НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ИЗВЕСТИЯ ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ, выпуск 1 (38), 2014

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) 457-80-97

Адрес редакции
190031, СПб., Московский пр., 9,
тел. (812) 436-97-44

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
Е. Г. Исаченко

Ответственный секретарь
Е. В. Моисеева

Перевод на английский язык
О. В. Керханиди

Литературное редактирование и корректура
Е. Г. Исаченко

Верстка
А. А. Стуканова

Редактор сайта
Л. А. Стрелкова

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Ковалёв Валерий Иванович, д-р техн. наук, профессор, 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 Тамила Семеновна, д-р техн. наук, профессор, ПГУПС, Санкт-Петербург, Россия

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

Подписано в печать с оригинал-макета 07.04.2014.
Формат 60×90 1/8. Бумага офсетная. Печать ризография.
Усл. печ. л. 16,375. Уч.-изд. л. 11,0. Установочный тираж 300 экз.
Заказ 302. Цена свободная.

Отпечатано в типографии ПГУПС
190031, СПб., Московский пр., 9.

© Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2014

SCIENTIFIC PUBLICATION

PROCEEDINGS OF PETERSBURG TRANSPORT UNIVERSITY Issue 1 (38) – 2014

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

Mass media registration certificate number
ПИ N ФС2 – 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 circulated by direct subscription via Editorial subscription 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
E. Isachenko

Executive secretary
E. Moiseeva

English translation
O. Kerkhanidi

Editing and proofreading
E. Isachenko

Layout
A. Stukanova

Online content editor
L. Strelkova

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

Valeriy Kovalyov, D.Eng., 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, Saarbrucken, 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., 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, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

→ СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ТРАНСПОРТУ

А. В. Белянкин, С. В. Дмитриев, Д. Е. Кумпяк, В. П. Богданов
Метод ортогонального проектирования на векторное пространство базисных откликов датчиков для экспериментального определения силовых факторов, действующих на вагонные конструкции 5

Н. Ю. Лизунов
Теплопотери и тепловая изоляция метантенка мобильного биогазового комплекса в климатических условиях Казахстана 11

А. Н. Марикин, В. А. Мирощенко
Адаптивное устройство поперечной компенсации реактивной мощности в тяговом электроснабжении переменного тока 16

Ю. С. Ромен, А. Н. Савоськин, А. А. Акишин
Анализ случайных процессов геометрических неровностей рельсовых нитей 22

А. В. Тарасов
О безопасности движения на неохраняемых переездах 33

В. А. Четвергов, В. М. Бочаров, А. И. Мишин, П. А. Сиряк, В. А. Мельниченко
Применение метода Левенберга–Марквардта для анализа данных бортовой диагностической системы локомотива 41

Н. А. Чурков
О перспективном грузовом вагоне 48

→ ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Т. А. Белаш, А. А. Ермошин, Н. В. Никонова, А. М. Уздин
Использование асимптотического метода Б. Н. Квасникова для анализа уравнения колебаний с нелинейным сопротивлением 56

С. С. Захарченко
Подход к количественному оцениванию результатов поиска уязвимостей в параллельных программных системах с использованием метода проверки на модели 64

Н. А. Игнатов
Построение задачи оптимизации предоставления виртуальных ресурсов в центрах обработки данных, основанных на облачных технологиях 69

Л. Ф. Казанская, Д. С. Григорьев, Ю. И. Макаров
Прочность и стойкость многокомпонентных минеральных вяжущих на основе техногенного сырья 75

В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, Д. А. Никитин
О способах построения кодов с суммированием с минимальным общим числом необнаруживаемых искажений в информационных векторах 82

В. Я. Смолак
Экспериментальные испытания буроинъекционных наклонных свай с учетом работы армирования 91

M. A. Polyanichko, A. A. Kornienko
Method for automated detection of conflicts in information security complex 98

→ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

С. В. Коланьков
Обоснование цены реверсии при оценке рыночной стоимости недвижимости 104

Б. Р. Рахимжонов
Квантифицированный SWOT-анализ в обосновании приемлемости инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте 109

→ **ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НАУКИ И ТЕХНИКИ**

С. В. Критский
Санкт-Петербургский железнодорожный узел: история и современные вызовы 115

ABSTRACTS 120

АВТОРЫ СТАТЕЙ 129

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ 131

→ СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ТРАНСПОРТУ

УДК 629.4.027.2

А. В. Белянкин, С. В. Дмитриев, Д. Е. Кумпяк
ЗАО «Испытательный центр технических средств железнодорожного транспорта»

В. П. Богданов

МЕТОД ОРТОГОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ВЕКТОРНОЕ ПРОСТРАНСТВО БАЗИСНЫХ ОТКЛИКОВ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛОВЫХ ФАКТОРОВ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ВАГОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

В общем виде изложен метод косвенной регистрации совокупности силовых факторов, действующих на деформируемые конструкции в зоне линейной упругости. Дано подробное теоретическое обоснование метода: его математические аспекты и физическая интерпретация. Сформулировано математическое условие физически адекватного выбора совокупности силовых факторов, действующих на конструкцию. Приведены априорные оценки, показывающие, как погрешность входных данных влияет на точность оценок значений силовых факторов.

ходовые динамические испытания, регистрация значений сил.

Введение

Выявленное в последнее время значительное число случаев изломов боковых рам тележек грузовых вагонов актуализировало вопрос об эффективных и достаточно точных для инженерной практики способах экспериментальной регистрации силовых факторов, действующих на вагонные конструкции, в частности, на боковую раму тележки. Традиционно используемые в практике ходовых динамических испытаний тензорезисторные схемы [1, с. 92] хорошо зарекомендовали себя в случаях, когда на исследуемый узел действует только один силовой фактор. Использование нескольких схем для регистрации нескольких силовых факторов, действующих на одну и ту же упругую конструкцию, невозможно из-за того, что каждая схема будет реагировать на каждый вид нагрузки, т. е. действия нагрузок нельзя будет отделить друг от друга.

1 Описание и обоснование метода

Метод измерения нагрузок, рассматриваемый в настоящей работе, не предполагает объединения тензометрических датчиков в схемы. Каждый из датчиков реагирует на каждый вид нагрузки, а расчетная интерпретация показаний всех датчиков позволяет узнать, какая именно нагрузка и в каком количестве была приложена. Эта расчетная интерпретация предполагает линейно-упругий характер реакции конструкции на инте-

ресующие силовые факторы (закон Гука и принцип суперпозиции) и, если отвлечься от конкретных особенностей какой-либо вагонной конструкции, описывается в рамках следующего математического формализма.

Допустим, нас интересуют N силовых факторов, нагружающих конструкцию (значения j-го силового фактора обозначаются далее через F_j). Для их регистрации на конструкции размещены K тензодатчиков (отклики i-го датчика обозначаются далее через S_i). Отметим, что на практике K значительно больше, чем N, что и будет предполагаться далее в тексте. Линейный характер зависимости откликов датчиков от нагрузок математически выражается в виде:

$$\begin{bmatrix} S_1 \\ \vdots \\ S_K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & \cdots & g_{1N} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ g_{K1} & \cdots & g_{KN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 \\ \vdots \\ F_N \end{bmatrix}$$

или в краткой записи:

$$S = \hat{G} \cdot F, \qquad (1)$$

где

$$S = \begin{bmatrix} S_1 \\ \vdots \\ S_K \end{bmatrix}; \; F = \begin{bmatrix} F_1 \\ \vdots \\ F_N \end{bmatrix};$$

$$\hat{G} = \begin{bmatrix} g_{11} & \cdots & g_{1N} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ g_{K1} & \cdots & g_{KN} \end{bmatrix}.$$

Коэффициенты g_{ij} *матрицы влияния* $\hat{G}$ оцениваются по результатам тарировочных замеров. Физический смысл *коэффициентов влияния* g_{ij} есть отклик i-го датчика на единичную нагрузку от j до силового фактора, что математически выражается в виде очевидного тождества:

$$G_j = \hat{G} \cdot \Phi_j, \qquad (2)$$

в котором G_j – j-й столбец матрицы влияния; Φ_j – столбец из N элементов, все элементы которого равны нулю, кроме j-го, равного единице:

$$G_j = \begin{bmatrix} g_{1j} \\ \vdots \\ g_{Kj} \end{bmatrix};$$

$$\Phi_j = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \text{ (единица на } j\text{-м месте).} \qquad (3)$$

Физически адекватный выбор совокупности силовых факторов проявляется в максимальности ранга матрицы влияния $\hat{G}$:

$$\operatorname{rank}\left(\hat{G}\right) = N, \qquad (4)$$

т. е. линейной независимости ее столбцов. Чтобы доказать это предположение, рассудим следующим образом. Предположим противное: пусть среди столбцов матрицы $\hat{G}$ есть хотя бы один, являющийся линейной комбинацией остальных:

$$G_l = \sum_{j \neq l} \alpha_j \cdot G_j,$$

где α_j – какие-то числа.

Тогда, в силу (2):

$$G_l = \sum_{j \neq l} \alpha_j \cdot G_j = \sum_{j \neq l} \alpha_j \cdot \hat{G} \cdot \Phi_j =$$

$$= \hat{G} \cdot \left(\sum_{j \neq l} \alpha_j \cdot \Phi_j \right).$$

Равенство $G_l = \hat{G} \cdot \left(\sum_{j \neq l} \alpha_j \cdot \Phi_j \right)$ физически означает следующее: была приложена комбинированная нагрузка, вклад в которую внесли все силовые факторы, *кроме* l-го, однако отклик датчиков был таким, как будто была приложена единичная нагрузка *только* l-го силового фактора. Далее видно, что условие (4) выполнено.

Формула (1) позволяет вычислять отклики датчиков по известным нагрузкам. Для практики ходовых динамических испытаний важно решение обратной задачи – восстановления приложенных нагрузок по известным откликам датчиков. При этом необходимо учитывать, что, помимо полезного сигнала, несущего информацию об интересующих нас нагрузках (именно эти нагрузки и прикладывались к конструкции во время тарировочных замеров), от датчиков будет идти, условно говоря, *паразитный* сигнал, обусловленный как силовыми факторами, которыми конструкция не нагружалась при тарировках, так и погрешностями измерительной аппаратуры. В связи с этим целесообразно ввести следующую терминологию.

Результирующую нагрузку, возникающую при одновременном приложении нескольких (или всех) силовых факторов, участвовавших в тарировочных замерах, назовем *приводящейся к тарированным*; сюда же следует отнести нагрузку, которая становится таковой после пересчета сил на другие точки их приложения. Если величины одновременно приложенных силовых факторов $F_1, \ldots, F_N$, то, согласно принципу суперпозиции, отклик каждого датчика есть сумма откликов на каждый силовой фактор:

$$S = F_1 \cdot G_1 + \ldots + F_N \cdot G_N = \hat{G} \cdot \begin{bmatrix} F_1 \\ \vdots \\ F_N \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Напомним, что через G_j нами обозначен столбец из величин откликов на единичную нагрузку j-го силового фактора, см. (3). Линейно-независимые вектор-столбцы $G_1, \ldots, G_N$ будем называть *базисными откликами (датчиков)*. Множество всех K-мерных вектор-столбцов S, представимых в виде (5), обозначим через S^N. Это множество есть N-мерное векторное подпространство в K-мерном векторном пространстве S^K всевозможных K-мерных вектор-столбцов. Вектор-столбцы $G_1, \ldots, G_N$ образуют базис S^N. На пространстве S^K рассмотрим стандартное евклидово скалярное произведение:

$$R, S = R_1 \cdot S_1 + \ldots + R_K \cdot S_K = R' \cdot S = S' \cdot R,$$

где R и S – два произвольных вектор-столбца пространства S^K, штрихом (здесь и далее по тексту) обозначается операция транспонирования матрицы.

