три полных сумматора и один полусумматор, а один полный сумматор меняется на полусумматор (сравните рис. 4 и 5).

Возможна и дальнейшая минимизация числа элементов в структуре генератора: учет того, что вес пятого и шестого разрядов вносят в суммарный вес либо 0, либо 2 (рис. 6).

Сформулируем последовательность действий по оптимизации структуры генератора кода с суммированием взвешенных информационных разрядов.

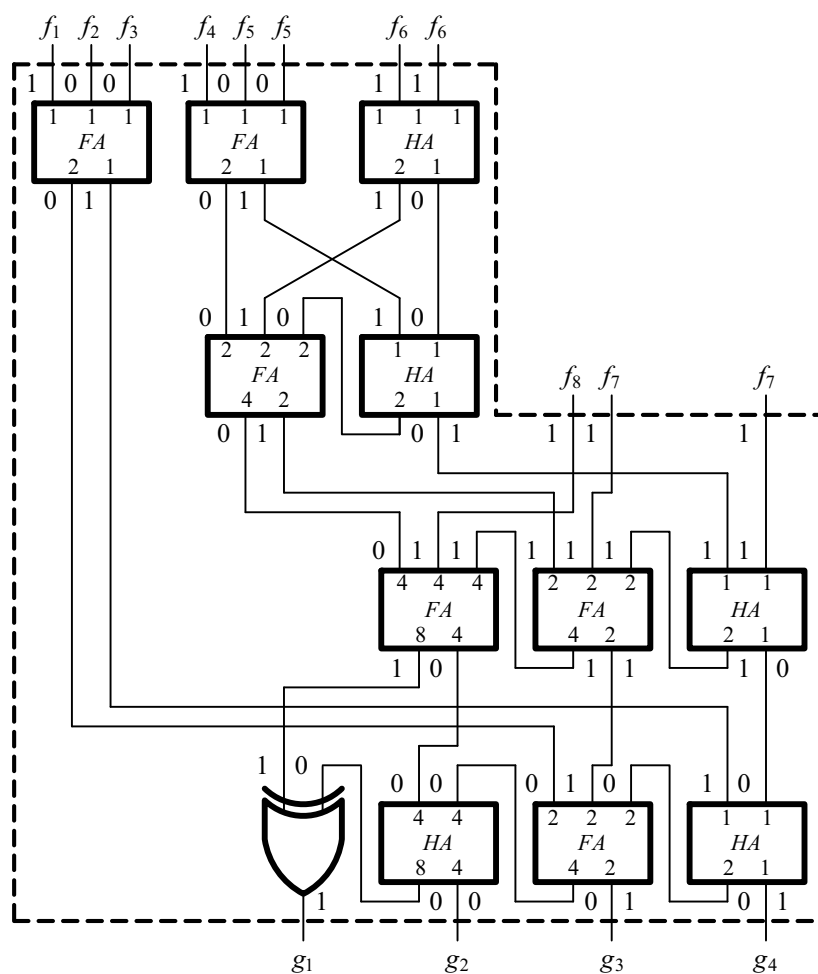


Рис. 5. Генератор тестера $WS(8,4)$ -кода с упрощенной структурой

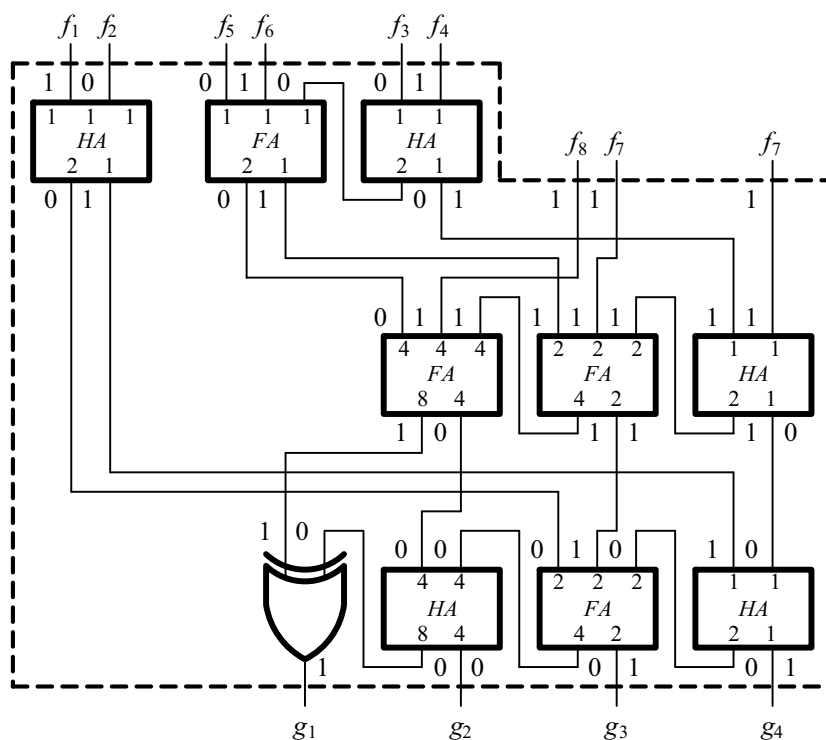


Рис. 6. Генератор тестера $WS(8,4)$ -кода с оптимизированной структурой

Алгоритм 2. Минимизация числа элементов в структуре генератора $WS(m,k)$ -кода.

1. Строится генератор $WS(m,k)$ -кода как сумматор $W_{\max}$ единиц, где $W_{\max}$ – суммарный вес всех информационных разрядов;

2. Определяются группы разрядов, суммарный вес которых позволяет использовать операцию сокращения элементов суммирования за счет представления весовых коэффициентов в двоичном виде;

3. Упрощается структура генератора.

Алгоритм 2 применим к генераторам любых $WS(m,k)$ -кодов, при этом он дает наилучший результат при примерно одинаковом количестве нечетных и четных весовых коэффициентов информационных разрядов.

Заключение

Показано, что взвешенные коды с суммированием обладают улучшенными характеристиками по обнаружению ошибок в информационных векторах в сравнении с классическими кодами с суммированием единичных информационных разрядов [3, 9, 22]. Особенно важна возможность обнаружения большего количества двукратных искажений, так как в практических задачах такие искажения более вероятны, чем искажения больших кратностей. Кроме того, взвешенные коды с суммированием обнаруживают 100 % монотонных ошибок в информационных векторах, что позволяет применять их во многих практических задачах, где используются классические коды Бергера. Например, известные модульные и модифицированные коды с суммированием единичных информационных разрядов не обнаруживают часть монотонных искажений, что ограничивает их применение в задачах построения надежных дискретных устройств [23, 24].

В заключение отметим, что приведенные здесь новые свойства взвешенных кодов с суммированием на практике позволяют выбирать наилучший вариант кодирования при организации системы функционального кон-

троля логических устройств автоматики и вычислительной техники с учетом особенностей их структур. Кроме того, обоснованный выбор кода за счет установленных особенностей взвешенных кодов в некоторых случаях позволяет снизить и сложность контрольной части системы функционального контроля.

Библиографический список

1. Theeg G., Vlasenko S. Railway Signalling & Interlocking // DW Media Group GmbH. – 1st ed. – Eurailpress, Hamburg, 2009. – 448 p.
2. Kharchenko V. Evolution of von Neumann's Paradigm: Safe and Green Computing // Proceedings of 11th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2013), Rostov-on-Don, Sept. 27–30. – Rostov-on-Don, 2013. – P. 493–494.
3. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы / Е. С. Согомонян, Е. В. Слабаков. – М. : Радио и связь, 1989. – 208 с.
4. Проектирование и тестирование цифровых систем на кристаллах / В. И. Хаханов, Е. И. Литвинова, О. А. Гузь. – Харьков : ХНУРЭ, 2009. – 484 с.
5. Nicolaidis M., Zorian Y. On-Line Testing for VLSI – A Compendium of Approaches // J. Electronic Testing : Theory and Applications. – 1998. – N 12. – P. 7–20.
6. Dutta A., Touba N.A. Synthesis of Non-Intrusive Concurrent Error Detection Using an Even Error Detection Function // Int. test conf. (ITC). – 2005. – P. 1059–1066.
7. Обеспечение тестируемости задержек путей при синтезе схем покрытием BDD-графов / А. Ю. Матросова, Д. В. Кудин, Е. А. Николаева, Е. В. Румянцева // Вестн. Томск. гос. ун-та. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2013. – № 2. – С. 130–139.
8. Синтез логических схем, контролепригодных относительно неисправностей задержек путей / А. Ю. Матросова, Е. А. Николаева, Е. В. Румянцева // Изв. вузов. Физика. – 2012. – Т. 55, № 11. – С. 114–116.
9. Самопроверяемые дискретные устройства / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 224 с.

10. **О свойствах** кода с суммированием в схемах функционального контроля / Д. В. Ефанов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2010. – № 6. – С. 155–162.
11. **Berger J. M.** A Note on Error Detecting Codes for Asymmetric Channels // Inf. and Control. – 1961. – Vol. 4, N 1. – P. 68–73.
12. **Freiman C. V.** Optimal Error Detection Codes for Completely Asymmetric Binary // Inf. and Control. – 1962. – Vol. 5, is. 1. – P. 64–71.
13. **Построение** модифицированного кода Бергера с минимальным числом необнаруживаемых ошибок информационных разрядов / А. А. Блюдов, Д. В. Ефанов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Электронное моделирование. – 2012. – Т. 34, № 6. – С. 17–29.
14. **Das D.,** Touba N. A. Synthesis of Circuits with Low-Cost Concurrent Error Detection Based on Bose-Lin Codes // J. of Electronic Testing : Theory and Applications. – 1999. – Vol. 15, is. 1/2 (Aug.–Oct.). – P. 145–155.
15. **Коды** с суммированием для организации контроля комбинационных схем / А. А. Блюдов, Д. В. Ефанов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2013. – № 6. – С. 153–164.
16. **О кодах** с суммированием единичных разрядов в схемах функционального контроля / А. А. Блюдов, Д. В. Ефанов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2014. – № 8. – С. 131–145.
17. **Morosow A.,** Sapozhnikov V. V., Sapozhnikov V. V., Goessel M. Self-Checking Combinational Circuits with Unidirectionally Independent Outputs // VLSI Design. – 1998. – Vol. 5, is. 4. – P. 333–345.
18. **Das D.,** Touba N. A., Seuring M., Gossel M. Low Cost Concurrent Error Detection Based on Modulo Weight-Based Codes // Proceedings of IEEE 6th Int. On-Line Testing Workshop (IOLTW), Spain, Palma de Mallorca, July 3–5, 2000. – Palma de Mallorca, 2010. – P. 171–176.
19. **Das D.,** Touba N. A. Weight-Based Codes and their Application to Concurrent Error Detection of Multilevel Circuits // Proc. 17th IEEE Test Symp., California, USA. – California, 1999. – P. 370–376.
20. **Метод** построения кода Бергера с повышенной эффективностью обнаружения ошибок в информационных разрядах / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, Д. А. Никитин // Электронное моделирование. – 2013. – Т. 35, № 4. – С. 21–34.
21. **Взвешенные** коды с суммированием для организации контроля логических устройств / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Электронное моделирование. – 2014. – Т. 36, № 1. – С. 59–80.
22. **Piestrak S. J.** Design of Self-Testing Checkers for Unidirectional Error Detecting Codes. – Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 1995. – 111 p.
23. **Sapozhnikov V.,** Sapozhnikov V. V., Efanov D., Blyudov A. On the Synthesis of Unidirectional Combinational Circuits Detecting All Single Faults // Proceedings of 12th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTS'2014), Kyev, Ukraine, Sept. 26–29, 2014. – Kyev, 2014. – P. 116–125.
24. **Об использовании** свойств кодов с суммированием по обнаружению монотонных ошибок в системах функционального контроля комбинационных схем / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Вестн. Томск. гос. ун-та. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2014. – № 3. – С. 76–88.

УДК 624.01

С. М. ТравинПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖЕСТКОСТИ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ
НА ИНТЕНСИВНОСТЬ КОЛЕБАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ХРАНИЛИЩА ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА
ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

«Мокрые» хранилища для долгосрочного хранения отработавшего ядерного топлива – это сооружения, представляющие высокую потенциальную опасность, следовательно, их сейсмостойкость является важным и актуальным вопросом. Такие хранилища состоят из жесткой нижней части и гибкого каркасного верха, который наиболее уязвим для землетрясения. В данной работе приведены результаты исследования влияния жесткости грунтового основания на интенсивность колебаний каркасной части «мокрого» хранилища отработавшего ядерного топлива реакторов ВВЭР-1000 при сейсмическом воздействии. Исследование выполнено с использованием численных методов анализа и метода конечных элементов, программных комплексов ABAQUS и SCAD. Рассматривались колебания каркасной части в поперечном и в вертикальном направлениях (в продольном направлении рамы раскреплены жестким диском ограждающих конструкций). Было установлено, что жесткость основания существенно влияет на интенсивность колебаний каркаса лишь в вертикальном направлении. В поперечном направлении влияние оказалось не столь существенным.