Обозначим через $S_\perp^{K-N}$ ортогональное дополнение пространства S^N до пространства S^K, т. е. множество вектор-столбцов $R \in S^K$ ортогональных всем векторам $S \in S^N$:

$$S_\perp^{K-N} = \left\{ R \in S^K \,|\, \forall S \in S^N \quad R, S = 0 \right\}.$$

Согласно одной из общих теорем линейной алгебры [3, с. 117] пространство S^K является прямой суммой пространств S^N и $S_\perp^{K-N}$ (обычно это записывают в виде $S^K = S^N \oplus S_\perp^{K-N}$. Последнее буквально означает, что каждый вектор-столбец $S \in S^K$ однозначно представим в виде суммы своих ортогональных проекций $S_\parallel \in S^N$ и $S_\perp \in S_\perp^{K-N}$ на эти подпространства:

$$S = S_\parallel + S_\perp = F_1 \cdot G_1 + \ldots + F_N \cdot G_N + S_\perp. \quad (6)$$

Рассмотрим отклик S на произвольную нагрузку. Возможны два взаимоисключающих случая:

а) Отклик S имеет вид (5), т. е. $S = S_\parallel$, а $S_\perp = 0$. Это значит, что была приложена только нагрузка, приводящаяся к тарированным.

б) У отклика есть ненулевая ортогональная к S^N составляющая $S = S_\parallel + S_\perp$, $S_\perp \neq 0$, которую мы назовем *паразитным* откликом, в отличие от *полезного* отклика $S_\parallel$. Полезный сигнал обусловлен нагрузкой, приводящейся к тарированной нагрузке. Паразитный сигнал обусловлен некой не приводящейся к тарированным *дополнительной* нагрузкой и погрешностями измерительного комплекса.

Наша задача – выделить полезный сигнал из зафиксированного приборами, т. е. найти коэффициенты F_j в разложении (6).

Коэффициенты разложения $F_1, \ldots, F_N$ проекции находим стандартными методами линейной алгебры: домножим скалярно ра-

венство (6) на вектор-столбец G_i. С учетом того, что G_i, $S_\perp = 0$, получим:

$$G_i, S = G_i, G_1 \cdot F_1 + \ldots + G_i, G_N \cdot F_N.$$

Мы имеем N таких равенств ($i \in \{1, \ldots, N\}$), которые удобно записать в матричном виде:

$$\begin{bmatrix} G_1, G_1 & \ldots & G_1, G_N \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ G_N, G_1 & \ldots & G_N, G_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 \\ \vdots \\ F_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_1, S \\ \vdots \\ G_N, S \end{bmatrix},$$

откуда

$$F = \begin{bmatrix} F_1 \\ \vdots \\ F_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_1, G_1 & \ldots & G_1, G_N \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ G_N, G_1 & \ldots & G_N, G_N \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} G_1, S \\ \vdots \\ G_N, S \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где верхний индекс ($^{-1}$) обозначает обращение матрицы.

Невырожденность матрицы $\Gamma = [G_i, G_j]$, т. е. существование матрицы Γ^{-1}, гарантируется условием (4).

Поскольку $G_i, G_j = G_i' \cdot G_j$ и G_i' есть i-я строка матрицы $\hat{G}'$,

$$\begin{bmatrix} G_1, G_1 & \ldots & G_1, G_N \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ G_N, G_1 & \ldots & G_N, G_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_1' \cdot G_1 & \ldots & G_1' \cdot G_N \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ G_N' \cdot G_1 & \ldots & G_N' \cdot G_N \end{bmatrix} = \hat{G}' \cdot \hat{G};$$

$$\begin{bmatrix} G_1, S \\ \vdots \\ G_N, S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_1' \cdot S \\ \vdots \\ G_N' \cdot S \end{bmatrix} = \hat{G}' \cdot S$$

и (7) можно представить в виде:

$$F = \left(\hat{G}' \cdot \hat{G}\right)^{-1} \cdot \hat{G}' \cdot S. \quad (8)$$

Поскольку $\hat{G}$ – матрица полного ранга, произведение $\left(\hat{G}' \cdot \hat{G}\right)^{-1} \cdot \hat{G}'$ совпадает с так называемой псевдообратной матрицей Мура–Пенроуза [4, с. 61], традиционно обозначаемой через $\hat{G}^+$:

$$\left(\hat{G}' \cdot \hat{G}\right)^{-1} \cdot \hat{G}' = \hat{G}^+$$

и формула (8) редуцируется до

$$F = \hat{G}^+ \cdot S. \quad (9)$$

Описанная методика выделения полезного сигнала в формулировке (9) ранее предлагалась в докладе [2]. Наш подход к этому вопросу содержит физическую интерпретацию математической операции (8) и показывает, что описанный метод выделения полезного сигнала является точным в рамках принятой математической модели.

Следует также отметить, что одно из важнейших свойств псевдообратных матриц [5, с. 234] заключается в том, что вектор-столбец $\hat{G}^+ \cdot S$ является решением системы уравнений (1), в которой неизвестным считается столбец F, в смысле наименьших квадратов. Это означает, что невязка $\left\|\hat{G} \cdot F - S\right\|$ при $F = \hat{G}^+ \cdot S$ принимает наименьшее значение:

$$\left\|\hat{G} \cdot \left(\hat{G}^+ \cdot S\right) - S\right\| = \min_{F \in R^N} \left\|\hat{G} \cdot F - S\right\|,$$

где $\|S\| = \sqrt{S_1^2 + \ldots + S_K^2}$.

Таким образом, ортогональная проекция $S_\parallel$ отклика S, а S^N является ближайшим (в смысле евклидова расстояния) к S откликом, лежащим в подпространстве S^N. Другими словами, выделяя из отклика S-го часть $S_\parallel$, соответствующую нагрузке, приводящейся к тарированным, мы исходим из минимума расстояния $\left\|S - S_\parallel\right\|$ между откликами. Последняя величина есть также евклидова длина $\|S_\perp\|$ отклика датчиков $S_\perp$ на паразитную нагрузку. Поэтому выбор в качестве $S_\parallel$ ортогональной проекции S, а S^N можно назвать *принципом минимальной паразитной нагрузки*.

2 Оценка погрешности метода

Как было отмечено выше, изложенный метод восстановления нагрузок, приводящихся к тарированным, следует считать точным в рамках принятой математической модели. Возможная погрешность δF при восстановлении значений силовых факторов F может быть обусловлена лишь погрешностью δS входного сигнала S, вызванной ограниченной точностью измерительного комплекса. Если вместо точного значения S входного сигнала нам известно его искаженное значение $S + \delta S$, то выходной сигнал тоже будет искажен – вместо точного значения F мы восстановим некоторое $F + \delta F$. Кроме того, вместо точного значения $\hat{G}$ матрицы влияния нам известно ее несколько искаженное значение $\hat{G} + \delta\hat{G}$. Таким образом, при восстановлении силовых факторов вместо решения F уравнения (1) мы получим решение $F + \delta F$ уравнения:

$$\left(\hat{G} + \delta\hat{G}\right)\cdot\left(F + \delta F\right) = S + \delta S. \qquad (10)$$

Получим оценку погрешности δF решения через погрешности $\delta\hat{G}$ и δS входных данных. Для этого определим *число обусловленности* $\chi(A)$ матрицы A по отношению к норме $\|\cdot\|$ как

$$\chi(A) = \left\|A^{+}\right\|\cdot\left\|A\right\|,$$

где $\|\cdot\|$ – норма на пространстве всех $K\times N$-матриц. В литературе по вычислительным аспектам линейной алгебры число обусловленности определяется только для невырожденных квадратных матриц как $\chi(A) = \left\|A^{-1}\right\|\cdot\left\|A\right\|$ [6, с. 404]. Наше определение числа обусловленности является очевидным и естественным обобщением.

Далее будем предполагать, что нормы на пространствах матриц и вектор-столбцов *согласованы* [6, с. 355]. Это значит, что для любой $K\times N$-матрицы и любого столбца v из N элементов выполняется неравенство:

$$\left\|A\cdot v\right\| \le \left\|A\right\|\cdot\left\|v\right\|.$$

Примеры согласованных норм [6]:

$$\left\|v\right\|_1 = \sum_{i=1}^{N}\left|v_i\right|, \quad \left\|A\right\|_1 = \max_{1\le j\le N}\left(\sum_{i=1}^{K}\left|A_{ij}\right|\right).$$

$$v_\infty = \max\left\{\left|v_1\right|,\ldots,\left|v_N\right|\right\},\ A_\infty = \max_{1\le i\le K}\left(\sum_{j=1}^{N}\left|A_{ij}\right|\right).$$

В приводимых далее выкладках будет использовано то, что для матрицы A, имеющей полный ранг по столбцам, выполняется равенство:

$$A^{+}\cdot A = I,$$

где I – единичная матрица, что легко вытекает из соотношения $A^{+} = (A'\cdot A)^{-1}\cdot A'$.

В самом деле, $A^{+}\cdot A = (A'\cdot A)^{-1}\cdot\left(A'\cdot A\right) = I$.

Раскрыв скобки и учитывая, что $\hat{G}\cdot F = S$, перепишем (10) в виде:

$$\left(\hat{G} + \delta\hat{G}\right)\cdot\delta F = \delta S - \delta\hat{G}\cdot F$$

или, после домножения слева на $\left(\hat{G} + \delta\hat{G}\right)^{+}$, в виде:

$$\delta F = \left(\hat{G} + \ddot{a}\hat{G}\right)^{+}\cdot\left(\delta S - \ddot{a}\hat{G}\cdot F\right).$$

Используя согласованность норм и неравенство треугольника, оценим сверху $\left\|\delta F\right\|$:

$$\left\|\delta F\right\| \le \left\|\left(\hat{G} + \delta\hat{G}\right)^{+}\right\|\cdot\left\|\delta S - \delta\hat{G}\cdot F\right\| \le$$

$$\le \left\|\left(\hat{G} + \delta\hat{G}\right)^{+}\right\|\cdot\left(\left\|\delta S\right\| + \left\|\delta\hat{G}\right\|\cdot\left\|F\right\|\right) =$$

$$= \frac{\chi\left(\hat{G} + \delta\hat{G}\right)}{\left\|\left(\hat{G} + \delta\hat{G}\right)\right\|}\cdot\left(\frac{\left\|\hat{G}\cdot F\right\|}{\left\|S\right\|}\cdot\left\|\delta S\right\| + \left\|\delta\hat{G}\right\|\cdot\left\|F\right\|\right) \le$$

$$\le \frac{\chi\left(\hat{G} + \delta\hat{G}\right)}{\left\|\left(\hat{G} + \delta\hat{G}\right)\right\|}\cdot\left(\frac{\left\|\hat{G}\right\|\cdot\left\|F\right\|}{\left\|S\right\|}\cdot\left\|\delta S\right\| + \left\|\delta\hat{G}\right\|\cdot\left\|F\right\|\right) =$$

$$= \chi\left(\hat{G} + \delta\hat{G}\right) \times$$

$$\times \left(\frac{\left\|\hat{G}\right\|}{\left\|\left(\hat{G} + \delta\hat{G}\right)\right\|} \cdot \frac{\left\|\delta S\right\|}{\left\|S\right\|} + \frac{\left\|\delta\hat{G}\right\|}{\left\|\left(\hat{G} + \delta\hat{G}\right)\right\|} \right) \cdot \left\|F\right\|,$$

откуда, разделив последнее неравенство на $\left\|F\right\|$, получим:

$$\frac{\left\|\delta F\right\|}{\left\|F\right\|} \le \chi\left(\hat{G} + \delta\hat{G}\right) \times$$

$$\times \left(\frac{\left\|\hat{G}\right\|}{\left\|\left(\hat{G} + \delta\hat{G}\right)\right\|} \cdot \frac{\left\|\delta S\right\|}{\left\|S\right\|} + \frac{\left\|\delta\hat{G}\right\|}{\left\|\left(\hat{G} + \delta\hat{G}\right)\right\|} \right). \quad (11)$$

Величина в скобке в правой части (11) имеет порядок относительной погрешности входных данных, левая часть – относительную погрешность решения. Следовательно, число обусловленности $\chi(\hat{G} + \delta\hat{G})$ определяет, насколько погрешность входных данных может повлиять на погрешность решения.