отработавшее ядерное топливо, хранилище отработавшего ядерного топлива, землетрясение, сейсмостойкость, грунтовое основание, жесткость грунтового основания, интенсивность колебаний строительных конструкций.

Введение

Необходимость развития атомной энергетики очевидна. Ученые спрогнозировали, что мировые запасы органических видов топлива могут иссякнуть уже в обозримом будущем. Комплекс процессов, связанных с получением ядерной энергии называется ядерным топливным циклом (ЯТЦ) [1]. Завершающей стадией ЯТЦ является долгосрочное хранение отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), признанного одним из наиболее опасных материалов на Земле [2].

Для долгосрочного хранения ОЯТ используют специальные инженерные сооружения – хранилища отработавшего ядерного топлива (ХОЯТ), среди которых выделяют «мокрые» и «сухие». Конструктивной особенностью почти

всех «мокрых» ХОЯТ для долгосрочного хранения является наличие жесткой, практически недеформируемой нижней части и гибкого каркасного верха. Эти объекты чрезвычайно опасны: серьезная авария на них способна привести к глобальной техногенной катастрофе. Одной из причин такой аварии может стать обрушение строительных конструкций каркасной части хранилища в результате землетрясения.

Общеизвестно, что на характер колебаний строительных конструкций при землетрясении существенно влияют грунтовые условия. Цель настоящей работы – изучение влияния жесткости грунтового основания на интенсивность колебаний каркасной части «мокрых» ХОЯТ

при сейсмическом воздействии. В качестве объекта исследования выбран отсек хранения «мокрого» ХОЯТ реакторов ВВЭР-1000.

1 Строительные конструкции объекта исследования

Строительные конструкции отсека хранения «мокрого» ХОЯТ ВВЭР-1000 можно условно разделить на 2 части: жесткий монолитный бассейн, в котором непосредственно хранится топливо, и гибкий каркас, ограждающий бассейн от окружающей среды (рис. 1). Размеры сооружения в плане – 48×30 м; высота 16,2 м.

Монолитный железобетонный бассейн разделен на четыре участка и транспортный коридор. Стены и днище бассейна облицованы нержавеющей сталью. Толщина элементов строительных конструкций:

- днище и поперечные стены 1000 мм;
- наружная стена транспортного коридора 1500 мм;
- внутренняя стена транспортного коридора 2000 мм;
- наружная стена отсека хранения 1100 мм.

Выше бассейнов хранения сооружение однопролетное каркасное. Основными несущими конструкциями являются рамы, состо-

ящие из железобетонных колонн сечением 400×400 мм высотой 6 м, на которые шарнирно опираются стальные фермы покрытия. Колонны жестко заделаны в строительные конструкции монолитной части.

Ограждающие конструкции – керамзитобетонные панели толщиной 400 мм, покрытие – сборные ребристые железобетонные плиты пролетом 12 м и 6 м, кровля плоская рулонная.

2 Исходные данные

Для оценки интенсивности колебаний каркасной части сооружения построены поэтажные спектры ответа (ПСО) в точках крепления колонн каркаса. При помощи многоцелевого конечноэлементного комплекса ABAQUS CAE создана математическая модель бассейна хранения (рис. 2). Каркасная часть сооружения в данной модели учитывалась с помощью задания инерционных масс. Принята декартова система координат, при этом ось X направлена вдоль сооружения, ось Z – поперек, ось Y – по высоте.

Грунтовое основание моделировали пружинами, динамические характеристики которых вычисляли по выражениям, приведенным в [3, 4]. Рассмотрены пять типов осно-

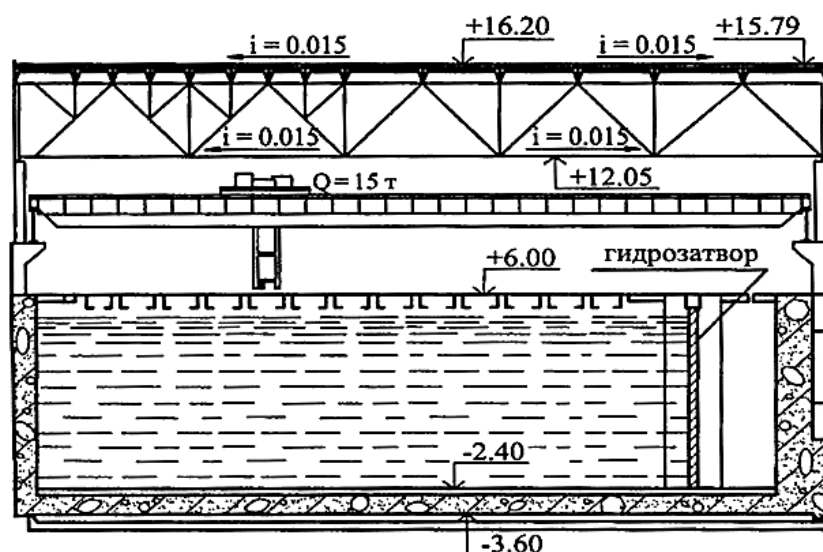


Рис. 1. Поперечный разрез объекта исследования

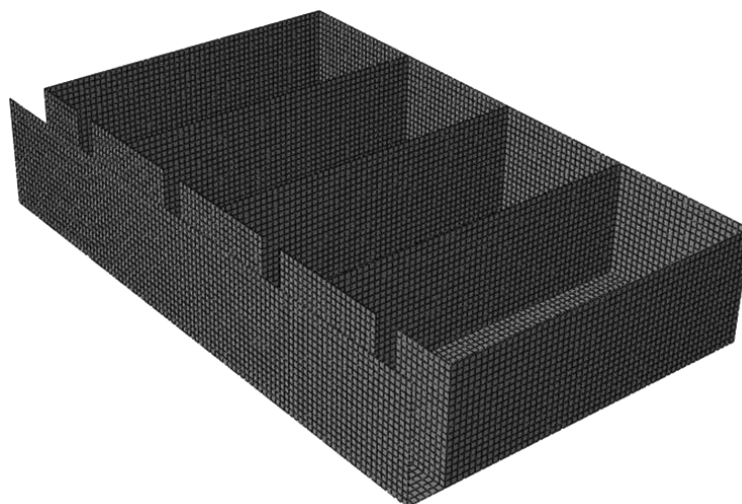


Рис. 2. Расчетная модель бассейна хранения

вания: от слабого (грунт 1) с модулем сдвига $6,5 \cdot 10^7$ Н/м², что может соответствовать влажным пластичным глинистым грунтам [5], до несжимаемого скального. Характеристики рассмотренных типов основания приведены в табл. 1. Отметим, что наиболее близким к реальным грунтовым условиям объекта исследования является именно грунт 1.

В качестве исходного сейсмического воздействия использована трехкомпонентная синтезированная запись [6], горизонтальные компоненты которой масштабированы к максимальному ускорению 2 м/с², а вертикальная – к 1,33 м/с², т.е. моделировалось сейсмическое воздействие интенсивностью 8 баллов по шкале MSK-64. Спектры ускорений, соответствующие принятому воздействию приведены на рис. 3.

Расчеты выполняли методом модальной суперпозиции с заданием демпфирования по формам.

Для определения динамических характеристик гибкой части сооружения при помощи проектно-вычислительного комплекса SCAD OFFICE создана расчетная модель поперечной рамы каркаса. Использовались стержневые конечные элементы.

3 Результаты исследования

На первом этапе вычисляли собственные частоты и формы колебаний железобетонной части сооружения при различных грунтовых условиях. Установлено, что основной вклад по модальным массам вносили формы колебания сооружения на грунте (рис. 4; табл. 2).

Далее построены ПСО в точках крепления колонн каркасной части сооружения. Результаты исследования показали, что ПСО действительно сильно зависят от жесткости грунтового основания. На рис. 5 в качестве примера при-

ТАБЛИЦА 1. Характеристики грунтового основания

Тип грунта	Модуль сдвига, Н/м ²	Плотность, т/м ³	Коэффициент Пуассона
Грунт 1	$6,5 \cdot 10^7$	2	0,4
Грунт 2	$2,16 \cdot 10^8$	2	0,4
Грунт 3	$7,2 \cdot 10^8$	2	0,4
Грунт 4	$2,4 \cdot 10^9$	2	0,4
Грунт 5 (скала)	∞	—	—

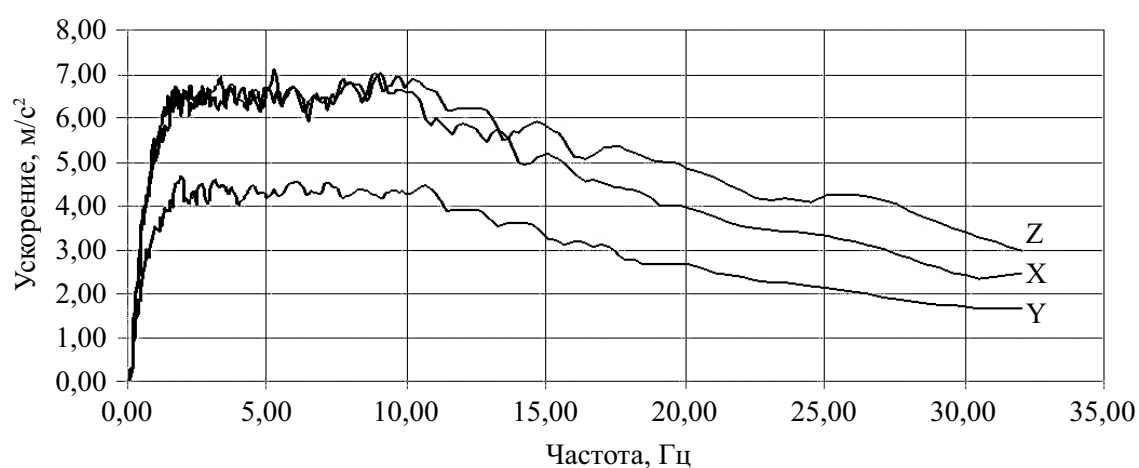


Рис. 3. Исходные спектры ответа принятого воздействия (демпфирование 5 %)

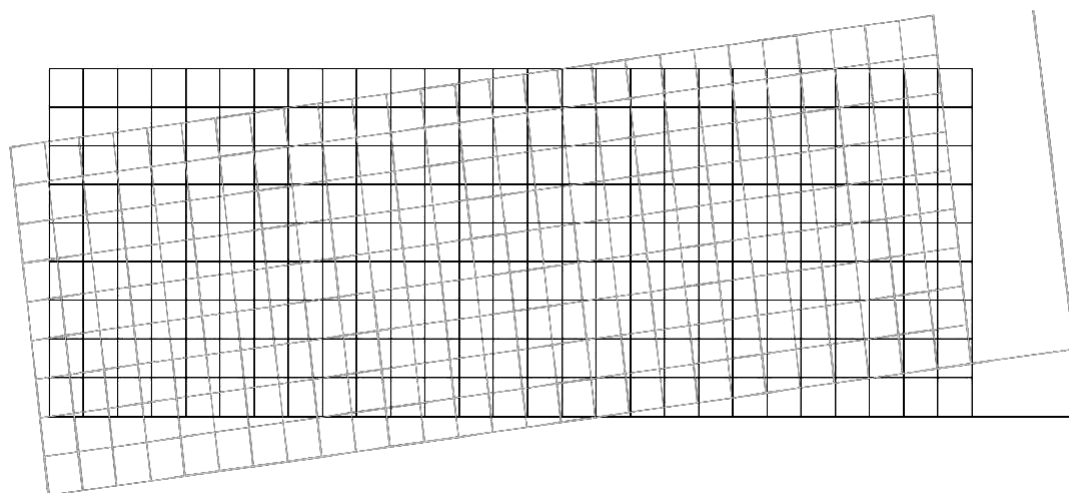


Рис. 4. Форма колебания сооружения на грунте в поперечном направлении

ТАБЛИЦА 2. Зависимость частот определяющих форм собственных колебаний бассейна на грунте от жесткости основания