Если тарировочные замеры проведены настолько аккуратно, что погрешностями тарировочных измерений можно пренебречь по сравнению с погрешностями δS откликов датчиков, полученных в результате ходовых динамических испытаний, то можно условно считать, что коэффициенты влияния известны точно, и относительную погрешность решения оценивать с помощью неравенства, получающегося из (11) при $\delta\hat{G} = 0$:

$$\frac{\left\|\delta F\right\|}{\left\|F\right\|} \le \chi\left(\hat{G}\right) \cdot \frac{\left\|\delta S\right\|}{\left\|S\right\|}.$$

Величину $\chi(\hat{G})$ можно использовать как одну из оценок качества схемы расстановки тензодатчиков при поиске оптимальной схемы расстановки на компьютерной МКЭ-модели упругой конструкции: чем меньше $\chi(\hat{G})$, тем выше качество схемы расстановки.

Заключение

В настоящей статье были изложены математические аспекты обоснования экспериментального определения силовых факторов методом ортогонального проектирования на векторное пространство базисных откликов датчиков. Однако в данной статье не были рассмотрены вопросы выбора количества датчиков и мест их расположения на исследуемой конструкции, которые во многом зависят от ее особенностей. Поскольку эти вопросы могут оказать существенное влияние на качество экспериментальных исследований, они будут изложены авторами в последующих публикациях применительно к конкретным конструктивным элементам.

Библиографический список

1. **РД 24.050.37–95.** Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. – Москва : ГосНИИВ, 1995. – 104 с.

2. **Экспериментальное** определение сил взаимодействия рамы тележки и буксы транспортного средства при его движении по рельсовому пути / И. И. Вучетич, Б. А. Деркач, П. В. Поршнев, К. Н. Ляпшин // VII Международная научно-техническая конференция «Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты». Тезисы докладов. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2011. – С. 21–22.

3. **Курс** линейной алгебры и многомерной геометрии / Р. А. Шарипов. – Уфа : БашГУ, 1996. – 148 с.

4. **Матричное** дифференциальное исчисление с приложениями к статистике и эконометрике / Я. Р. Магнус, Х. М. Нейдекер. – Москва : Физматлит, 2002. – 496 с.

5. **Машинные** методы математических вычислений / Дж. Форсайт, М. Малькольм, К. М. Моулер. – Москва : Мир, 1980. – 280 с.

6. **Матричный** анализ / Р. Хорн, Ч. Джонсон. – Москва : Мир, 1989. – 656 с.

УДК 625

Н. Ю. Лизунов
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ТЕПЛОПОТЕРИ И ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ МЕТАНТЕНКА МОБИЛЬНОГО БИОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ КАЗАХСТАНА

Описан горизонтальный мобильный метантенк для переработки отходов и получения биогаза. Брожение в нем происходит поэтапно в две стадии, каждая из которых протекает в отдельной секции устройства. По результатам анализа теплопотерь метантенка введен алгоритм их определения, рассчитана эффективность 4-х типов теплоизоляции и обоснована целесообразность ее применения в летний и зимний периоды. В результате исследования на основе анализа стоимости за 1 м^2 и итоговых данных о теплопотерях была подобрана оптимальная теплоизоляция метантенка.

биогазовая установка, метантенк, выработка биогаза, теплоизоляция, тепловые потери, теплопроводность, теплопередача.

Введение

Метантенк представляет собой резервуар для биологической переработки путем анаэробного (без доступа воздуха) сбраживания бытовых, сельскохозяйственных и других пригодных для переработки сырья и получения биогаза отходов.

Применение биотехнологий для производства электрической и тепловой энергии актуально во всем мире, однако для развивающихся стран, таких как Бразилия, Индия, Казахстан, – это хорошее решение проблемы утилизации отходов с получением большого количества положительных эффектов.

1 Переработка биоотходов в метантенке

Распад органических веществ в метантенках протекает в две фазы. В первой фазе из углеводов, жиров и белков образуются жирные кислоты, водород и аминокислоты. Во второй – происходит разрушение кислот с образованием преимущественно метана и углекислого газа. В качестве сырья для переработки в метантенк подаются измельченные отходы. Для улучшения процесса выхода сбраживаемую массу подогревают и перемешивают. Различают мезофильное (при температуре 30…35 °С) и термофильное (при температуре 50…55 °С) сбраживание. При термофильном сбраживании процесс распада проходит быстрее. Биогаз – смесь газов, выделяющихся при сбраживании, состоит преимущественно из метана (до 70%) и углекислого газа (до 30%).

Для поддержания однородности бродящей массы в метантенках предусмотрена система перемешивания. Гидравлическое перемешивание (насосами, гидроэлеваторами) применяют для небольших объемов, если объем более 2000 м^3, используют пропеллерные мешалки.

Схема исследуемого горизонтального метантенка представлена на рис. 1 [1].

Так как одним из основных условий выработки биогаза является поддержание определенной температуры процесса брожения, большое внимание нужно уделить вопросу теплопотерь через ограждающие конструкции метантенка.

В климатических условиях Казахстана стационарные биогазовые установки, так же как и мобильные, нуждаются в дополнительной теплоизоляции. В комплексе на железнодорожном ходу актуальность ее применения обуславливается не только возможностью использования станции при отрица-

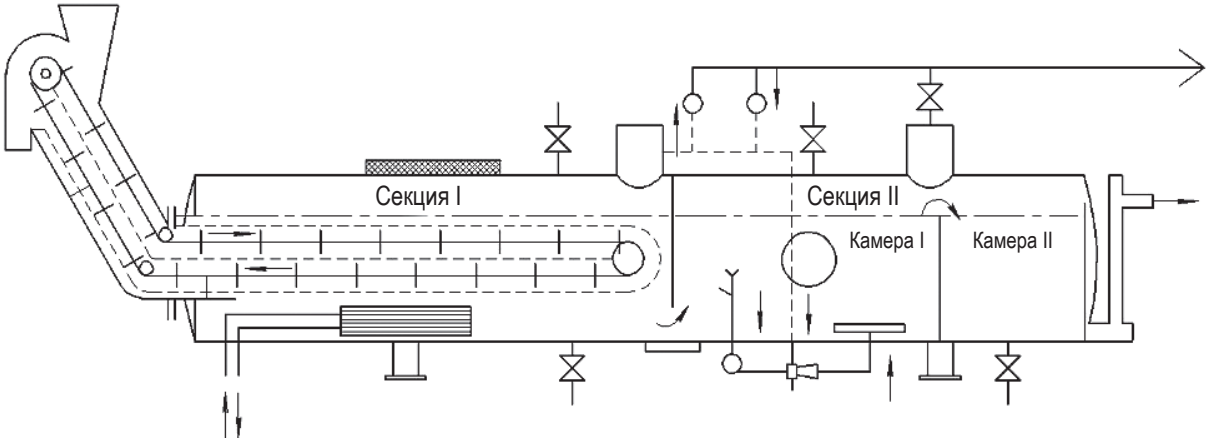


Рис. 1. Горизонтальный метантенк

тельных температурах, но также особенностью ее эксплуатации, а именно омыванием метантенка встречными потоками воздуха, которые увеличивают интенсивность теплообмена между поверхностью и окружающей средой.

2 Расчет теплопотерь мобильного метантенка в зимний и летний периоды

Примем, что метантенк – это цельнометаллическая конструкция (рис. 2), выполненная из котельной стали толщиной $\delta_{ст}$ = = 28 мм. В качестве утеплителя применены четыре вида теплоизоляции, покрытые стеклотканью толщиной $\delta_{ств}$ = 5 мм. Параметры материалов приведены в табл. 1.

Расчетные габаритные размеры:

$D_{в}$ = 2,444 м

$D_{н}$ = 2,5 м

$D_{из}$ = 2,7 м

$D_{об} = D_{ств}$ = 2,71 м

В расчете учитывали теплоотдачу от боковых поверхностей и цилиндрической части мобильного метантенка, движущегося в составе комплекса со скоростью 70 км/ч к воздуху, и температуры воздуха для:

– зимнего периода: $t_{воз}$ = –40 °C;

– летнего периода: $t_{воз}$ = +30 °C.

Теплообмен рассмотрен для случаев отсутствия тепловой изоляции и ее наличия. Теплофизические характеристики воздуха для выбранной температуры приняты по работе [2].

По значению числа Рейнольдса определяем характер течения:

$$\mathrm{Re}_{ц} = \frac{w_{воз} \cdot l_{ц}}{v_{воз}},$$

где $v_{воз}$ – коэффициент кинематической вязкости, м^2/с; $w_{воз}$ – скорость движения воздуха, м/с; $l_{ц}$ – длина метантенка.

ТАБЛИЦА 1. Параметры теплоизоляции [5] – [7]

Изоляция	Коэффициент теплопроводности, λ Вт/м·град	Толщина, мм
PAROC UNS 37	0,037	100
ТЕХНОНИКОЛЬ 100	0,039	100
ISOVER ВентФасад Оптима	0,034	100
URSA GLASSWOOL M-15	0,04	100

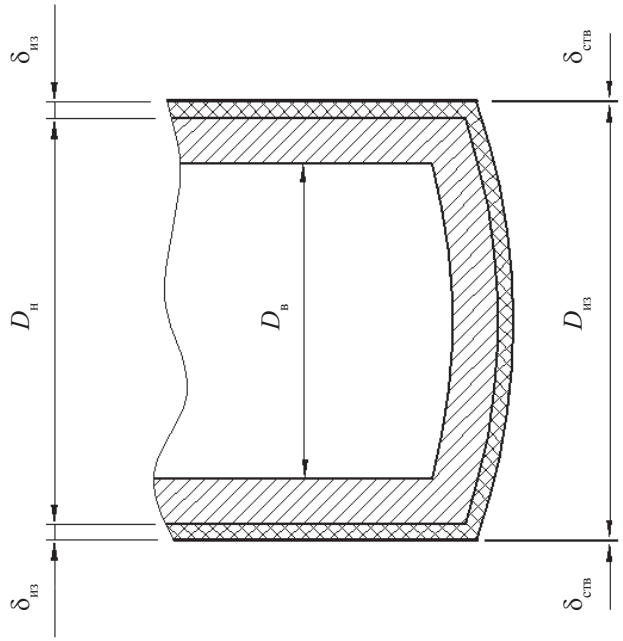


Рис. 2. Элемент метантенка с теплоизоляцией

Для определение условий протекания процессов омывания поверхности определяем число Нусельта [3]:

$$\mathrm{Nu}_{\text{ц}} = 0,037 \cdot \mathrm{Re}^{0,8}.$$

Значение коэффициента теплоотдачи цилиндрической части к воздуху $\alpha_{\text{ц}}$ [3]:

$$\alpha_{\text{ц}} = 7,34 \cdot \nu^{0,656}.$$

Коэффициент теплопередачи через цилиндрическую часть мобильного метантенка имеет вид:

$$\mathrm{K}_{\text{ц}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{ц}}^{\text{сом}}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_{\text{из}}}{\lambda_{\text{из}}} + \frac{\delta_{\text{ств}}}{\lambda_{\text{ств}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{ц}}}},$$

где $\alpha_{\text{ц}}^{\text{сом}}$ – коэффициент теплоотдачи внутри метантенка, Вт/(м^2·град); ($\alpha_{\text{ц}}^{\text{сом}}$ = 1,3 Вт/(м^2·град) [4]).

Тепловой поток ($Q_{\text{ц}}$, Вт) через цилиндрическую часть мобильного метантенка определяем уравнением:

$$Q_{\text{ц}} = \mathrm{K}_{\text{ц}} \cdot \pi \cdot D_{\text{ц}} \cdot l_{\text{ц}} \cdot \left(t_{\text{сом}} - t_{\text{воз}}\right),$$

где $t_{\text{сом}}$ – температура внутри бака для сбраживания, °С.

Теплообмен боковых поверхностей метантенка с воздухом рассматриваем как поперечное омывание жидкостью плоской стенки.

Тепловой поток через стенку:

$$Q_{\text{б}} = \frac{\mathrm{K}_{\text{б}} \cdot \pi \cdot D_{\text{б}}^2 \left(t_{\text{сом}} - t_{\text{воз}}\right)}{4}.$$

Общий тепловой поток наружных поверхностей метантенка:

$$Q_{\text{общ}} = 2 \cdot Q_{\text{б}} + Q_{\text{ст}}.$$

Сводные результаты расчетов представлены в табл. 2 и 3.

Применяя данную методику расчета, можно определить теплопотери мобильного метантенка при определенных условиях, что позволит рассчитать необходимый расход греющего теплоносителя и определить количество биогаза, необходимого для поддержания температурного режима сбраживания биомассы.

На рис. 3 представлена средняя стоимость теплоизоляции. Исходя из расчетов тепло-

ТАБЛИЦА 2. Теплопотери метантенка в окружающую среду при применении различной теплоизоляции в зимний период

Теплоизоляция		Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К)	Коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К)	Тепловой поток, Вт	Суммарный тепловой поток, Вт
без изоляции	цилиндр	52,4	1,27	12691	13875
	суммарная торцевая поверхность	52,4	1,27	1184	
PAROC UNS 37	цилиндр	52,4	0,85	8494	9286
	суммарная торцевая поверхность	52,4	0,85	792	
ТЕХНО-НИКОЛЬ 100	цилиндр	52,4	0,86	8594	9396
	суммарная торцевая поверхность	52,4	0,86	802	
ISOVER ВентФасад Оптима	цилиндр	52,4	0,84	8394	9176
	суммарная торцевая поверхность	52,4	0,84	782	
URSA GLASS-WOOL М-15	цилиндр	52,4	0,87	8694	9504
	суммарная торцевая поверхность	52,4	0,87	810	

ТАБЛИЦА 3. Теплопотери метантенка в окружающую среду при применении различной теплоизоляции в летний период

Теплоизоляция		Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К)	Коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К)	Тепловой поток, Вт	Суммарный тепловой поток, Вт
без изоляции	цилиндр	52,4	1,27	3340	3652
	суммарная торцевая поверхность	52,4	1,27	312	
PAROC UNS 37	цилиндр	52,4	0,85	2235	2443
	суммарная торцевая поверхность	52,4	0,85	208	

Окончание табл. 3

Теплоизоляция		Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К)	Коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К)	Тепловой поток, Вт	Суммарный тепловой поток, Вт
ТЕХНО-НИКОЛЬ 100	цилиндр	52,4	0,86	2262	2474
	суммарная торцевая поверхность	52,4	0,86	212	
ISOVER ВентФасад Оптима	цилиндр	52,4	0,84	2209	2415
	суммарная торцевая поверхность	52,4	0,84	206	
URSA GLASS-WOOL М-15	цилиндр	52,4	0,87	2288	2502
	суммарная торцевая поверхность	52,4	0,87	214	

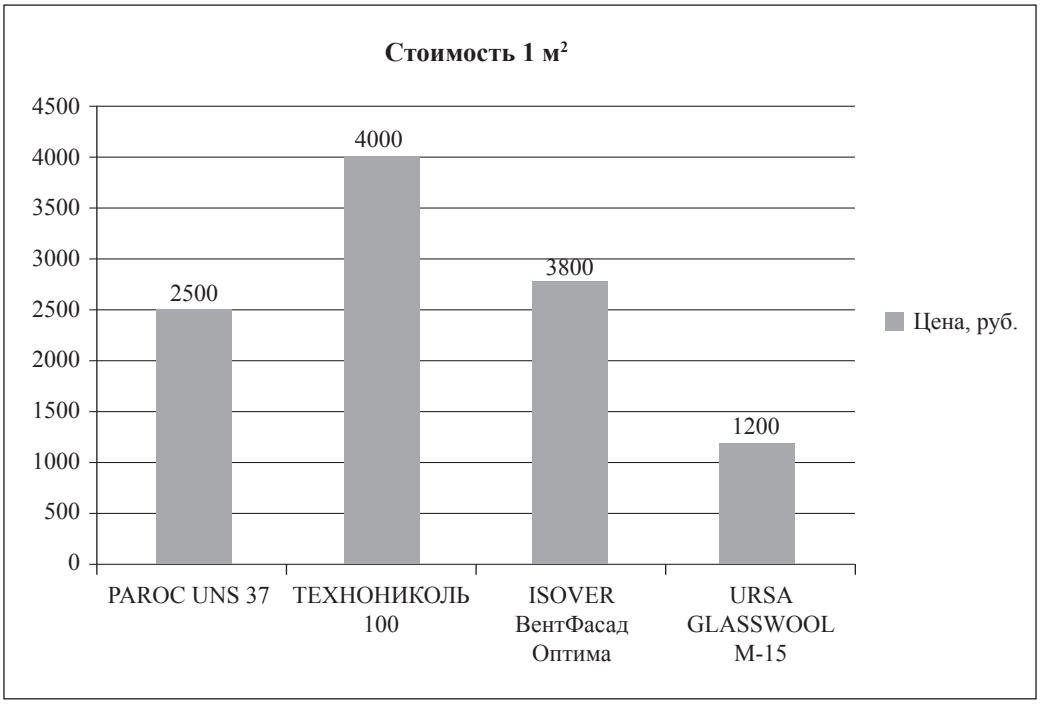


Рис. 3. Средняя стоимость 1 м² теплоизоляции толщиной 100 мм [5] – [7]

потерь и стоимости изоляции можно подобрать наиболее рациональный материал для изолирования ограждающих конструкций метантенка.

Заключение

1. Применение тепловой изоляции позволяет снизить тепловые потери в окружаю-

щую среду, следовательно сократить расход греющего теплоносителя.

2. Теплоизоляция позволяет уменьшить количество тепловой энергии, необходимой для поддержания стабильного процесса переработки отходов, следовательно обеспечивает более стабильное сбраживание, при котором образование биогаза происходит быстрее и без остатка его в переработанной массе.

3. В качестве теплоизоляции рекомендуется применять PAROC UNS 37, так как у него наилучшее соотношение цены и изолирующих свойств.

4. Использование теплоизоляции в летний период также считается целесообразным.

Библиографический список

1. **Изобретение** Патент Российской Федерации RU2250878. Метантенк [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.shram.kiev.ua/top/patents_gas/gas_3/gas_60.shtml.

2. **Теплотехника** на подвижном составе железных дорог / И. Г. Киселев. – Москва : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2008. – 278 с.

3. **Теплообменные** процессы при эксплуатации вагонов / Б. Н. Китаев. – Москва : Транспорт, 1984. – 184 с.

4. **Теплообмен** с окружающей средой метантенка для сбраживания биомассы / О. В. Чеботарева, В. А. Сербин, Н. В. Колосова // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2010. – № 6. – С. 86.

5. **Прошивной** мат технониколь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://spb.pulscen.ru/products/tekhnonikol_4000kh1200kh100_7570706.

6. **Web сайт** Группа Компаний СТРОИТЕЛЬ [Электронный ресурс] / URSA GLASSWOOL М-15. – Режим доступа: http://linspb.ru/URSA-GLASSWOOL–M-15-URSA-GEO-M-15.html.

7. **Web сайт** Группа Компаний СТРОИТЕЛЬ [Электронный ресурс] / Изовер ВентФасад Оптима. – Режим доступа: http://linspb.ru/Изовер-ВентФасад-Оптима.html.

УДК 621.316.722.076.12

А. Н. Марикин, В. А. Мирощенко
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

АДАПТИВНОЕ УСТРОЙСТВО ПОПЕРЕЧНОЙ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ТЯГОВОМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Рассмотрена одна из проблем тягового электроснабжения на переменном токе – наличие реактивной составляющей мощности в сети. Предложен перспективный способ компенсации на основе управляемого шунтирующего реактора трансформаторного типа. Описан принцип работы компенсатора и приведена его электрическая схема, на основе которой создана математическая модель устройства, реализованная в программе MATLAB Simulink.

Результаты моделирования представлены в виде графиков и гистограмм токов и напряжений в контактной сети. По ним сформулированы выводы об эффективности работы устройства в сетях тягового электроснабжения. Предложен вариант улучшения конструкции компенсатора с помощью введения в схему фильтров высших гармоник с целью увеличения энергоэффективности.

компенсация реактивной мощности, тяговая сеть переменного тока, шунтирующий реактор.

Введение

В настоящее время имеется большое количество схемотехнических решений устройств параллельной компенсации реактивной мощности для тяговой сети переменного тока, основным элементом которых является конденсаторная батарея. Адаптивность к нагрузке батареи конденсаторов достигается разными способами, например, разделением их на группы и осуществлением переключения между ними с помощью контакторов или изменением емкости с помощью тиристорных групп и др.

Все эти решения в той или иной мере обладают ограниченными возможностями по изменению реактивной мощности в зависимости от нагрузки тяговой сети.

Авторами предлагается адаптивное устройство компенсации реактивной мощности на основе управляемого шунтирующего реактора трансформаторного типа (УШРТ). Такое устройство применялось в Индии на высоковольтных сетях переменного тока [1]. В России в апреле этого года было завершено создание опытной модели УШРТ на 500 кВ и мощностью 180 МВАр. Ранее были рассмотрены варианты компенсирующих устройств с шунтирующими реакторами, управление которыми производится либо намагничиванием постоянным током с трансформаторной развязкой [2], либо тиристорными группами с электрической связью реактора и тяговой сети [3]. Рассматриваемое устройство отличается от ранее описанных.

1 Описание устройства

В общем случае УШРТ представляет собой трехфазный двухобмоточный реактор с обмоткой высокого напряжения (сетевой), подключаемой к шине высокого напряжения подстанции, и обмоткой низкого напряжения (обмоткой управления) с номинальным напряжением, значение которого зависит от мощности УШРТ. Отличительной особенностью электромагнитной части УШРТ является 100-процентная магнитная связь между сетевой обмоткой и обмоткой управления, что позволяет регулировать ток первичной обмотки путем изменения угла управления тиристоров, подключенных параллельно сетевой обмотке.

Если добавить к реактору третью обмотку, состоящую из батареи конденсаторов (компенсационную обмотку), можно использовать реактор как адаптивное устройство компенсации реактивной мощности.

Электрическая схема устройства представлена на рис. 1. Трансформаторная подстанция является источником синусоидального напряжения $U_{п/ст}$. К шинам подстанции подключены трансформатор тока TA и трансформатор напряжения TV. Своими измерительными обмотками они подключены к цифровому фазометру φ, который передает значение измеренного угла по аналоговому каналу на микроконтроллер МК. Микроконтроллер осуществляет сравнение полученного сигнала с допустимой ошибкой и ПИД-регулирование.

Нагрузкой в схеме является источник тока $I_{п}$. Активное и индуктивное сопротивления в линии представлены на схеме как $R_{кс}$ и $L_{кс}$ соответственно. Ключевым элементом схемы является УШРТ. Он включен параллельно нагрузке линии, осуществляя поперечную компенсацию. Его компенсационная обмотка подключена к батарее конденсаторов С. Обмотка управления подключена к тиристорному блоку VS1 и VS2, управление которыми осуществляется с помощью формирователя управляющих импульсов, получающего сигналы с микроконтроллера.