№ грунта	Модуль сдвига, Н/м ²	Частота, вносящая наибольший вклад по модальным массам в поперечном направлении, Гц	Частота, вносящая наибольший вклад по модальным массам в вертикальном направлении, Гц
1	$6,5 \cdot 10^7$	1 форма (2,46)	6 форма (3,03)
2	$2,16 \cdot 10^8$	1 форма (4,48)	6 форма (5,52)
3	$7,2 \cdot 10^8$	1 форма (8,17)	6 форма (10,07)
4	$2,4 \cdot 10^9$	1 форма (15,02)	6 форма (18,39)
5 (скала)	∞	—	—

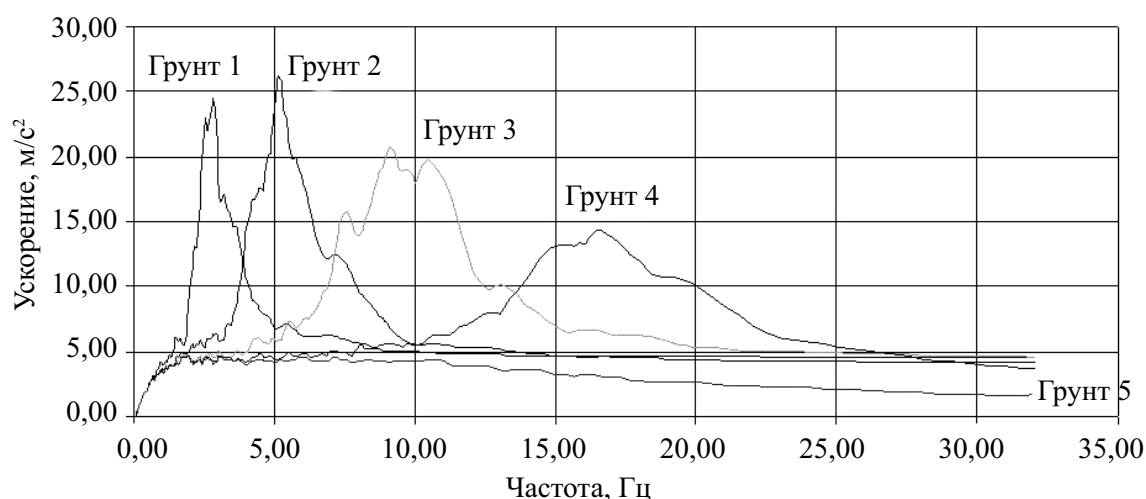


Рис. 5. Вертикальные ПСО в точках крепления колонн (демпфирование 5 %)

ведено семейство спектров, наглядно демонстрирующее эту зависимость. Отметим, что похожие результаты получил А. В. Петренко, изучавший интенсивность вынужденных колебаний конструкций реакторного отделения АЭС [7].

Следующим шагом вычисляли динамические характеристики гибкой части сооружения. Основной вклад по модальным массам в поперечном направлении вносила форма частотой 0,57 Гц, в вертикальном направлении — частотой 2,5 Гц. Продольное направление не рассматривали, так как рамы каркаса раскре-

плены жестким диском стеновых ограждающих конструкций.

На рис. 6 приведены ответные ускорения каркаса в вертикальном и поперечном направлениях. По значениям этих ускорений можно судить о величине сейсмической нагрузки на строительные конструкции каркаса (интенсивности колебаний каркаса).

Результаты показали, что из-за очень низкой определяющей частоты (0,57 Гц) жесткость грунтового основания практически не влияла на сейсмические нагрузки, действующие на каркас в поперечном направлении.

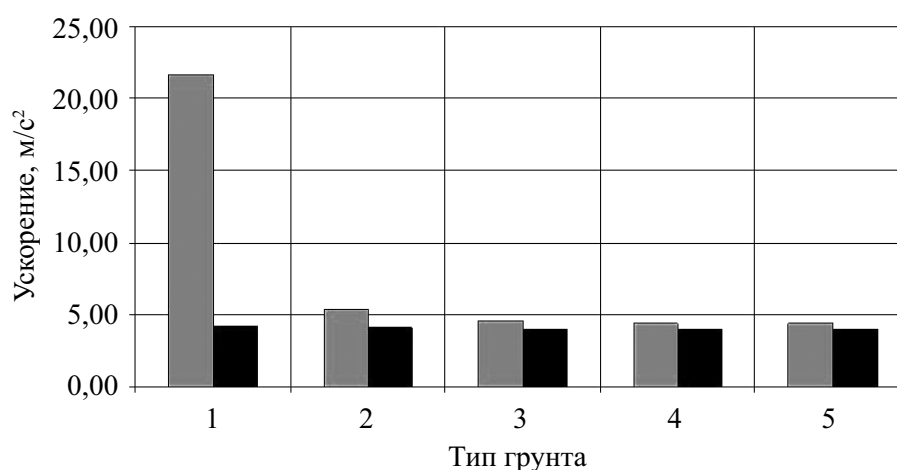


Рис. 6. Ответные ускорения каркасной части сооружения в вертикальном (светлые столбики) и в поперечном (темные столбики) направлении

Однако в вертикальном направлении влияние оказалось существенным. Максимальное ускорение ($21,7 \text{ м/с}^2$) наблюдалось при наиболее мягком грунте (грунт 1). При увеличении жесткости основания ускорения резко уменьшались (в 4 раза). Дальнейшее повышение жесткости грунта привело к незначительному последовательному снижению интенсивности вертикальных колебаний каркаса.

Заключение

Таким образом, жесткость основания существенно влияет на интенсивность колебаний каркаса объекта исследования лишь в вертикальном направлении, причем наиболее интенсивные колебания происходят, если основанием служит мягкий грунт (грунт 1), с увеличением жесткости грунта ответные ускорения существенно уменьшаются. Можно сделать следующие выводы:

- при мягком грунте (грунт 1) наиболее уязвимой для землетрясения частью каркаса объекта исследования станут фермы покрытия, которые могут испытать перегрузку более $2g$;
- так как наиболее близким к реальным грунтовым условиям объекта исследования является именно грунт 1, для повышения сейсмостойкости сооружения рекомендуется усилить грунтовое основание (например, цементацией и т. п.);
- при проектировании сейсмостойких сооружений, имеющих схожие конструктивные особенности, следует выбирать площадку строительства, сложенную жесткими грунта-

ми, при отсутствии такой возможности искусственно увеличивать жесткость основания.

Несмотря на то что исследование выполнено на примере конкретного сооружения, полученные результаты носят качественный характер и могут быть актуальны как для других «мокрых» ХОЯТ, так и для строений, имеющих схожие конструктивные особенности.

Библиографический список

1. **Радиохимическая** переработка ядерного топлива АЭС / В. И. Землянухин, Е. И. Ильенко, А. Н. Кондратьев и др. – М. : Энергоатомиздат, 1983.
2. **United States Government Accountability Office**, Commercial Spent Nuclear Fuel, Observations and Key Attributes and Challenges of Storage and Disposal Options, Apr. 11, 2013. – Р. 1.
3. **Нормы** проектирования атомных станций на сейсмостойкость : методич. рекомендации МР 1.5.2.05.999.0027-2011. – М. : Концерн Росэнергоатом, 2011.
4. **Расчет** конструкций на сейсмостойкость / А. Н. Бирбраер. – СПб. : Наука, 1998.
5. **Методические** рекомендации по определению динамических свойств грунтов, скальных пород и местных строительных материалов. П 01-72. – СПб. : ВНИИГ им. Веденеева, 1972.
6. **Нормы** проектирования сейсмостойких атомных станций. НП-031-01. – М., 2001.
7. **Динамика** сооружений и оборудования АЭС при экстремальных внешних воздействиях : автореф. дис. ... канд. тех. наук / А. В. Петренко. – СПб., 2005.

УДК 004.057.3

В. В. Яковлев, Ф. И. КушназаровПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОМЕХ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ
ПРОТОКОЛОВ КАНАЛЬНОГО УРОВНЯ**

При разработке методик оценки производительности протоколов канального уровня предполагалась изоляция каналов передачи данных от различных помех. В данной работе учтены влияние помех повторной передачи кадра в канале и зависимость размера кадра на вероятность появления ошибки в кадрах и число попыток до успешной передачи кадра. Рассмотрены математическое ожидание числа попыток до первой успешной доставки кадра, зависимость реальной производительности указанных протоколов в условиях действия помех для различных технологий доступа в моноканал.

протоколы канального уровня, производительность, реальная скорость канала, утилизация канала, помехи, компьютерные сети.

Введение

В компьютерных сетях различного назначения, особенно в промышленных сетях на надежность доставки сообщения значительно влияют разнообразные помехи (атмосферные, промышленные, организованные, перекрестные и др.).

**1 Подходы к оценке
производительности
протоколов канального
уровня****1.1 Традиционные подходы**

Традиционные подходы к оценке производительности протоколов канального уровня основаны на учете таких показателей, как максимальная пропускная способность сети, влияние номинальной пропускной способности, влияние длины информационного кадра, влияние номинального времени доступа к среде [1].

1.2 Утилизация канала

Введено понятие утилизации канала, учитывающие временные издержки [2]. Утилизация канала U представляет собой отношение

$$U = \frac{T_F}{T_F + T_{ACK}},$$

где T_F – время передачи кадра (фрейма) по каналу; T_{ACK} – время доставки подтверждения от приемника к передатчику.

Заметим, что адрес назначения в поле кадра имеет локальный смысл для данной сети и не изменяется при прохождении кадра от узла источника к узлу назначения. Возможность передавать данные между локальными сетями разных технологий связана с тем, что в большинстве случаев в этих технологиях используются адреса одинакового формата, к тому же производители сетевых адаптеров обеспечивают уникальность адресов независимо от технологии.

В других работах, например [3], авторы при оценке производительности протоколов канального уровня обращают внимание на метод доступа к среде передачи, режим доступа, влияние аппаратных составляющих (размер буфера, скорость обработки кадра, производительность процессора в коммуникационных устройствах и пр.).

Рассмотрим функционирование протоколов канального уровня применительно к связям типа «точка – точка», когда протокол ответствен за доставку кадра непосредственному соседу. В этом случае на первый план выходит способность протокола восстанавливать искаженные и утерянные кадры, так как плохое качество территориальных каналов, особенно коммутируемых телефонных, беспроводных и спутниковых, часто требует выполнения подобных действий.

2 Влияние помех на повторной отправке кадров в канале

Оценим влияние помех на производительность рассматриваемых протоколов. В отсутствие помех, например, для технологии Ethernet, с номинальной скоростью передачи данных 10 Мб/с при передаче кадра размером 10^3 бит информация передается от отправителя к получателю за 10^{-4} с. В случае регистрируемой получателем ошибки в кадре отправителю направляется запрос на повторную передачу кадра, и если кадр будет успешно передан на этой попытке, то время отправки составит уже не 10^{-4} с, а вдвое больше. Если таких попыток совершается k раз, то, соответственно, время доставки составит $k \cdot 10^{-4}$ с.

Вероятность успешной передачи кадра в i -й попытке

$$q_i = 1 - q^i,$$

где q – вероятность искажения кадра; $q = 1 - (1 - e)^N$; N – длина кадра в битах; e – вероятность битовых ошибок в канале.

Определим число попыток повторной передачи кадра, на котором достигается заданная вероятность его успешной передачи:

$$P_{\text{зад}} = 1 - q^i,$$

откуда

$$m = \frac{\lg(1 - P_{\text{зад}})}{\lg q}.$$

Математическое ожидание числа попыток до первой успешной доставки кадра (рис. 1)

$$M(i) = \sum_{i=1}^{\infty} p_i \cdot i,$$

где i – номер попытки; p_i – вероятность доставки неискаженного кадра на i -й попытке; p – вероятность доставки неискаженного кадра, $p = 1 - q$.

$$M(i) = \frac{p}{(1 - q)^2} = \frac{1}{p}, \quad (1)$$

что определяет жесткую зависимость производительности протокола от уровня помех в канале.

На рис. 1 и по расчетам формулы (1) видно, что при $e = 10^{-3}$ с увеличением размера кадра количество повторов увеличивается до 5. При $e = 10^{-6}$ количество повторов кадра – до 2. Если в расчетах принимать канал с $e = 10^{-2}$, то количество повторов резко увеличивается: с размера 500 байт их число превышает сотню.