В зависимости от угла управления тиристоров (от нуля до 90°) ток в обмотке управления изменяется от номинального до нулевого значения, а в сетевой обмотке от номинального индуктивного тока до емкостного, обусловленного батареей конденсаторов компенсационной обмотки. При полностью закрытых тиристорах в силовой обмотке индуцируется максимальный емкостной ток, что соответствует режиму максимальной компенсации. При полностью открытых тиристорах (обмотка управления замкнута накоротко) в силовой обмотке индуцируется индуктивный ток.

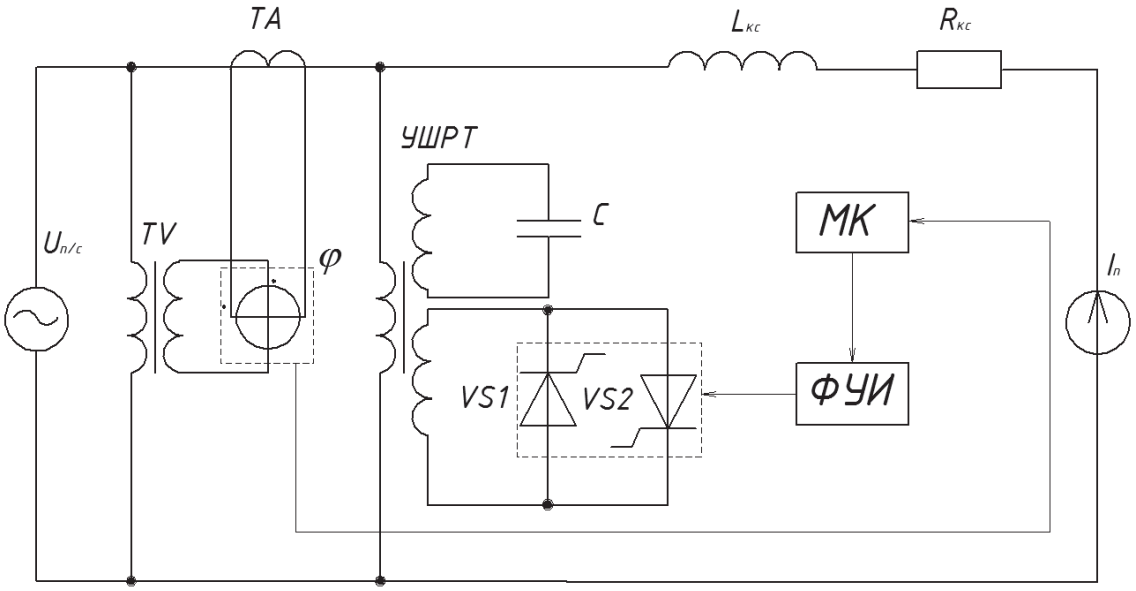


Рис. 1. Электрическая схема УШРТ

Таким образом, путем изменения угла управления тиристоров его ток можно изменять за полпериода промышленной частоты во всем диапазоне регулирования (например, от нуля до номинального тока). Потери мощности в таком реакторе такие же, как в трансформаторе аналогичной мощности.

Регулирование тока в силовой обмотке осуществляет цепь управления, которая формирует необходимые импульсы тиристоров.

2 Принцип работы модели

В микроконтроллере (МК) поступивший по аналоговому входу сигнал с фазометра (φ) преобразуется в дискретный сигнал и сравнивается на программном уровне с эталонным значением φ = 0 с учетом заданной погрешности ±Δ. Разница между действительным и заданным значением поступает на ПИД регулятор, где происходит формирование закона регулирования и команды на изменения угла открытия тиристоров. При значении угла больше эталонного осуществляется уменьшение угла управления тиристоров. При значении угла меньше эталонного генерируется команда на увеличения угла управления тиристоров.

Команды, поступающие с микроконтроллера, обрабатываются формирователем управляющих импульсов (ФУИ) и передаются на тиристоры.

На основе электрической схемы устройства была разработана математическая модель, реализованная средствами программного комплекса MATLAB Simulink. Моделирование проводилось с целью анализа работы устройства в реальной электротяговой сети. При моделировании решены следующие задачи:

– оценка сходимости ПИД-регулятора;

– оценка скорости регулирования;

– определение состава высших гармоник в тяговой сети во всем диапазоне регулирования реальной мощности.

3 Результаты моделирования

В процессе моделирования были получены результаты для разных значений тока в контактной сети. Предполагается, что кривая тока имеет синусоидальную форму. В реальных условиях она отличается от синусоиды из-за влияния выпрямителей электровоза, что позволяет оценить вклад компенсирующего устройства в гармонический состав тягового тока. В качестве примера используется близкое к максимальному для расчетного участка значение тока.

На рис. 2 представлены кривые тока и напряжения в контактной сети без подключенного устройства компенсации реактивной мощности.

На рис. 3 представлена кривая тока в контактной сети с подключенным устройством компенсации реактивной мощности для того же отрезка времени, что и без КУ. Из рисун-

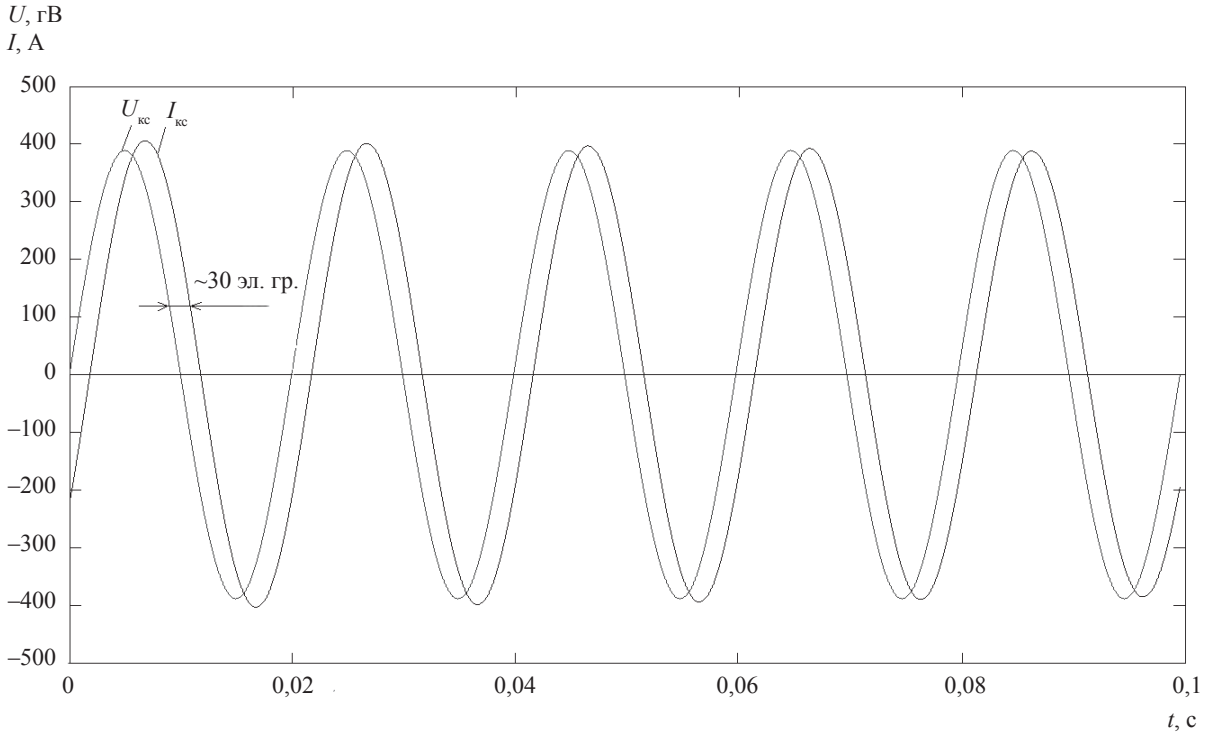


Рис. 2. Графики тока и напряжения без КУ

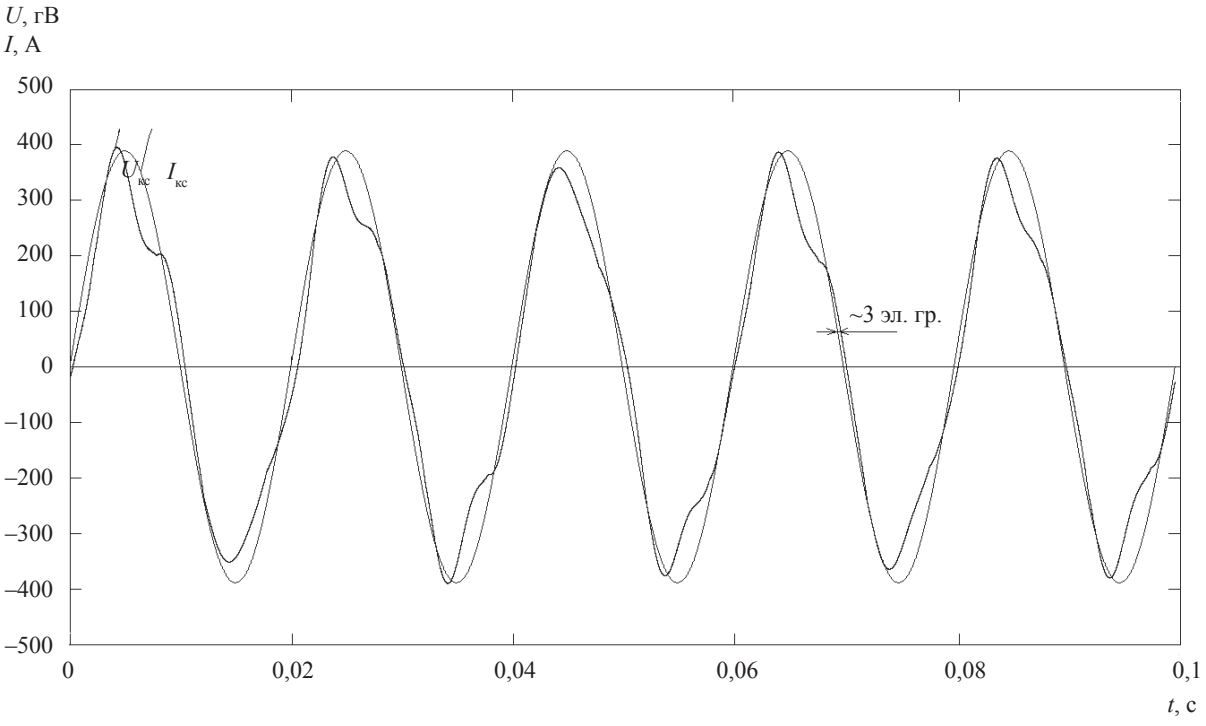


Рис. 3. Графики тока и напряжения с КУ

ка можно сделать вывод о хорошей сходимости ПИД-регулятора. Анализ диаграмм показывает, что уже через 5 периодов угол между током и напряжением не превышает четырех эл. град., в то время как при отсутствии КУ он остается равным 30 эл. град.

Следует отметить, что тиристоры в обмотке управления оказывают негативное влияние на качество электрической энергии, вызывая появление высших гармоник в токе реактора. Эти гармоники попадают в сеть и могут привести к таким последствиям, как повышение износа коммутационного оборудования, сбои в работе систем контроля, ошибки срабатывания выключателей и многое другое. Для рассмотрения гармонического состава кривой тока необходимо проанализировать кривую тока за один период (рис. 4).

Для определения гармонического состава кривой тока была применена стандартная функция программы MATLAB под названием «fft». Функция раскладывает численно заданную кривую в ряд Фурье. По результатам разложение кривой тока выделим следующие гармоники с их процентным соотношением от первой гармоники: 3-я гармоника – 14,08 %; 5-ая гармоника – 2,78 %; 7-ая гармоника – 0,15 %; 9-ая гармоника – 0,52 %; 13-ая гармоника – 0,28 %. Согласно ГОСТ 13109–97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения», 3-я гармоника должна быть не больше 3 %, 5-ая – не больше 2,5 %, 7-ая – не больше 2 %, 9 и 13 – не больше 1 % [4]. Результаты представлены на гистограмме (рис. 5).