3 Реальная скорость канала передачи данных на канальном уровне

В условиях зашумленности канала для оценки времени передачи N бит введем реальную скорость передачи данных – V . Она зависит от таких параметров, как N (бит) – длина кадра; C (бит) – число проверочных

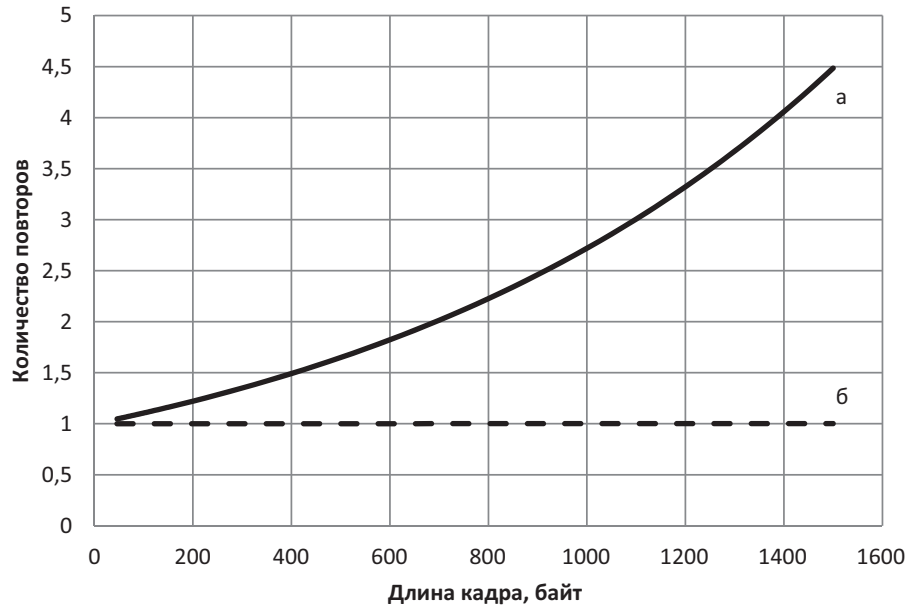


Рис. 1. Математическое ожидание числа попыток до первой успешной доставки кадра при $e = 10^{-3}$ (а) и $e = 10^{-6}$ (б)

битов в кадре; R (бит/с) – номинальная скорость канала; D (секунд) – задержка АСК; АСК (Acknowledgment) – положительная квитанция о получении безошибочного кадра в сети от получателя сообщения к отправителю. В данной статье в расчетах пренебрегаем задержкой на распространение сигнала в передающей среде.

T – время передачи кадра (исключая АСК)

$$T = D + \frac{N}{R};$$

V – реальная скорость передачи данных:

$$V = \frac{N - C}{T} \cdot p = \frac{N - C}{N + DR} \cdot R \cdot p = \frac{1 - \frac{C}{N}}{1 + R \frac{D}{N}} \cdot R \cdot p. \quad (2)$$

Рассмотрим приложение данного соотношения к работе реальных протоколов, работающих на канальном уровне.

Для нахождения оптимума определим производную функции (2) по N и приравняем ее к нулю:

$$V'_N = R \times \left(\frac{\frac{((1-e)^N + (N-C) \cdot (1-e)^N \times \times \ln(1-e)) \cdot (N + RD) - (N-C)(1-e)^N}{(N + R \cdot D)^2}}{(N + R \cdot D)^2} \right);$$

$$R \cdot \left(\frac{\frac{((1-e)^N + (N-C) \cdot (1-e)^N \times \times \ln(1-e)) \cdot (N + RD) - (N-C)(1-e)^N}{(N + R \cdot D)^2}}{(N + R \cdot D)^2} \right) = 0.$$

После преобразования получаем:

$$N^2 + N \cdot R \cdot D - N \cdot C - R \cdot D \cdot C + \frac{R \cdot D + C}{\ln(1-e)} = 0,$$

откуда

$$N_{1,2} = \frac{-(R \cdot D - C) \pm \sqrt{R^2 \cdot D^2 + 6 \cdot R \cdot D \cdot C + C^2 - 4 \cdot \frac{R \cdot D + C}{\ln(1-e)}}}{2}. \quad (3)$$

Для технологии Ethernet, варьируя размер кадров (рис. 2) и используя формулу (3), можем найти оптимум при $N = 161$ байт и при вероятности появления битовых ошибок в канале $e = 10^{-3}$. При $e < 10^{-3}$ оптимум находится вне пределов минимального размера кадра технологии Ethernet, а при $e < 10^{-6}$ перевешивает допустимый максимальный размер кадра.

Остальные параметры в выражении (2) определены так:

$C = 32$ бита, $R = 10$ Мб/с, $D = 0,32 \cdot 10^{-5}$ с.

Для технологии Frame Relay, где $C = 16$ бит по формуле (3), определяем оптимальное значение $N = 1051$ байт при $e = 10^{-4}$. Для других значений реальная скорость канала соответствует графикам на рис. 3. При этом $R = 34$ Мб/с, $D = 0,47 \cdot 10^{-6}$ с.

Аналогичный расчет для технологии Token Ring дает оптимум $N = 600$ байт при $e = 10^{-4}$ и $C = 32$ бита. На рис. 4 показаны зависимо-

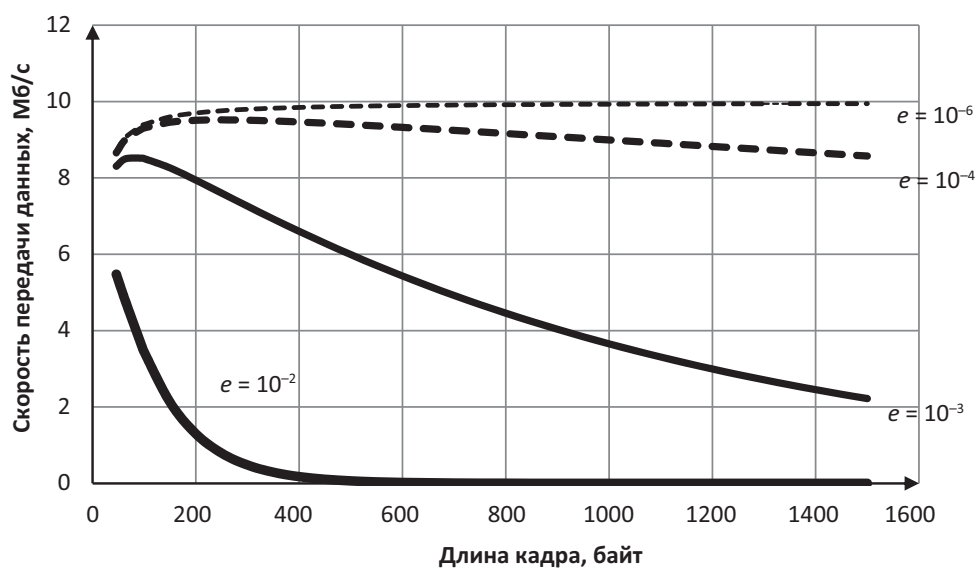


Рис. 2. Реальная скорость канала в Ethernet в зависимости от размера кадра для разных значений e

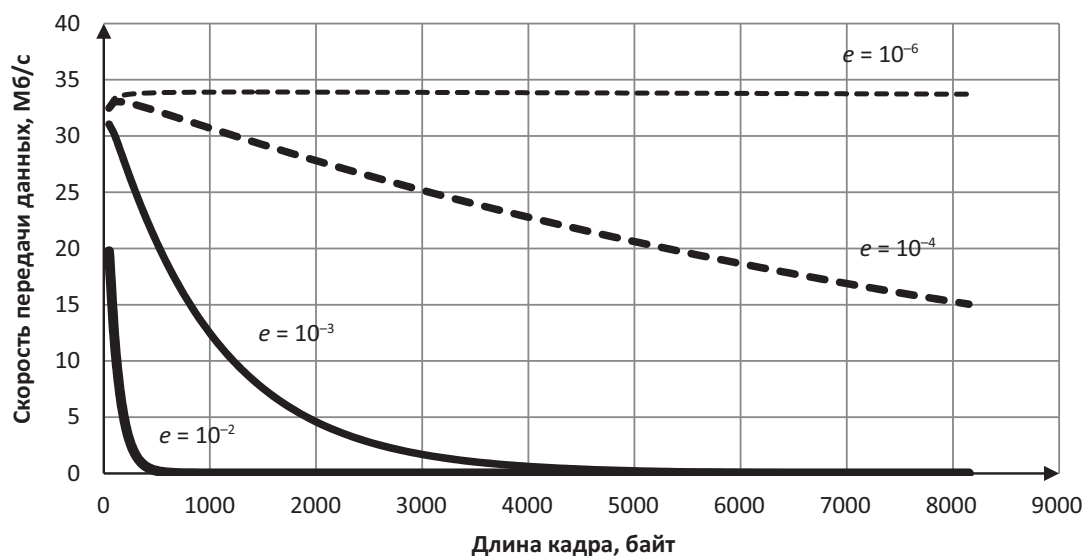


Рис. 3. Реальная скорость канала в Frame Relay в зависимости от размера кадра для разных значений e

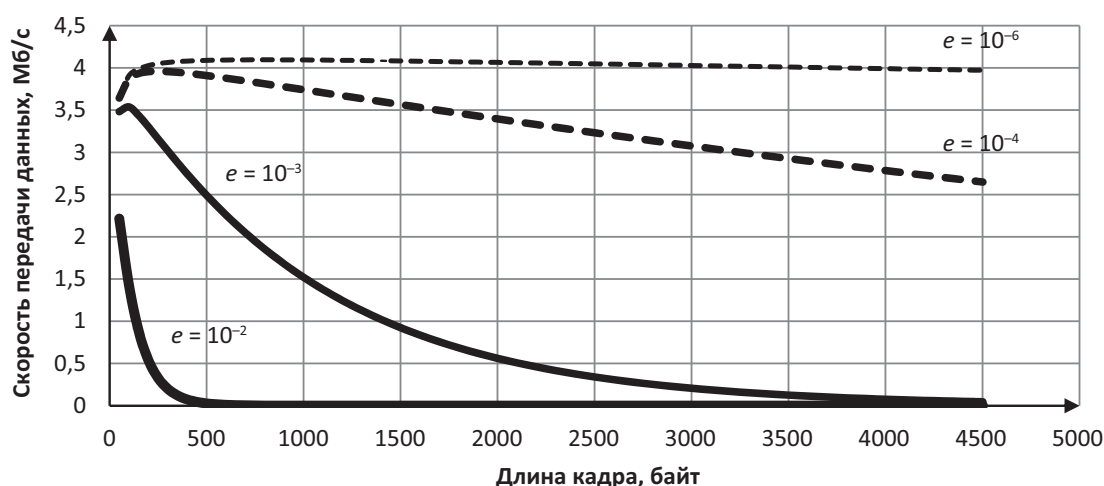


Рис. 4. Реальная скорость канала в Token Ring в зависимости от размера кадра для разных значений e

сти параметра V при различных значениях e и $R = 4,16$ Мб/с, $D = 0,32 \cdot 10^{-5}$ с.

Для технологии 802.11b, где $C = 32$ бит по формуле (3), определяем оптимальное значение $N = 250$ байт при $e = 10^{-4}$. Для других значений реальная скорость канала соответствует графикам на рис. 5. При этом $R = 54$ Мб/с, $D = 0,47 \cdot 10^{-6}$ с.

Следовательно, при настройках протоколов канального уровня необходимо выбирать формат кадра с учетом уровня зашумленности канала.

Заключение

Из расчетов и графиков, представленных на рис. 2–5, видно, что в зашумленных каналах ($e > 10^{-4}$), изменяя размер кадра, можно достичь максимальной реальной скорости канала во всех рассмотренных технологиях до значений $N < 1000$ байта. В каналах с низким уровнем помех ($e < 10^{-6}$) реальная скорость канала с увеличением размера кадра не уменьшается, но в каждой технологии есть ограничение по размеру кадра. В связи с этим в

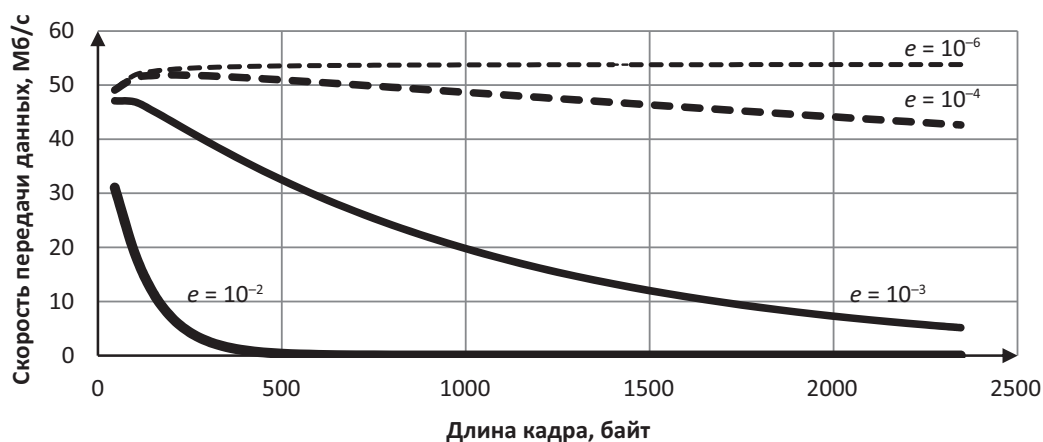


Рис. 5. Реальная скорость канала в 802.11b в зависимости от размера кадра для разных значений e

хороших каналах, где $e \geq 10^{-6}$, размер кадра можно взять ближе к максимальному, установленному стандартом. В зашумленных каналах $e \leq 10^{-3}$ целесообразно выбирать формат кадра в зависимости от технологии из диапазона 200–1000 байт.