Остальные гармоники составляют незначительную часть (менее 0,1 %), поэтому они не оказывают существенного влияния на качество электрической энергии.

Заключение

По результатам моделирования можно сделать следующие выводы:

1. Предложенное устройство компенсации реактивной мощности обладает широким диапазоном регулирования и возможностью подстраиваться под нагрузку, что делает его применение предпочтительным для сетей тягового электроснабжения.

2. Устройство должно быть снабжено фильтрами высших гармоник, которые устанавливаются в компенсационную обмотку. Фильтры настраиваются на третью и пятую

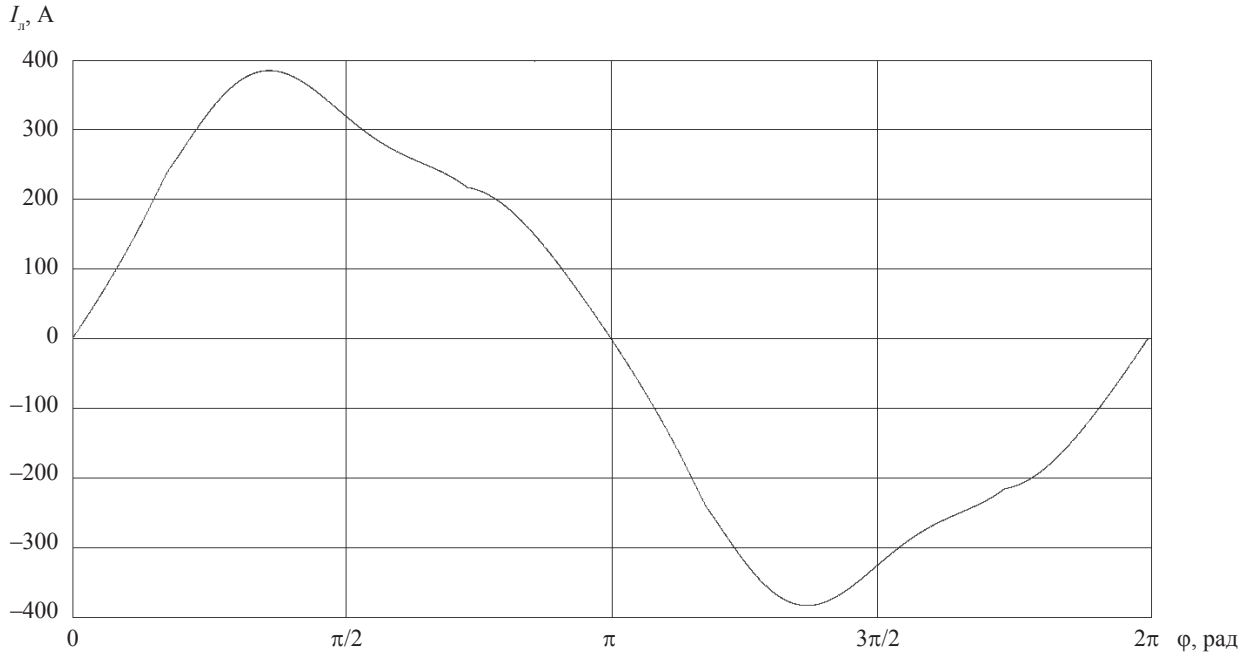


Рис. 4. Кривая тока за период

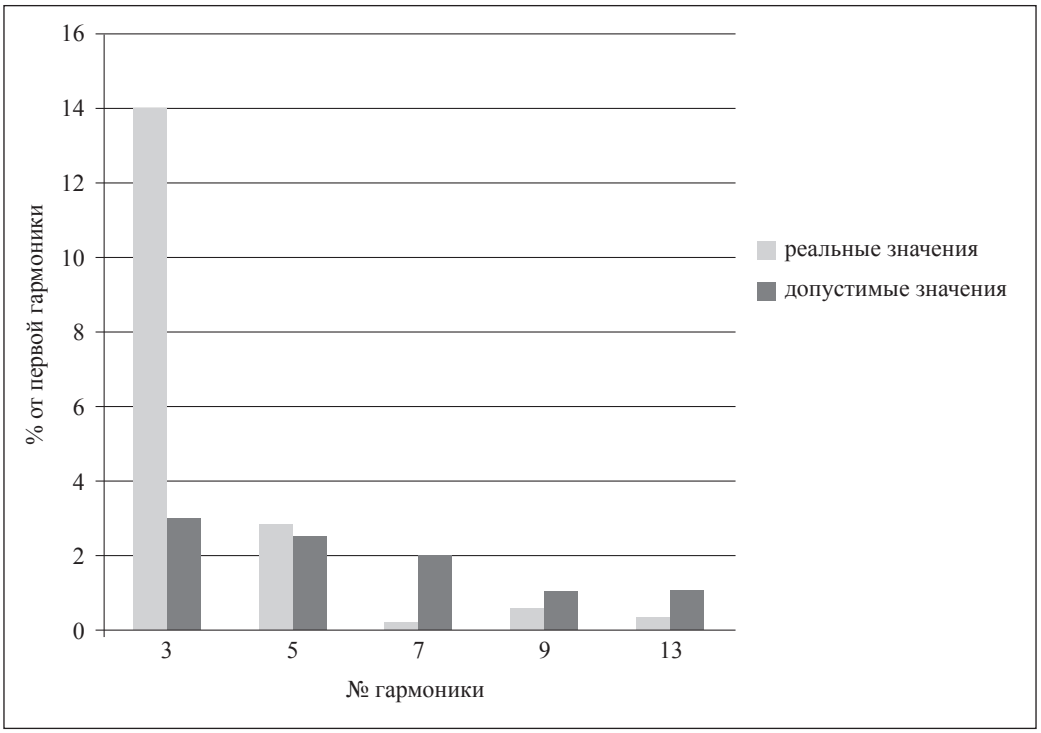


Рис. 5. Гистограмма токов высших гармоник

гармоники. Для этой цели могут быть использованы колебательные контуры (L–C цепочки), подобранные под резонансную частоту каждой из гармоник.

3. Устройство способно решить важную проблему тягового электроснабжения переменного тока – компенсацию реактивной мощности в зависимости от тяговой нагрузки, что, в свою очередь, обеспечивает энергосбережение, увеличивает ресурс работы оборудования и повышает пропускную способность.

Библиографический список

1. **Управляемые** реакторы / Г. Н. Александров, В. П. Лунин. – Санкт-Петербург : Центр подготовки кадров энергетики, 2005. – 200 с.

2. **Разработка** методов и средств по симметрированию электрических нагрузок в системе тягового электроснабжения переменного тока : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. А. Королев. – Москва : МИИТ, 2013. – 24 с.

3. **Регулируемые** установки емкостной компенсации в системах тягового электроснабжения железных дорог : монография / Л. А. Герман, А. С. Серебряков. – Москва : МИИТ, 2012. – 211 с.

4. **ГОСТ 13109–97.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Москва : Изд-во стандартов, 2002. – 64 с.

УДК 625.4.015

Ю. С. Ромен
ОАО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта»

А. Н. Савоськин, А. А. Акишин
Московский государственный университет путей сообщения

АНАЛИЗ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ НЕРОВНОСТЕЙ РЕЛЬСОВЫХ НИТЕЙ

На движение рельсовых экипажей оказывает сильное влияние внешнее возмущение. Таким возмущением являются геометрические неровности рельсовых нитей. В предыдущих работах не было уделено достаточного внимания корреляционной взаимосвязи между горизонтальными и вертикальными возмущениями рельсовых нитей. В данной работе показана эта взаимосвязь, а также уточнены характеристики возмущений.

В качестве возмущений рассмотрен четырехмерный случайный процесс вертикальных и горизонтальных геометрических неровностей рельсовых нитей. Был проведен корреляционно-спектральный анализ этого возмущения с последующей аппроксимацией графиков корреляционных функций и спектральных плотностей аналитическими выражениями.

Используя полученные аналитические выражения, можно будет в дальнейшем решать задачи генерации геометрических неровностей во временной области для исследования колебаний рельсовых экипажей с нелинейными характеристиками рессорного подвешивания.

геометрические неровности рельсов; корреляционный и спектральный анализ.

Введение

Для исследования колебаний рельсовых экипажей и решения задач по выбору схемы и параметров их рессорного подвешивания необходимо учитывать внешние возмущения. Такими возмущениями, вызывающими колебания рельсовых экипажей, являются геометрические неровности рельсовых нитей. Изучению характеристик этих неровностей посвящен ряд работ [1]–[4]. В работе [3] приведены характеристики четырехмерного случайного процесса возмущений в виде реализаций вертикальных $\eta^{z}_{\text{л, п}}$ и горизонтальных $\eta^{y}_{\text{л, п}}$ неровностей левого и правого рельсов. Однако эти реализации имели малую длительность и были получены с большим шагом дискретизации. В результате этого в составе корреляционных функций и спектральных плотностей исследуемых случайных процессов было выявлено только по одному максимуму.

В настоящей работе приведены результаты обработки реализаций случайных процессов вертикальных и горизонтальных неровностей левой и правой рельсовых нитей, полученных на Октябрьской и Куйбышевской железных дорогах интегрированием ускорений масс, контактирующих с рельсовыми нитями [4]. Замеры выполнялись на участках пути длиной 1 км с шагом дискретизации Δx = = 0,185 м, что соответствует шагу по времени Δt = 0,185 с при скорости движения 1 м/с. При таком шаге дискретизации было получено N = 5400 замеров.

1 Корреляционный анализ

Такой объем выборок N исследуемых случайных процессов $\eta^{z,y}_{\text{л,п}}\left(x = vt\right)$ (рис. 1) позволил выполнить вычисление корреляционных функций $R^{z,y}_{\text{л,п}}(\tau)$ и функций спектральных плотностей $G^{z,y}_{\text{л,п}}\left(f\right) = 2\Phi^{z,y}_{\text{л,п}}\left(f\right)$ непосред-

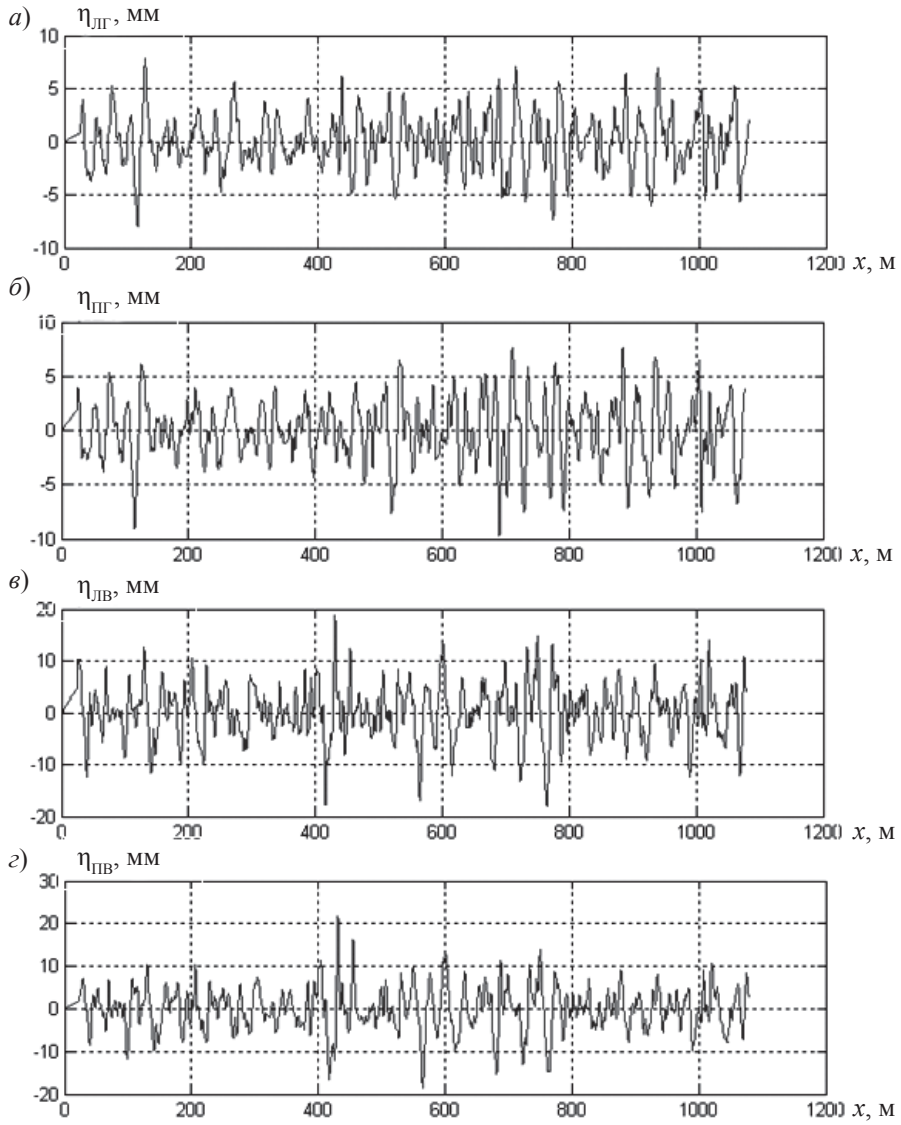


Рис. 1. Реализации случайных процессов неровностей рельсов: горизонтальная левого (*а*) и правого (*б*) рельсов; вертикальная левого (*в*) и правого (*г*) рельсов