Библиографический список

1. **Оценка** производительности вычислительного комплекса информационно-измерительной и управляющей системы специального назначения :

дис. ... канд. техн. наук : 05.11.16 / Н. А. Баштанник. – Астрахань, 2010. – 176 с.

2. **Halsall F.** Data Communications, Computer Networks and Open Systems. – Addison-Wesley, 1996. – 907 p.

3. **Компьютерные сети.** Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб. : Питер, 2008. – 958 с.

4. **Вероятностные** методы в вычислительной технике / А. В. Крайников, Б. А. Курдинов, А. Н. Лебедев и др. ; под ред. А. Н. Лебедева, Е. А. Чернявского. – М. : Высш. шк., 1986.



УДК 378:331

Т. М. Петрова, Ю. А. Сорвачева, Ю. А. ГаркавенкоПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**ЭФФЕКТИВНЫЙ КОНТРАКТ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ
КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ**

В настоящее время система высшего образования в Российской Федерации находится на этапе реформирования. В период с 2012 по 2014 г. была принята и введена в действие серия нормативных документов, определяющих основные направления и способы внедрения преобразований, одним из которых является переход на принципы эффективного контракта при формировании заработной платы профессорско-преподавательского состава высших учебных заведений.

В данной статье рассмотрены основные нормативные документы, регламентирующие необходимость модернизации системы оплаты труда педагогических работников, проанализированы основные предпосылки для перехода к принципам эффективного контракта, предложены основные показатели эффективной работы для профессорско-преподавательского состава кафедр университета, разработана методика оценки их результативности.

эффективный контракт, образовательные услуги, качество, оценка результативности.

Введение

Вступление в силу закона о ранжировании вузов, в соответствии с которым необходимо создать сеть федеральных и национально-исследовательских университетских комплексов, положило начало глобальной модернизации высшего профессионального образования [1]. Однако недостаточные темпы реформирования, отсутствие у молодого поколения стремления к научной деятельности, высокий показатель среднего возраста у кандидатов и докторов наук не способствуют постоянному повышению уровня образовательной деятельности и качества подготовки специалистов, бакалавров и магистров.

В настоящее время важными задачами, направленными на повышение качества образовательных услуг, являются изменение

отношений между государством и педагогическим работником бюджетных организаций и замена трудового договора эффективным контрактом.

Цель данной работы – проанализировать методы оценки результативности основных показателей эффективной работы педагогических кадров в системе высшего профессионального образования. Для этого нужно:

- рассмотреть основные нормативные документы, регламентирующие необходимость модернизации системы оплаты труда педагогических работников;
- проанализировать основные предпосылки для перехода к принципам эффективного контракта;
- изучить опыт работы организаций по системе эффективного контракта.

1 Предпосылки перехода к системе эффективного контракта

Впервые термин «эффективный контракт» был использован в 2012 г. [2].

В дальнейшем президент Российской Федерации утвердил ряд федеральных законодательных актов, устанавливающих необходимость разработки программы поэтапного совершенствования системы оплаты труда работников бюджетного сектора экономики для сохранения кадрового потенциала, повышения престижности и привлекательности профессий, обусловив повышение оплаты труда достижением конкретных показателей качества и количества оказываемых услуг [3, 4].

Внедрение эффективного контракта в сфере образования вызвано необходимостью исправить недостатки, обнаруженные в ходе применения новой системы оплаты труда, разрабатываемой на протяжении последних лет.

Программные документы Правительства РФ отмечают, что при решении задачи стимулирования работников с учетом результатов их труда выявлен ряд недостатков:

- неполная проработка показателей и критериев эффективности деятельности работников бюджетных организаций;
- формальное применение установленных критериев;
- использование ранее применявшихся выплат стимулирующего характера, имеющих низкую эффективность в современных условиях (например, добросовестное выполнение обязанностей, интенсивность труда без указания конкретных измеримых параметров).

Для устранения выявленных недостатков и выполнения требований федеральных законодательных актов решено ввести принципы эффективного контракта в систему начисления заработной платы педагогическим работникам государственных бюджетных организаций.

В общем понимании теория контрактов – это одно из современных направлений институциональной экономической теории, форма ограничения и/или стимулирования экономической деятельности объектов [5].

Согласно программе поэтапного совершенствования системы оплаты труда в государственных (муниципальных) учреждениях на 2012–2018 годы, эффективный контракт – это трудовой договор с работником, в котором конкретизированы:

- должностные обязанности;
- условия оплаты труда;
- показатели оценки эффективности деятельности работников для назначения стимулирующих выплат в зависимости от результатов труда и качества оказываемых государственных (муниципальных) услуг, а также меры социальной поддержки;
- критерии оценки достижения требуемых показателей эффективного контракта [6].

Таким образом, смысл эффективного контракта как экономического инструмента повышения качества образовательных услуг заключается в установлении трудовым договором взаимовыгодных отношений как для работодателя, так и для конкретного работника.

С юридической точки зрения, эффективный контракт является способом детального регулирования и нормирования труда, обеспечивающего повышение качества работы, увеличение как материальных (зарплата), так и нематериальных (престиж, удобный режим работы и т. п.) благ, получаемых работником от выполнения своих обязанностей.

2 Структура заработной платы педагогически работников

В центре внимания при внедрении концепции эффективного контракта в нашей стране должны оставаться размеры относительной заработной платы преподавателей, катастрофически упавшие за годы постсоциалистического становления, а не сроки трудового договора, как, например, в США.

Для определения той составляющей заработной платы, на размер которой влияют основные показатели эффективной деятельности педагогических работников, предложена примерная концепция формирования заработ-

ной платы профессорско-преподавательского состава высшего учебного заведения (см. рисунок).

По сведениям ряда вузов нашей страны, должностные оклады педагогических работников бюджетных образовательных организаций в среднем составляют примерно 30–40 % от ежемесячного дохода, который дополнялся доплатами за интенсивность труда. Однако согласно нормативным актам Правительства РФ предлагается упразднить данные доплаты путем введения надбавок за достижение основных показателей эффективного контракта.

Правительство РФ разработало перечень рекомендуемых показателей эффективности труда, которые направлены на повышение

эффективности работы всей образовательной организации в целом, но нет рекомендаций по оценке их результативности.

3 Опыт внедрения эффективного контракта

Процессная модель Университета, направленная на выявление возможностей для постоянного улучшения, базируется на пяти основных направлениях деятельности кафедр: учебно-методическом, научно-исследовательском, воспитательном, международном и экономической работы [7].

Все пять направлений касаются деятельности преподавателя как сотрудника кафедры,



однако для оценки наиболее сложна педагогическая составляющая его работы.

Под эффективной деятельностью педагогического работника понимается степень достижения сотрудниками образовательной организации основных аккредитационных показателей, определенных Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации «Об утверждении показателей деятельности образовательной организации, подлежащей самообследованию», а ее количественной оценкой является результативность – степень реализации запланированной деятельности и достижения запланированных результатов.

По замыслу разработчиков – Правительства Российской Федерации – сам по себе эффективный контракт должен быть основой трудовых отношений в бюджетной сфере. Идея проста: зарплата работника должна прямо зависеть от уровня сложности, количества и качества выполненной работы. Для высшей школы это означает полный переход на контрактную форму найма преподавателей. Форма контракта предусматривает учет количества и качества научных публикаций, объем выполненных НИОКР для российских и зарубежных партнеров, учебную нагрузку, подготовку кадров высшей квалификации, участие в оргкомитетах международных конференций и конгрессов и другое [8].

Подобная система оплаты труда уже функционирует во многих развитых странах мира, поэтому для разработки основных показателей эффективной деятельности педагогических работников в нашей стране планируется за основу взять схемы, применяемые в Китае, США, Великобритании, Франции и Германии.

Однако основной проблемой внедрения эффективного контракта в России является низкий уровень заработной платы работников бюджетной сферы, а именно педагогических работников [9].

По оценкам ряда ученых, академическая заработная плата в России составляет около 60 % от ВВП, приходящегося на душу население,

в то время как в большинстве стран она находится на уровне от 100 до 250 % [10].

Например, в Томском политехническом университете, согласно эффективному контракту, профессор должен:

- быть признан на международном уровне лидером в своей области знаний;
- иметь высокий уровень цитируемости научных публикаций;
- быть членом редколлегий зарубежных журналов и состоять в оргкомитетах научных конференций;
- иметь награды и премии престижных научных конкурсов;
- иметь достаточное количество оценок учеников;
- обладать определенным количеством научных публикаций;
- выполнять НИОКР для российских и зарубежных партнеров [11].

Введение эффективного контракта также связано с возможными проблемами и рисками, которые возникают при разработке измеримых показателей эффективности труда преподавателя. Основным риском является опасность перехода от основной преподавательской и научной работы к деятельности по целенаправленному производству показателей, т. е. к имитации эффективного труда вместо достижения нужного результата.

В настоящее время нет единой утвержденной системы оценки эффективности деятельности педагогических работников. Это можно объяснить тем, что наша страна находится в начальной стадии реформирования системы оплаты труда педагогических работников.

Например, известен опыт применения непродуманных показателей для оценки эффективности работы учителей школ, таких как отсутствие неуспевающих в классе. Результаты показали, что учителя вынуждены были целенаправленно завышать оценки неуспевающим учащимся, чтобы иметь право на получение стимулирующей выплаты.

Таким образом, результаты внедрения подобных показателей и критериев оценки эффективности деятельности педагогических

работников контрпродуктивны, их применение требует тщательного продумывания и апробации с участием всего коллектива заинтересованных работников учреждения или структурного подразделения.

Заключение

Введение системы оплаты труда на основе эффективного контракта с использованием методики оценки результативности основных показателей деятельности может привести к дифференциации заработной платы сотрудников высших учебных заведений, стимулировать работу преподавателя во второй половине рабочего дня для достижения основных показателей эффективности труда и обеспечить рост ежемесячного вознаграждения.

С другой стороны, основным недостатком проводимого реформирования при выстраивании системы внешней оценки труда преподавателей на основе эффективного контракта является переход системы высшего профессионального образования к инновационному менеджменту. При этом высшие учебные заведения уподобляются коммерческим организациям, что может привести к формированию однобокости и утилитарного мышления, жестко определенной цели работать на измеримый результат, выражаемый в стимулирующих выплатах, и, как следствие, депрофессионализации преподавателей.

Благодарности

Работа выполнена в рамках конкурса на соискание премий Правительства Санкт-Петербурга за выполнение дипломных проектов по заданию исполнительных органов государственной власти Санкт-Петербурга.

Библиографический список

1. **Экономические** аспекты качества подготовки специалистов / А. Ю. Панычев, А. А. Пфлюк // Вестн. СамГУПС. – 2012. – № 1 (15). – С. 97–102.
2. **Строительство** справедливости. Социальная политика для России / В. В. Путин // Комсомольская правда. – 2012. – 12 февр.
3. **Указ** Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 г. № 597 «О мероприятиях по реализации государственной социальной политики».
4. **Бюджетное** послание Президента Российской Федерации от 28 июня 2012 г. «О бюджетной политике в 2013–2015 годах».
5. **Эффективный** контракт в системе высшего образования РФ : Теоретические подходы и особенности институционального проектирования / М. В. Курбатова, С. Н. Левин // Журн. институциональных исследований. – 2013. – Т. 5, № 1. – С. 55–80.
6. **Распоряжение** Правительства РФ от 26 ноября 2012 г. № 2190-р «Об утверждении программы поэтапного совершенствования системы оплаты труда в государственных (муниципальных) учреждениях на 2012–2018 годы».
7. **Система** оценки деятельности кафедр университета / В. И. Ковалев, А. П. Ледяев, С. В. Микони, П. П. Якубчик // Вестн. высш. шк., Alma Mater. – 2002. – С. 17–22.
8. **Эффективный** контракт для высшей школы / О. Г. Васильева // Совет ректоров. – 2013. – № 5. – С. 20–24.
9. **Академическое** сообщество и академические контракты : вызовы и ответы последнего времени. Контракты в академическом мире / Я. Кузьминов ; сост. и науч. ред. М. М. Юдкевич. – М. : Изд. дом Высш. шк. экономики, 2011. – 392 с.
10. **Как платят** профессорам? Глобальное сравнение систем вознаграждения и контрактов / М. Юдкевич. – М. : Изд. дом Высш. шк. экономики, 2012. – 439 с.
11. **Проблемы** оплаты труда работников высшего профессионального образования в условиях перехода к «эффективному контракту» / О. М. Фадеева // Социальная политика и социология. – 2013. – Т. 1, № 6 (100). – С. 157–163.
12. **ГОСТ ISO 9001-2011.** Системы менеджмента качества. Требования. – М. : Изд-во Стандартиформ. – 2012. – С. 27.