ственно по реализациям с использованием следующих формул:

$$R_{\eta iu}\left(\tau = l\Delta t\right) = \frac{1}{\left(N_з - s\right)\Delta t} \times \times \sum_{l_ш \Delta t = 0}^{(N_з - l)\Delta t} \eta_{iu}\left(i_ш \Delta t\right)\eta_{iu}\left[\left(i_ш + l\right)\Delta t\right]; \quad (1)$$

$$G_{\eta iu}\left(r2\pi\Delta f\right) = = \frac{2}{t_р}\left|x_i\left(r2\pi\Delta f; t_р\right)\cdot x_u\left(r2\pi\Delta f; t_р\right)\right|; \quad (2)$$

$$x_i\left(r2\pi\Delta f; t_р\right) = = \Delta t\sum_{i=0}^{N-1}\eta_i\left(i_ш\Delta t\right)\exp\left(-j2\pi\Delta f r\Delta t\right); \quad (3)$$

$$x_u\left(r2\pi\Delta f; t_р\right) = = \Delta t\sum_{i=0}^{N-1}\eta_u\left(i_ш\Delta t\right)\exp\left(-j2\pi\Delta f r\Delta t\right), \quad (4)$$

где $G_{\eta i,u}\left(\omega = r2\pi\Delta f\right)$ – «односторонняя» спектральная плотность, определенная в диапазоне частот $0 < f < \infty$, а $\Phi_{\eta i,u}(\omega)$ – «двух-

сторонняя» спектральная плотность, определенная в диапазоне частот $-\infty < \omega < \infty$.

В этих выражениях обозначены: $i_{ш}$ – номер шага временной дискретизации случайного процесса; l – сдвиг между вычисляемыми значениями корреляционной функции ($l = 0, 1, 2, \ldots, s$); s – максимальное значение сдвига ($s = 0{,}1 \div 0{,}25\, N_{р}$); Δt – шаг временной дискретизации случайных процессов; r – номер шага по частоте ($r = 0, 1, 2, \ldots m_f = f_{вч}/\Delta f$); Δf – шаг по частоте (в пакете Матлаб выбирается автоматически по алгоритму быстрого преобразования Фурье в зависимости от величины $N_{р}$.

Чтобы избавиться от ошибок взаимного влияния отдельных значений $G(r\Delta f)$ и получить эффективную оценку истинной спектральной плотности, выполняют сглаживание ее вычисленных значений. В настоящей работе с этой целью был использован алгоритм Хана:

$$G(r\Delta f) = \begin{cases} 0{,}5\left\{G(r\Delta f) + G\left[(r+1)\Delta f\right]\right\}, \\ \text{при } r = 0 \\ 0{,}25G\left[(r-1)\Delta f\right] + 0{,}5G(r\Delta f) + \\ 0{,}25G\left[(r+1)\Delta f\right], \text{ при } r = 1,2,\ldots, m_f - 1 \\ 0{,}5\left\{G\left[(m_f - 1)\Delta f\right] + G(m_f \Delta f)\right\}, \\ \text{при } r = m_f \end{cases}$$

При $i = u$ – вычисляются автокорреляционные функции $R_{\eta i}(\tau)$ или $R_{\eta u}(\tau)$ и спектральные плотности $G_{\eta i}(f)$ или $G_{\eta u}(f)$, а при $i \neq u$ – взаимные корреляционные функции $R_{\eta iu}(\tau)$ и взаимные спектральные плотности $\Phi_{\eta iu}(j\omega) = 0{,}5G_{\eta iu}(j\omega)$, где $\omega = 2\pi f$.

Результаты вычисления автокорреляционных функций (рис. 2) свидетельствуют о том,

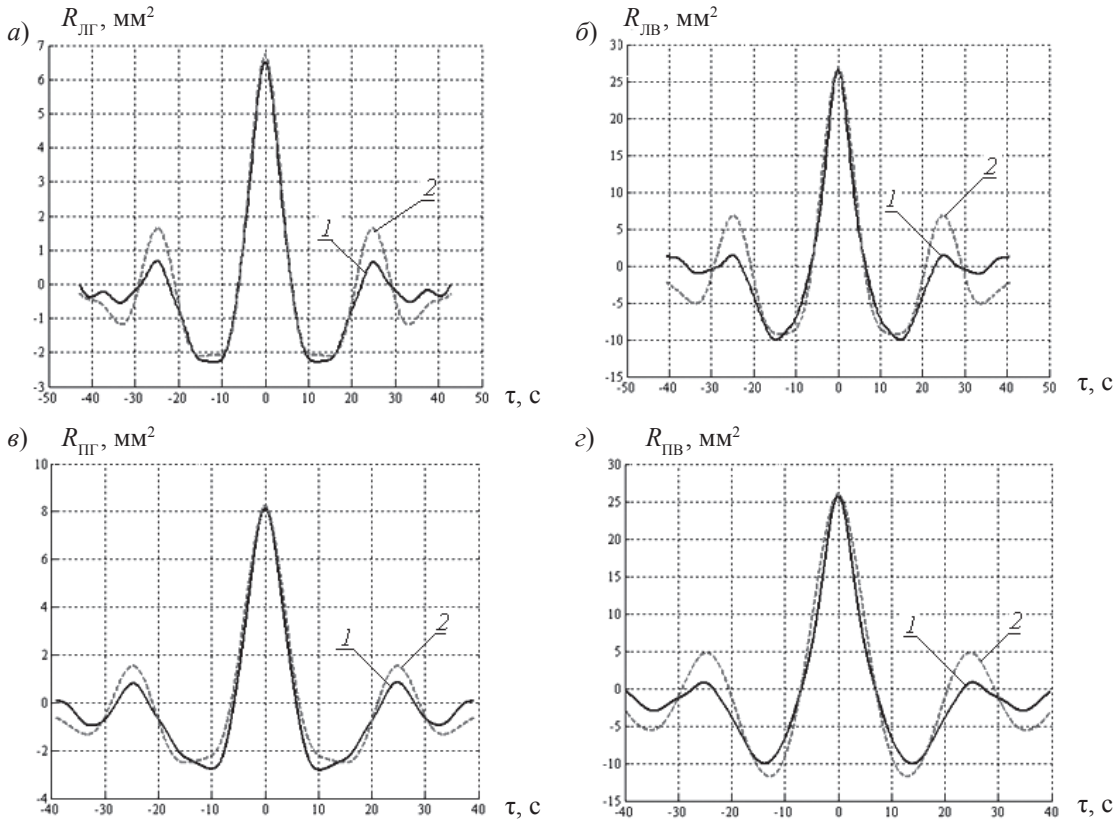


Рис. 2. Автокорреляционные функции неровностей пути: левого рельса горизонтальная (*а*) и вертикальная (*б*); правого рельса горизонтальная (*в*) и вертикальная (*г*); *1* – экспериментальные; *2* – по аналитическому выражению

что в их состав входит несколько затухающих периодических слагаемых. Из этого рисунка видно, что автокорреляционные функции являются четными, т. е. $R_\eta(\tau) = R_\eta(-\tau)$. Их максимум, равный дисперсии S_η^2, соответствует началу координат.

Вместе с тем взаимные корреляционные функции (рис. 3) не являются четными $R_{\eta i,u}(\tau) = R_{\eta u,i}(-\tau)$. Максимум взаимных корреляционных функций, равный дисперсии $S_{\eta iu}^2 = S_{\eta i} S_{\eta u}$, сдвинут относительно начала координат на время τ_c. Отметим также, что для взаимных корреляционных функций $R_{\text{лвпв}}(\tau)$ и $R_{\text{лгпг}}(\tau)$, связывающих вертикальные и горизонтальные неровности левой и правой рельсовых нитей, $\tau_c = 0$ (рис. 4). Это означает, что соответствующие случайные процессы $\eta_{\text{л}i}$ и $\eta_{\text{п}i}$ слабо коррелированы, т. е. статистически независимы, что характерно для пути хорошего состояния. В этом случае:

$$R_{\text{л}i\text{п}i}(\tau) = R_{\text{л}i}(\tau) R_{\text{п}i}(\tau). \qquad (5)$$

Для решения последующей задачи генерации четырехмерного случайного процесса неровностей необходимо выполнить аналитическую аппроксимацию полученных графиков корреляционных функций и спектральных плотностей.

Для взаимных корреляционных функций будем использовать аналитическое выражение:

$$R_{\eta iu}(\tau) = S_\eta^2 \sum_k a_k \exp\left[-\alpha_k^2 v^2 \left(\tau^2 - \tau_c^2\right)\right] \times \cos\left[\beta_k v\left(\tau - \tau_c\right)\right], \qquad (6)$$

соответствующее дифференцируемому случайному процессу η ($x = vt$).