УДК 336.64

Т. П. СацукПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**СИСТЕМА КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ
В ЭКОНОМИКЕ ОРГАНИЗАЦИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Целью статьи является анализ системы показателей результативности в ОАО «РЖД» и определение направлений совершенствования ключевых показателей в сбалансированной системе. Приведены критерии выбора системы ключевых индикаторов, предложена классификация используемых в организациях логико-дедуктивных, эмпирико-дедуктивных систем показателей. Например, концепция измерения достижений по степени разработанности, по четкому описанию и простоте расчета входящих в них показателей более адаптирована к применению в организациях железнодорожного транспорта.

Рассмотрены основные требования ОАО «РЖД», предъявляемые к ключевым показателям. Приведены примеры показателей в целевых перспективах сбалансированной системы.

Предложено дополнить перспективы ключевых индикаторов результативности выделенными качественными (нефинансовыми) показателями и показателями рисков прямого и непрямого действия.

ключевые показатели результативности, система подконтрольных показателей, стратегическое управление, целевые перспективы сбалансированной системы показателей, показатели риск-менеджмента.

Введение

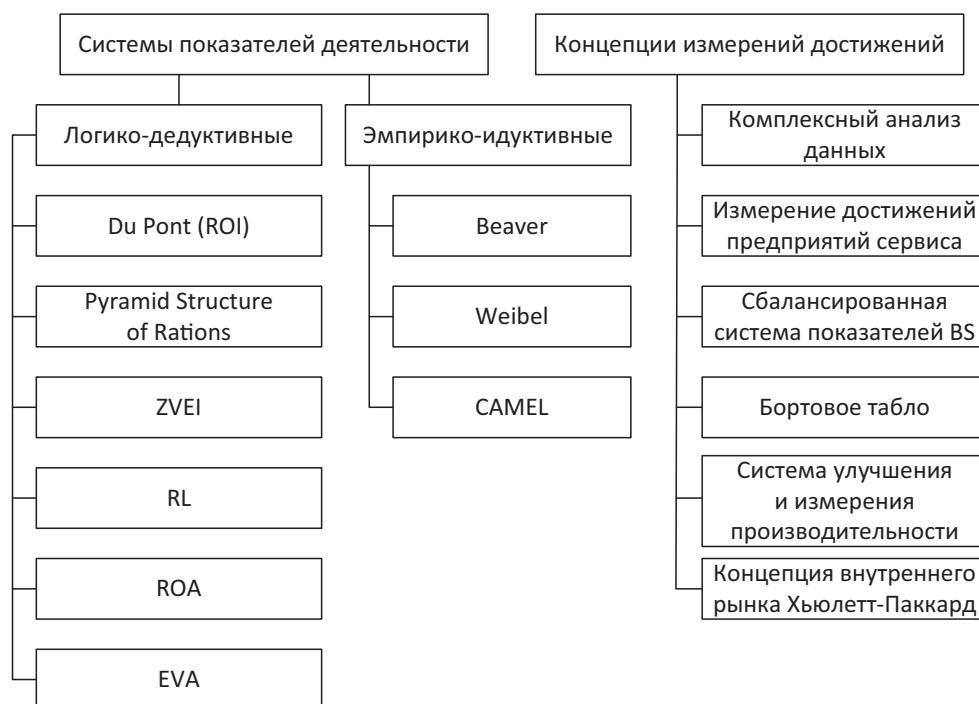
Система показателей в стратегическом управлении является инструментом всесторонней оценки результатов деятельности корпорации, позволяющим не только количественно охарактеризовать и оценить ситуацию, но и вскрыть причины ее возникновения, а также провести структурно-логический анализ влияющих факторов. Выбор наиболее оптимальной системы для организаций железнодорожного транспорта – актуальная проблема.

Цель построения и использования системы показателей результативности (СПР) ОАО «РЖД» – обеспечить процессы управления компании краткими и достаточными сведениями о результатах деятельности филиалов и структурных подразделений на периодической основе.

**1 Классификация систем
подконтрольных показателей
результативности**

Система подконтрольных показателей результативности (СППР) позволяет формализовать процедуры оценки достижений организации, определить область, сроки и порядок контроля. При формировании этой системы отбираются и систематизируются индикаторы для оценки деятельности как отдельных центров ответственности, так и корпорации в целом. Данная система должна иметь также стратегическую направленность, т. е. позволять оценивать выполнение не только текущих, но и стратегических планов и миссии компании.

В экономической литературе описываются различные системы [1, 2], классифицированные по характеру показателей (см. рисунок).



Классификация систем стратегических показателей результативности

Принципиальное различие этих систем в том, что показатели, входящие в концепцию измерения достижений, не всегда носят финансовый характер и имеют не только количественную, но и качественную оценку. Это позволяет сделать более многофакторные выводы при мониторинге деятельности компании для принятия управленческих решений [3].

Менеджмент корпорации выбирает СППР по следующим критериям:

- взаимосвязь СПР и стратегии организации;
- возможность оперативного управления на основе СПР;
- учет интересов различных групп пользователей информации;
- охват всех сфер деятельности компании;
- взаимосвязь результатов и вознаграждения (мотивационная сторона СПР);
- направленность системы на объединение усилий различных подразделений для достижения общих целей (коммуникационная сторона);
- наличие трендового анализа («прошлое – настоящее – будущее»);

• возможность количественно оценить любой показатель системы.

Для ОАО «РЖД» оптимальной системой стратегических показателей является система сбалансированных показателей. Данная концепция наиболее отрегулирована, применяется как в зарубежных компаниях, так и на отечественных предприятиях.

Подконтрольные показатели руководство корпорации выбирает индивидуально в зависимости от целей. Вначале определяют цели, затем для каждой цели выбирают показатели и рассчитывают их значение – показатель ее достижения.

2 Использование ключевых показателей результативности в мониторинге деятельности ОАО «РЖД»

Основная идея сбалансированной СПР (ССПР) как инструмента оценки достижения стратегических целей состоит в том, что здесь отсутствует заранее определенный набор по-

казателей [4]. В соответствии с «Порядком мониторинга и оценки результатов работы ОАО „РЖД“ на основе ключевых показателей деятельности» утверждена классификация ключевых показателей, используемых для мониторинга и оценки результатов работы корпоративного центра в целом и его структурных подразделений [5]. Эти ключевые показатели должны иметь:

- стратегическую направленность;
- управляемость;
- значимость;
- взаимосвязь;
- сбалансированность.

В классическом варианте ССПР всю информацию, необходимую для принятия управленческих решений, в том числе ключевые показатели результативности, разбивают на четыре взаимосвязанных блока (так называемые «перспективы»): «финансы/экономика», «рынок/клиенты», «бизнес-процессы» и «инфраструктура/сотрудники».

ССПР для подразделений ОАО «РЖД» обусловлена процессом стратегического планирования, ее разработка заключается в определении базовой стратегической ориентации (миссии, системы ценностей, принципиальных направлений развития), стратегических целей, ключевых показателей результативности и их целевых значений по блокам.

Индикаторы оценки деятельности подразделений ОАО «РЖД» классифицируются по пяти перспективам, представленным в таблице.

Для каждого структурного подразделения ОАО «РЖД» выстраивается своя сбалансированная система ключевых показателей с перспективами, характерными для его основной деятельности. Так, основные показатели деятельности Дирекции по обслуживанию пассажиров в дальнем и пригородном следовании распределены по четырем перспективам:

1) финансовые показатели – прибыль по видам прочих продаж; рентабельность по видам прочих продаж; дебиторская и кредиторская задолженность; общая рентабельность оказания услуг;

2) экономические показатели – расходы на эксплуатацию вокзальных комплексов по элементам затрат; себестоимость содержания вокзальных комплексов; эффективность использования вокзальных комплексов (прибыль от оказания услуг);

3) показатели объема работ – пассажирооборот всего; отправленные пассажиры; тонно-километр багажа и грузобагажа всего; производительность труда работников; качество обслуживания пассажиров;

4) показатели безопасности – уровень производственного травматизма; количество пассажиров, пострадавших в транспортных происшествиях.

Важным аспектом использования ССПР является оценка степени их выполнения структурными подразделениями ОАО «РЖД». В качестве ключевых индикаторов используются их целевые, пороговые и стимулирующие значения.

В качестве целевых значений показателей могут использоваться плановые или скорректированные плановые значения, установленные для подразделений на соответствующий бюджетный период.

В качестве пороговых значений показателей подразделения используются:

- фактическое значение показателя в предыдущем периоде;
- целевое значение показателя, скорректированное с учетом максимального негативного отклонения.

Как стимулирующие могут использоваться индикаторы:

- фактическое значение показателя в предыдущем периоде, скорректированное с учетом максимального позитивного отклонения;
- целевое значение показателя, скорректированное с учетом максимального позитивного отклонения.

По завершении отчетного периода оценивается итоговое достижение установленных для подразделений показателей. Фактические значения показателей сопоставляют с установленными, по каждому показателю определяют

Основные ключевые показатели результативности в сбалансированной системе ОАО «РЖД»

Целевые перспективы сбалансированной системы показателей	Характеристика	Примеры показателей
Экономика и финансы	Оценивают финансово-экономические результаты и эффективность деятельности подразделений	Выручка, начисленная по основным и прочим видам деятельности; расходы по перевозочным видам деятельности; производительность труда; соотношение темпов роста реальной заработной платы и производительности труда; фондоотдача
Клиенты и рынки	Отражают степень клиентоориентированности деятельности подразделений в целевом сегменте рынка, в частности, качество оказываемых услуг и степень удовлетворенности клиентов	Выполнение расписания движения пассажирских поездов; качество оформления перевозочных документов; доля рынка грузовых перевозок
Технологические процессы	Оценивают результаты и эффективность производственных процессов подразделений	Среднесуточная производительность локомотива в грузовом движении; удельный расход топлива на тягу поездов
Персонал и развитие	Оценивают работу подразделений в сфере управления персоналом, совершенствования информационных технологий и систем, развития системы корпоративного управления	Укомплектованность штата; количество работников, повысивших квалификацию, прошедших переподготовку
Безопасность и надежность	Оценивают результаты и эффективность деятельности подразделений по обеспечению безопасности железнодорожных перевозок, надежности технических средств и бесперебойности производственных процессов	Количество нарушений безопасности движения; коэффициент безопасности инфраструктуры; коэффициент безотказности технических средств; среднее время продолжительности отказов

коэффициенты результативности в зависимости от отклонения фактического значения от целевого, порогового, стимулирующего значений.

3 Совершенствование ССПР в оценке деятельности ОАО «РЖД»

В действующей системе ключевых показателей ОАО «РЖД» используют как объемные показатели, характеризующие суммарные раз-

меры признака по всем единицам рассматриваемой совокупности (грузообороту, выручке, среднесписочной численности персонала), так и качественные показатели – финансовые индикаторы, исчисленные как средние или относительные величины (рентабельность по прочим видам деятельности, среднее время продолжительности отказов, среднемесячная заработная плата работников по всем видам деятельности). Однако в зависимости от характера исходной информации, используе-

мой для оценки текущего и стратегического планирования, качественные (нефинансовые) ключевые показатели результативности должны входить в перспективы сбалансированной системы, а качественные (нефинансовые) показатели основаны на информации, изначально имеющей неколичественный характер, т. е. субъективной оценке различных явлений. Использование качественных показателей в сбалансированной системе чаще всего связано с невозможностью альтернативного измерения степени достижения стратегических целей, например, повышения уровня обслуживания, удовлетворенности клиентов и других.

Традиционно количественная оценка качественных показателей выполняется на основе эвристических методов, базирующихся на опыте и интуиции. Наиболее распространены методы экспертных оценок, моделирования задачи выбора с помощью «дерева решений», а также Value at risk.

При внедрении ССПР в деятельность ОАО «РЖД» необходимо встроить в систему индикаторов показатели оценки рисков. Интеграция риск-менеджмента может происходить в двух направлениях: во-первых, можно выделить отдельную перспективу «риски» в сбалансированной системе, определить ключевые показатели выявления рисков и снижения их уровня исходя из общей целевой концепции компании; во-вторых, можно включить количественные и качественные показатели, определяющие риски, в имеющиеся перспективы. В системе ключевых показателей результативности корпорации с точки зрения снижения потерь от рисков необходимо разделять их на риски прямого и непрямого действия.

Риски прямого действия (оперативные потери или упущенные выгоды) непосредственно связаны с деятельностью конкретного подразделения. Показатели оценки действий прямых рисков необходимо включать в конкретные перспективы. Риски непрямого действия (стратегические потери) связаны с потерей существенной информации, управленческих решений, с кадровыми рисками и с другими. Их можно выделить в отдельную перспективу

в сбалансированной системе ключевых показателей.

Заключение

Таким образом, мониторинг на основе системы ключевых показателей позволяет руководству ОАО «РЖД» отслеживать продвижение к корпоративным стратегическим целям.

Согласно анализу, оптимальной системой показателей для организаций железнодорожного транспорта является система сбалансированных показателей. Данная система позволяет всесторонне оценивать результаты деятельности предприятия, учитывая при этом различные аспекты бизнеса: финансы, внутренние процессы, персонал и развитие, безопасность, клиенты, рынки, технологические процессы.

Используемая система ключевых показателей для оценки деятельности ОАО «РЖД» не статична, на развитие ее целевых установок должны влиять внешние и внутренние факторы. Так, использование в мониторинге выделенных качественных (нефинансовых) показателей и индикаторов рисков прямого и непрямого действия имеет особое значение в мониторинге устойчивого развития компании.

Библиографический список

1. **Контроллинг** в бизнесе : методологич. и практич. основы построения контроллинга в организации / А. М. Карминский, Н. И. Оленев, А. Г. Примаков, С. Г. Фалько. – М. : Финансы и статистика, 1998. – 252 с.
2. **Эволюция** показателей стратегического контроллинга / Д. Е. Попов, О. А. Романова ; Ин-т экономики УрО РАН. – Екатеринбург, 2002.
3. **Ключевые** показатели результативности в системе финансового контроллинга / Т. П. Сацук // Рос. предпринимательство. – 2009. – № 8 (1). – С. 147–152.
4. **Horvath P.** Controlling. – München : Vahlen, 1994.
5. **Об утверждении** порядка мониторинга и оценки результатов работы ОАО «РЖД» на основе ключевых показателей деятельности: Распоряжение от 31 дек. 2013 г. № 3012р (Справ. правовая система «КонсультантПлюс»). – URL : <http://www.consultant.ru>.

ABSTRACTS**A. T. Burkov, M. M. Mirsaitov**

Petersburg State Transport University

Specifics of the method for power consumption determination for choosing a maximum speed of passenger trains

The article describes the peculiarities of method for determining the power consumption for choosing a maximum speed of passenger trains, that allows to effect the specific consumption of electricity, economic viability due to the reduction of time, spent by passengers on the road, that, in its turn will increase the employment rate.

The article presents the factors that affect the energy consumption at higher speeds. There are also the description of problems of power supply equipment enforcement for high-speed lines and increasing the aerodynamic resistance at speeds above 200 km/h.

specific consumption of electricity, power consumption, specific resistance to motion, traction force, power capacity.

S. A. Vyrkov

Scientific research center of management problems for railway transport
Petersburg State Transport University

Classification of railway accidents by the criterion of material damage

The article covers the classification of traffic safety violations on the railways by the criterion of accident severity, expressed in monetary terms. The article also provides a rationale for the transition to this type of classification, the technique for determination of financial boundaries between groups of violations, based on cluster analysis. It is also analyzes the stability

of the financial boundaries for the division of all types of violations into two clusters.

classification of traffic accidents, cluster analysis, optimal division criterion, intragroup standard dispersion, intergroup standard dispersion, unbiased estimate of dispersion.

I. G. Kiselev, V. V. Galov, S. B. Komissarov

Petersburg State Transport University

Measures for reduction of heat load to the tank wagon boiler for liquid pitch transportation

The article provides the information on the coal-tar pitch, transported by railways. It gives the description of tank wagon design for transportation of liquid pitch. The article covers the problem of destruction of the tank wagon boiler due to the cyclic heating of the cargo by electric heaters. It also shows the dependence of the main indexes of the steel strength with the temperature. The article provides the possible ways for preventing the reduction of the strength characteristics of the boiler. It gives the formulation and the solution of the boundary-values problem of thermal conductivity in partial derivatives with and without the equivalent thermal conductivity ratio.

liquid pitch, tank wagon, electrical heater, yield stress.

V. A. Kudryavtsev, A. A. Svetashev

Petersburg State Transport University

Reduction of average daily wagon-hours cost of wagon accumulation for train composition using nuanced train normative values

The essential part of wagon demmuration at marshalling yards is their standing await to the arrival of other wagons for the same destination and to its accumulation to the specified normative values. The article proposes to slightly deviate from the normative values of the quantity of wagons to the smaller number, that leads to the decreasing of average value of the wagons residue number, and, as a result, to the decreasing of the cost of wagon storage. There is a presentation of results of processing of great amount of statistic data, as well as justification of dependencies, that allows to determine the average value of the wagon residue number and wagon-hours cost of accumulation for different values of the possible magnitude of the deviation from the normative value.

average size of train composition, average residue value, maximum size of the train, accumulation parameter, wagon-hours cost.

D. E. Kurepin

Petersburg State Transport University

Analysis of levels of excessive noise impact due to railway transport operation

The article provides the analysis of the impact of excessive noise from railway transport to the residential areas, and outlines the prospects of its reduction. It includes the study of the main sources of noise from railway transport, as well as regulatory standards, that control its environmental impact. The article specifies the basic reasons for citizens' complaints for acoustic discomfort, that occurred due to railway transport operation and its infrastructure. It provides the results of field measurements and software simulation of noise sources, and gives the evaluation of effectiveness of anti-noise measures, aimed at reducing the negative acoustic impact due to the railway transport.

noise, railway transport, residential area, acoustic shield, ARM «Akustika», efficiency.

Yu. S. Merkur'ev, G. M. Stoyanovich, I. O. Shekhtman

Petersburg State Transport University

Subgrade formation stability analysis by Shakhunyants method, considering seismic loads

The article covers a special case for design of subgrade formation under complex engineering and geological conditions – in areas with high seismic activity. The purpose of this article is to analyze the seismic stability of subgrade formation with different height. According to regulatory documents (SP 14.13330.2011) to reduce the effects of seismic impact on the design of transport facilities the slopes of subgrade formation of soft soil should be flatter than the slopes, designed for non-seismic areas. In the present study there is analysis of the dependence of the stability factor on various factors. The article offers promising options for subgrade formation structures, that reduce the negative impact of earthquakes to the rail track elements.

subgrade formation, seismics, seismic resistance, damping layer, numerical test, mathematical planning.

T. M. Petrova, A. P. Leikin, A. V. Poletaev, Yu. A. Sorvacheva, K. V. Gulyaev, E. Yu. Chistyakov

Petersburg State Transport University

Specifics for quality estimation of steel concrete structures of transport construction using nondestructive test methods

The article presents a comparative analysis of a new edition of GOST 17624-2012 "Concrete.

Ultrasonic method for strength determination” to the previous version of this standard of 1987. It shows the main advantages and disadvantages of existing regulatory documents, identifies a number of devices for non-destructive testing, that do not satisfy the requirements of the scanning base. The article also presents the results of the study of the kinetics of cracking initiating of test area of ballastless structure of the permanent way on the territory of the Russian Federation, using of ultrasonic test method.

non-destructive test methods, ultrasonic test method, strength, concrete, steel concrete, ballastless structure, permanent way.

R. I. Proshutinsky, O. V. Kolodkin
Petersburg State Transport University

**Self-controlled synchronous
motors in traction drive
of main-line railway
electric rolling stock**

The article is devoted to self-controlled synchronous traction motor and their application for domestic and foreign experimental and serial electric rolling stock of main railways. It also highlights the characteristics of electromechanical transducers of existing permanent magnet synchronous traction motors and describes the typical diagrams of semiconductor transducers. Based on the experience in the design and operation of permanent magnet synchronous traction motors this article offers its possibility field of application for domestic railways at the present stage.

self-controlled synchronous traction motor, electromechanical power transducer, contact electromagnetic excitation, semiconductor transducer, single-operation thyristor, electric locomotive.

P. K. Rybin, R. R. Akhmedov, A. P. Badetsky
Petersburg State Transport University
O. A. Medved
Petersburg railway transport college

**Use of artificial neural networks for
forecasting the number of wagons,
arriving into the port**

Forecasting is an important part of planning of operational performance of entire railway transport in whole, as well as in its individual divisions. The higher quality of prediction provides the higher quality of planning and organization, respectively. The article covers the possibility of using of the mathematical apparatus of artificial neural networks for forecasting the number of wagons, arriving into the port, using the example of coal wagon traffic volumes. Interest in the problem of interaction of railway and sea transport in the port transportation hubs is explained by its direct influence on the development of the transport system of Russia and increasing of its efficiency.

artificial neural networks, interaction of railway and sea transport, multilayer perceptron, forecasting, planning.

T. M. Shmanev, E. K. Shmarina
Oktyabrskaya Railway – branch of JSC «Russian railways»

**Evaluation by calculating the
passenger satisfaction rate for the need
of implementation of new products and
services at Oktyabrskaya railway**

The article covers the importance of passenger transportation and the marketing methods for evaluating of the degree of passenger satisfaction for services, provided within the extent of the Oktyabrskaya Railway. It studies the polling survey methods by direct contact using questionnaires, that increases the accuracy

of information collected. After data processing the data curves of passenger satisfaction are built, that reveals the need for corrective measures to improve the level of service and to implement new products and services.

passenger satisfaction rate, marketing survey, suburban passenger transportation companies.

N. V. Evglevskaya, A. A. Privalov
Petersburg State Transport University

**Information impact
model at the telecommunication
network objects**

In the article information impact model at the telecommunication network objects is observed. The novelty of the proposed model consists in complex recognition of hacker's possibilities to provide information attack, based on data got by agent of technical and computer intelligence services. The model allows to define in number criteria the requirements for completeness and periodicity of information safety control at the objects of information, considering characteristic of their construction and functioning.

telecommunication network objects, organized hacker, method of topological transformation, stochastic network, equivalent function.

**N. V. Evgrlevskaya, A. A. Privalov,
E. V. Skudneva**
Petersburg State Transport University

**Markov model of conflict of
automated information processing and
management systems with the system of
destructive effects of an offender**

The automated system of information processing and management (ASOIU) is a

complex organizational and technical system, within which the technological process of management of network resources and quality of provided telecommunication services, along with the target information transfer process, is implemented. The abnormality of this process can result in to failure of the ASOIU. The article covers the Markov model of conflict of automated information processing and management systems with the system of destructive effects of offender. In this model the offender produces a series of coordinated attacks that result in a change of the ASOIU state. Restoration of the ASOIU is controlled by automated subsystem of information safety management.

Markov model, automated information processing and management system (ASOIU), transition density.

I. V. Ilyushko
Petersburg State Transport University

**Technology of digital
signature application
in design institutions**

The article reviews the procedures of project documentation harmonization within the design institute JSC "Lengiprotrans". It proposes a method to accelerate the procedure using electronic document management system based on digital signature concept. The article provides the description of technological algorithm for application of digital signature. It also describes the purpose and the advantages of automated workstation with a digital signature (ARM-ECP) for coordination and approval of technical documentation in the design.

electronic document management system, digital signature, design documentation harmonization, technological algorithm, JSC "Lengiprotrans", ARM-ECP.

A. K. Kanaev, M. A. Sakharova, E. V. Skudneva
Petersburg State Transport University

Mathematical model of the process of operation of the management system for data transmission network at requests for determination of its technical condition

The article provides an algorithm of operation of the management system (SU) for data transmission network (SPD) at periodic requests from the SU to determine the technical condition of SPD, using the system of technical diagnostics.

It also presents the mathematical model of operation process of the SU SPD, using the method of topological transformation of stochastic networks, when, in contrast to the grapho-analytical methods, it is possible to decompose the process of interest into the elementary processes, and to characterize each of them by the distribution function and the average time of the process execution.

management system, data transmission network, topological transformation of stochastic networks, efficiency of management system operation, decision support system, neural network.

O. A. Kapustina
Petersburg State Transport University

Geo-ecological solution for application of heat-treated foamed concrete for heavy metal ions immobilization

A method for purifying the water bodies and soils from ions of heavy metals using the heat-treated foamed concrete is under development. It is proposed to use this absorber for waste water treatment also, and not only within treatment facilities that are under design, but also that are already exist. The article provides the results of experimental research in the field of heavy

metal ions absorption by heat-treated foamed concrete. Studies have shown the effectiveness of treatment, as well as higher capacity of absorption of heavy metal ions by this absorber compared to the absorbers in use.

purifying the water bodies and soils, heavy metals, chemicals for heavy metal immobilization.

A. A. Matushev
Petersburg State Transport University

Software package for recognition of assembling technical documentation

The article covers the problem of using and storage of old paper documentation. It analyzes the measures for documents recognition. It also suggests an improvement of the program for recognizing assembling cards. The article describes the software modules, including module for recognition of assembling structures documents. An algorithm for pattern recognition of assembling documentation of tabular type using logic diagram algorithms (LSA) is presented. There is also the block diagram of the software package under development.

technical documentation, recognition, electronic document management system, LSA algorithm.

A. M. Sazonova
Petersburg State Transport University

Specifics of occupational safety for works at underground facilities

In today's world most major cities in the world actively use underground space because of the high level of urbanization, the rapid growth of the number of vehicles and the lack of territory. Underground works are characterized

by specific hazard production factors. This article covers the hazard factors, affecting the workers of underground facilities. It also describes the effect on the human body of biological agents, fine dust, hypogeomagnetic field of the earth, air ion formula, the excess of carbon dioxide, etc. There is also the analysis of the results of the study for underground facilities of Saint Petersburg, the current state of working conditions, and recommendations for its improvement.

underground facility, occupational safety, hazard production factors, micromycetes, RM-particles, hypogeomagnetic field, air ion, y carbon dioxide.

**V. V. Sapozhnikov, VI. V. Sapozhnikov,
D. V. Efanov**

Petersburg State Transport University

**Analysis of characteristics
of sum codes with weighted
data bits for error detection
in concurrent error detection
systems of logic devices**

The article covers sum codes with weighted data bits in concurrent error detection (CED) systems of logic devices of computer engineering and automation. It provides new features of the weight-based sum codes, the number of check bits of which is equal to the number of check bits of classic Berger codes. It shows that the weight-based sum codes are more efficient for detection of errors in CED systems than known sum codes. Also the analyzed weight-based sum codes perform a 100 % detection of any unidirectional (monotone) distortion in the data vectors, that allows their use for realization of the logic devices control with unidirectional и unidirectionally-independent outputs.

Technical diagnostics, on-line control, Berger code, weight-based sum code, data vector, undetectable error.

S. M. Travin

Petersburg State Transport University

Analysis of the effect of the subgrade rigidity on the oscillation intensity of constructions of storage facility for spent nuclear fuel under seismic loads

“Wet” storage facilities for long-term storage of spent nuclear fuel are the constructions, that provide a high potential danger, therefore, their seismic resistance is an important and critical issue. Such storage facilities consist of rigid foundation and flexible frame top, which is the most vulnerable to earthquakes. This article presents the results of studies of the effect of the subgrade rigidity on the oscillation intensity of the frame structure of “wet” storage facility for spent nuclear fuel VVER-1000 reactors under seismic loads. The study was performed using the numerical analytical methods and the finite element method, ABAQUS and SCAD software systems. The article considers oscillations of the frame structure in transverse and vertical direction (in the longitudinal direction of the frames are stiffened by the rigid disk of enclosure structures). It has been found that the rigidity of the subgrade significantly affects the oscillation intensity of the frame only in the vertical direction. In the transverse direction of the impact was minor.

spent nuclear fuel, storage facility of spent nuclear fuel, earthquake, seismic resistance, subgrade, subgrade rigidity, oscillation intensity of the constructions.

V. V. Yakovlev, F. I. Kushnazarov

Petersburg State Transport University

Evaluation of the effect of interferences on link-layer protocol performance

During the development of methods for performance evaluation for link-layer protocols it

was assumed to isolate the data channels from different interferences. This article considers the influence of interferences of frame retransmission in the channel and the dependence on the frame size for the probability of error occurrence in frames and the number of attempts till successful transmission of the frame. The article covers the mathematical expectation of the number of attempts till the first successful frame transmission, dependence of the real performance parameters of these protocols under interferences for the different technologies of access into the monochannel.

link-layer protocols, performance, channel operational speed, channel utilization, interferences, computer networks.

**T.M. Petrova, Yu. A. Sorvacheva,
Yu. A. Garkavenko**

Petersburg State Transport University

**Good contract as a measure
for improving the educational
services quality**

Today, the system of higher education in the Russian Federation is under construction. From 2012 to 2014 a series of regulations that determine the main directions and methods of implementation of reforms was adopted and set into force, including the transition to the principles of good contracts in the formation of wages of the teaching staff of higher education institutions.

In this article covers the basic regulations, governing the need of modernization of the system of the employee compensation plan for teaching employee, analysis of the main prerequisites for transition to the principles

of good contract, as well as proposes the key performance indicators for the teaching staff of university departments and the method of evaluation of their effectiveness.

Good contract, educational services, quality, evaluation of effectiveness.

T. P. Satsuk

Petersburg State Transport University

**System of key performance indicators in the
economics of railway transport organizations**

The aim of this article is to analyze the system of performance indicators of JSC “RZD” and to determine the means for improvement of key performance indicators in a balanced system. The article provides the criteria of selection of key indicators, suggests a classification of logical deductive, empirical and deductive system performances, used within companies. For example, the concept of measuring achievement by its degree of development, clear description and easy calculation of the constituent indicators are more adapted to its application within the railway transportation companies.

The article also reviews the basic requirements of JSC “RZD” for key indicators. It provides examples of targeted prospects of a balanced system.

It proposes to add the perspectives of key indicators of effectiveness by the specific qualitative (non-financial) performance and risk indicators of direct and indirect action.

key performance indicators of effectiveness, system of indicators under control, strategic management, target prospects of balanced system of indicators, risk management indicators.

АВТОРЫ СТАТЕЙ**Ахмедов Руслан Равшанович**

ассистент кафедры «Железнодорожные станции и узлы» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»,
cherniu@rambler.ru

Бадецкий Александр Петрович

кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Управление эксплуатационной работой» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»,
alexandr.badetsky@yandex.ru

Бурков Анатолий Трофимович

доктор технических наук, профессор кафедры «Электроснабжение железных дорог» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»

Вырков Сергей Александрович

инженер Научно-исследовательского центра проблем управления на железнодорожном транспорте ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»,
s.vyrkov88@gmail.com

Галов Владимир Викторович

кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплотехника и теплосиловые установки» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»,
v_galov@hotmail.com

Гаркавенко Юлия Александровна

студент кафедры «Строительные материалы и технологии» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»,
garkavenkojulia@mail.ru

Гуляев Константин Владиславович

заведующий лабораторией кафедры «Строительные материалы и технологии» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»,
ksmt@pgups.edu

Евглевская Наталья Валерьевна

аспирант кафедры «Электрическая связь» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»,
n.evglevskaya@gmail.com

Ефанов Дмитрий Викторович

кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»,
TrES-4b@yandex.ru

Ильюшко Ирина Владимировна

аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»,
irinchekhova@yandex.ru

Канаев Андрей Константинович

доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электрическая связь» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»,
kanaevak@mail.ru

Капустина Ольга Александровна

аспирант кафедры «Техносферная и экологическая безопасность» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»,
olga-kapustina@mail.ru

Киселев Игорь Георгиевич

доктор технических наук, профессор кафедры «Теплотехника и теплосиловые установки» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», kteploteh@pgups.ru

Колодкин Олег Владимирович

кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханические комплексы и системы» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», kolodkin_o_v@mail.ru

Комиссаров Сергей Борисович

аспирант кафедры «Теплотехника и теплосиловые установки» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», s.b.komissarov@gmail.com

Кудрявцев Владимир Александрович

доктор технических наук, профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», VAK333@mail.ru

Курепин Дмитрий Евгеньевич

аспирант кафедры «Техносферная и экологическая безопасность» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», 13akela13@mail.ru

Кушназаров Фаррух Исакулович

аспирант кафедры «Информационные и вычислительные системы» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», k.farruh@bk.ru

Лейкин Алексей Павлович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры «Строительные материалы и технологии» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», alezz@mail.ru

Матушев Андрей Александрович

аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», dron_90@bk.ru

Медведь Оксана Анатольевна

преподаватель Санкт-Петербургского техникума железнодорожного транспорта ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», oa.medved@yandex.ru

Меркурьев Юрий Сергеевич

аспирант кафедры «Изыскания и проектирование железных дорог» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», merku50@mail.ru

Мирсаитов Мирзиёд Мирозадович

аспирант кафедры «Электроснабжение железных дорог» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», mirziyod_2007@mail.ru

Петрова Татьяна Михайловна

доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Строительные материалы и технологии» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», ksmt@pgups.edu

Полетаев Александр Васильевич

кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные материалы и технологии» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», apol@list.ru

Привалов Андрей Андреевич

доктор военных наук, профессор кафедры «Электрическая связь» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», aprivalov@inbox.ru

Прошутинский Роман Игоревич

аспирант кафедры «Электромеханические комплексы и системы» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», soundch13@gmail.com

Рыбин Петр Кириллович

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Железнодорожные станции и узлы», проректор ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», gdsu@mail.ru

Сазонова Анна Михайловна

аспирант кафедры «Техносферная и экологическая безопасность» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», amm_2005@mail.ru

Сапожников Валерий Владимирович

доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», kat@pgups.edu

Сапожников Владимир Владимирович

доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», kat@pgups.edu

Сахарова Мария Александровна

аспирант кафедры «Электрическая связь» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», zuvakamariya@mail.ru

Сацук Татьяна Павловна

доктор экономических наук, профессор кафедры «Экономика транспорта» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», stp13@mail.ru

Светашев Александр Александрович

аспирант кафедры «Управление эксплуатационной работой» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», aleksandr-svetashev@bk.ru

Скуднева Екатерина Валентиновна

аспирант кафедры «Электрическая связь» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», skykatty@gmail.com

Сорвачева Юлия Андреевна

старший преподаватель кафедры «Строительные материалы и технологии» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», ksmit_pgups@mail.ru

Стоянович Геннадий Михайлович

доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Железнодорожный путь, основания и фундаменты» ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения»

Травин Сергей Михайлович

аспирант кафедры «Здания» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», st.maddog@inbox.ru

Чистяков Эдуард Юрьевич

аспирант кафедры «Строительные материалы и технологии» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», eduard_chistiakov@mail.ru

Шехтман Евгений Иосифович

доктор военных наук, профессор кафедры «Управление войсками» Санкт-Петербургского техникума железнодорожного транспорта ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»

Шманёв Тимофей Михайлович

аспирант кафедры «Управление эксплуатационной работой»
ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»

Яковлев Валентин Васильевич

доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные и вычислительные системы» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», jakovlev@pgups.ru

Шмарина Елена Константиновна

аспирант кафедры «Менеджмент и маркетинг»
ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», elenashmarina@yandex.ru

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Ахмедов Р. Р. 57	Кудрявцев В. А. 26	Сапожников Вл. В. 114
Бадецкий А. П. 57	Курепин Д. Е. 34	Сахарова М. А. 91
Бурков А. Т. 5	Кушназаров Ф. И. 133	Сацук Т. П. 144
Вырков С. А. 12	Лейкин А. П. 46	Светашев А. А. 26
Галов В. В. 19	Матушев А. А. 105	Скуднева Е. В. 78, 91
Гаркавенко Ю. А. 139	Медведь О. А. 57	Сорвачева Ю. А. 46, 139
Гуляев К. В. 46	Меркурьев Ю. С. 41	Стойнович Г. М. 41
Евглевская Н. В. 72, 78	Мирсаитов М. М. 5	Травин С. М. 127
Ефанов Д. В. 114	Петрова Т. М. 46, 139	Чистяков Э. Ю. 46
Ильюшко И. В. 85	Полетаев А. В. 46	Шехтман И. О. 41
Канаев А. К. 91	Привалов А. А. 72, 78	Шманёв Т. М. 65
Капустина О. А. 99	Прошутинский Р. И. 51	Шмарина Е. К. 65
Киселев И. Г. 19	Рыбин П. К. 57	Яковлев В. В. 133
Колодкин О. В. 51	Сазонова А. М. 109	
Комиссаров С. Б. 19	Сапожников В. В. 114	