В этом выражении обозначены:

a_k – доля дисперсии S_η^2, приходящаяся на k-тую составляющую аналитического выражения ($\sum_k a_k = 1$);

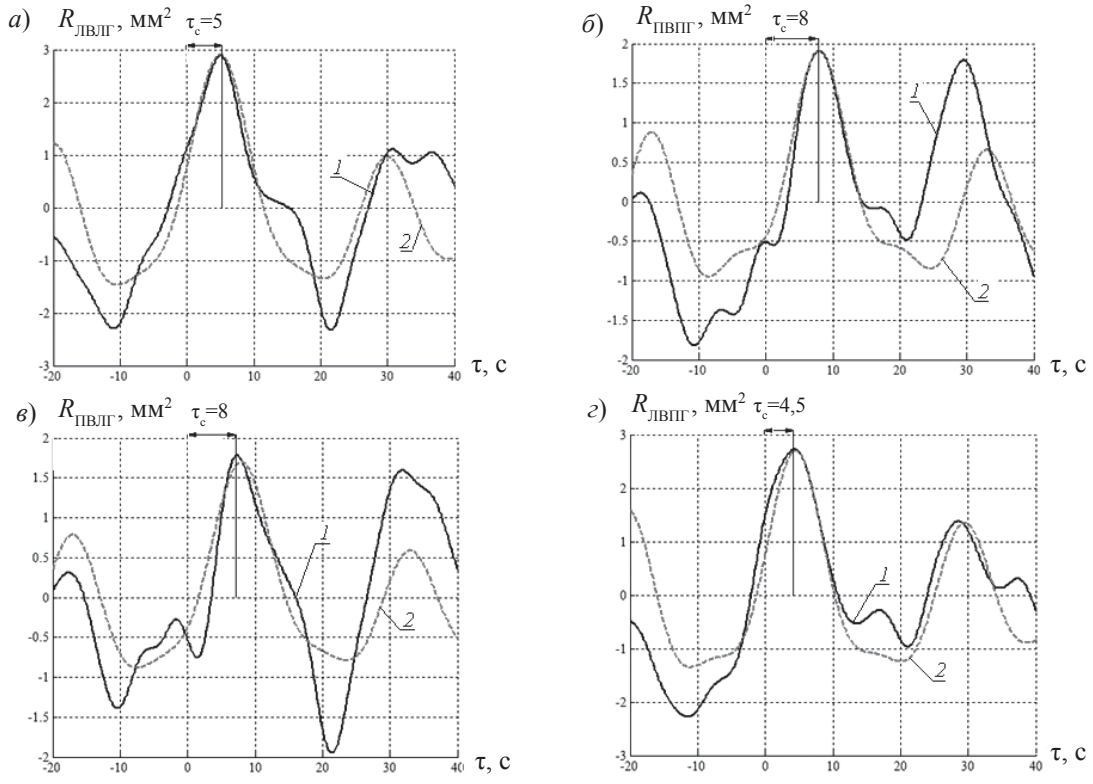


Рис. 3. Взаимные корреляционные функции между неровностями левой и правой рельсовых нитей:
а – левая вертикальная и горизонтальная; *б* – правая вертикальная и горизонтальная; *в* – правая вертикальная и левая горизонтальная; *г* – левая вертикальная и правая горизонтальная; *1* – экспериментальные; *2* – по аналитическому выражению

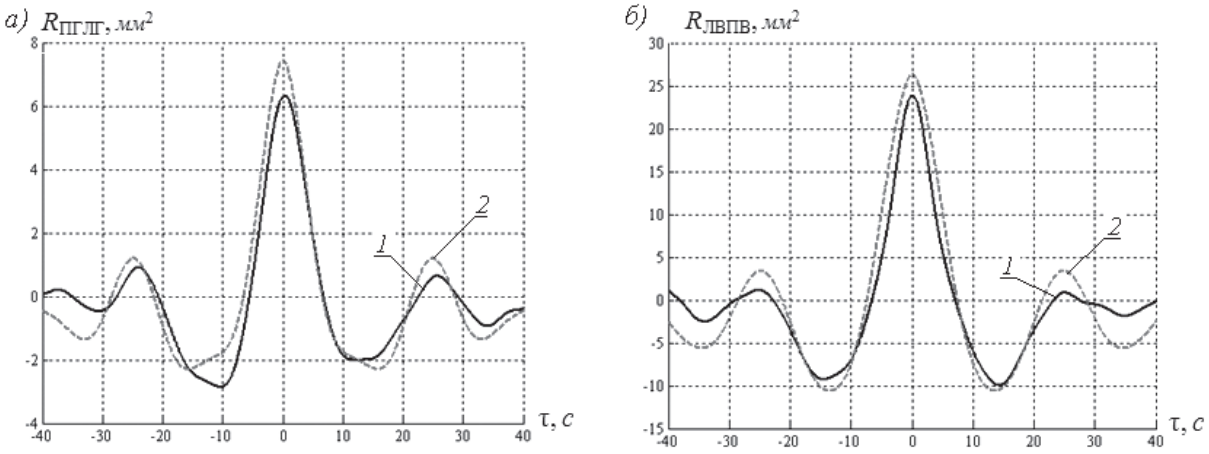


Рис. 4. Взаимные корреляционные функции горизонтальных (*а*) и вертикальных (*б*) неровностей правой и левой рельсовых нитей: *1* – экспериментальные; *2* – построенные по выражениям $R_{ПГЛГ}(\tau)=\sqrt{R_{ПГ}(\tau)R_{ЛГ}(\tau)}$ и $R_{ПВЛВ}(\tau)=\sqrt{R_{ПВ}(\tau)R_{ЛВ}(\tau)}$

β_k и α_k [$м^{-1}$] – нормированные по скорости частота и коэффициент затухания *k*-той затухающей периодической составляющей;

τ_c – время сдвига максимума взаимной корреляционной функции относительно начала координат.

При β_k равном нулю в составе (6) будет экспоненциальная составляющая. При τ_c равном нулю, как уже говорилось, случайные процессы $\eta_{лi}$ и $\eta_{лi}$ не коррелированы, т. е. статистически независимы. Отметим также, что $\tau_c = 0$ соответствует аналитическому выражению автокорреляционной функции:

$$R_{\eta u}(\tau)=S_\eta^2\sum_k a_k\exp\left(-\alpha_k^2v^2\tau^2\right)\cos\left(\beta_k v\tau\right). \quad (7)$$

2 Спектральный анализ

Поскольку спектральная плотность случайного процесса может быть получена как преобразование Фурье корреляционной функции, аналитическому выражению автокорреляционной функции (7) при $\tau_c = 0$ будет соответствовать следующее выражение спектральной плотности:

$$\Phi_\eta(\omega)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}R_\eta(\tau)\cos\omega\tau d\tau=$$

$$=\frac{S_\eta^2}{4\pi}\sum_k a_k\left\{\exp\left[-\frac{(\omega-\beta_k v)^2}{4\alpha_k^2v^2}\right]+\exp\left[-\frac{(\omega+\beta_k v)^2}{4\alpha_k^2v^2}\right]\right\}. \quad (8)$$

Для взаимной спектральной плотности, которая является нечетной функцией, аналитическое выражение, соответствующее (6), имеет вид:

$$\Phi_{\eta iu}(j\omega)=\frac{1}{2\pi}\pi\int_{-\infty}^{\infty}R_{\eta iu}(\tau)e^{-j\omega\tau}d\tau=$$
$$=\mathrm{Re}\,\Phi_{\eta iu}(j\omega)+j\,\mathrm{Im}\,\Phi_{\eta iu}(j\omega)=$$
$$=\Phi_{\eta iu}^A(\omega)\exp\left[-j\Phi_{\eta iu}^\varphi(\omega)\right],$$

где $\mathrm{Re}\Phi_{\eta iu}(j\omega)$ – вещественная (синфазная) составляющая взаимной спектральной плотности.

$$\mathrm{Re}\,\Phi_{\eta i\,u}(j\omega)=\int_{-\infty}^{\infty}R_{\eta iu}(\tau)\cos\omega\tau d\tau; \quad (9)$$

$\mathrm{Im}\Phi_{\eta iu}(j\omega)$ – мнимая (квадратурная) составляющая взаимной спектральной плотности:

$$\mathrm{Im}\,\Phi_{\eta iu}(j\omega)=\frac{1}{2\pi}\int\limits_{-\infty}^{\infty}R_{\eta iu}(\tau)\sin\omega\tau d\tau; \quad (10)$$

$\Phi^{A}_{\eta iu}(\omega)$ – амплитудная составляющая взаимной спектральной плотности:

$$\Phi^{A}_{\eta iu}(\omega)= =\sqrt{\left[\mathrm{Re}\,\Phi_{\eta iu}(j\omega)\right]^2+\left[\mathrm{Im}\,\Phi_{\eta iu}(j\omega)\right]^2}; \quad (11)$$

$\Phi^{\varphi}_{\eta iu}(\omega)$ – фазовая составляющая взаимной спектральной плотности:

$$\Phi^{\varphi}_{\eta iu}(\omega)= =\mathrm{arctg}\left[\mathrm{Im}\,\Phi_{\eta iu}(j\omega)/\mathrm{Re}\,\Phi_{\eta iu}(j\omega)\right]. \quad (12)$$

Графики спектральных и взаимных спектральных плотностей, построенные по реализациям случайных процессов $\eta^{z,y}_{\text{л,п}}(x=vt)$ на основе выражений (2)–(4), также свидетельствуют о том, что в их составе имеется несколько слагаемых, обусловленных различными частотами и формами колебаний в системе. Эту особенность взаимных корреляционных функций $R_{\text{лпi}}(\tau)$ можно объяснить влиянием колебаний боковой качки, а также относа и виляния, формирующих силы в системе «экипаж – путь».

При этом вещественные составляющие взаимных спектральных плотностей являются симметричными функциями, а их мнимые составляющие – кососимметричными.

По взаимной корреляционной функции, определяемой аналитическим выражением (6), по формулам (8) и (9) были получены выражения для вещественной и мнимой составляющих взаимной спектральной плотности в виде:

$$\mathrm{Re}\,\Phi_{\eta iu}(\omega)=\frac{S^2_{\eta}}{2\pi}\sum_k a_k\exp\left(-\alpha_k^2v^2\tau_{\text{c}}^2\right)\times$$

$$\times\left\{\frac{\cos\left(\beta_k v\tau_{\text{c}}\right)}{4}\sqrt{\frac{\pi}{\alpha_k^2v^2}}\times\right.$$

$$\left.\times\left[\exp\left(-\frac{(\omega+\beta_k)^2}{4\alpha_k^2v^2}\right)+\exp\left(-\frac{(\omega-\beta_k)^2}{4\alpha_k^2v^2}\right)\right]-\right.$$

$$-\frac{(\omega-\beta_k v)}{4\alpha_k v}\sin\left(\beta_k v\tau_{\text{c}}\right)\times$$

$$\left.\times\left[\sum_{p=1}^{\infty}\frac{1}{(2p-1)!!}\left(\frac{(\omega+\beta_k v)^{p-1}}{2\alpha_k^2v^2}\right)+\right.\right.$$

$$\left.\left.+\sum_{p=1}^{\infty}\frac{1}{(2p-1)!!}\left(\frac{(\omega+\beta_k v)^{p-1}}{2\alpha_k^2v^2}\right)\right]\right\} \quad (13)$$

и

$$\mathrm{Im}\,\Phi_{\eta iu}(\omega)= =\frac{S^2_{\eta}}{2\pi}\sum_k a_k\exp\left(-\alpha_k^2v^2\tau_{\text{c}}^2\right)\times$$

$$\times\left\{\frac{\cos\left(\beta_k v\tau_{\text{c}}\right)}{4\alpha_k^2v^2}\times\right.$$

$$\times\left[(\omega+\beta_k v)\sum_{p=1}^{\infty}\frac{1}{(2p-1)!!}\left(\frac{(\omega+\beta_k v)^2}{2\alpha_k^2v^2}\right)^{p-1}+\right.$$

$$\left.+(\omega-\beta_k v)\sum_{p=1}^{\infty}\frac{1}{(2p-1)!!}\left(\frac{(\omega-\beta_k v)^2}{2\alpha_k^2v^2}\right)^{p-1}\right]+$$

$$+\frac{\sin\left(\beta_k v\tau_{\text{c}}\right)}{4}\sqrt{\frac{\pi}{\alpha_k^2v^2}}\times$$

$$\left.\times\left[\exp\left(-\frac{(\omega+\beta_k v)^2}{2\alpha_k^2v^2}\right)-\exp\left(-\frac{(\omega-\beta_k v)^2}{2\alpha_k^2v^2}\right)\right]\right\}. \quad (14)$$

Параметры аналитических выражений корреляционных функций и, соответственно, спектральных плотностей определялись следующим образом. Величины S^2_{η} и τ_{c} находились непосредственно по графикам корреляционных функций; значения β_k – по графикам спектральных плотностей. При этом на основе графиков, приведенных на рис. 5–9, было принято четыре слагаемых с частотами $\beta_1=0$; $\beta_2=0{,}125$ м$^{-1}$; $\beta_3=0{,}250$ м$^{-1}$ и $\beta_4=0{,}500$ м$^{-1}$. Значения же величин a_k и α_k определялись методом оптимизации. При этом

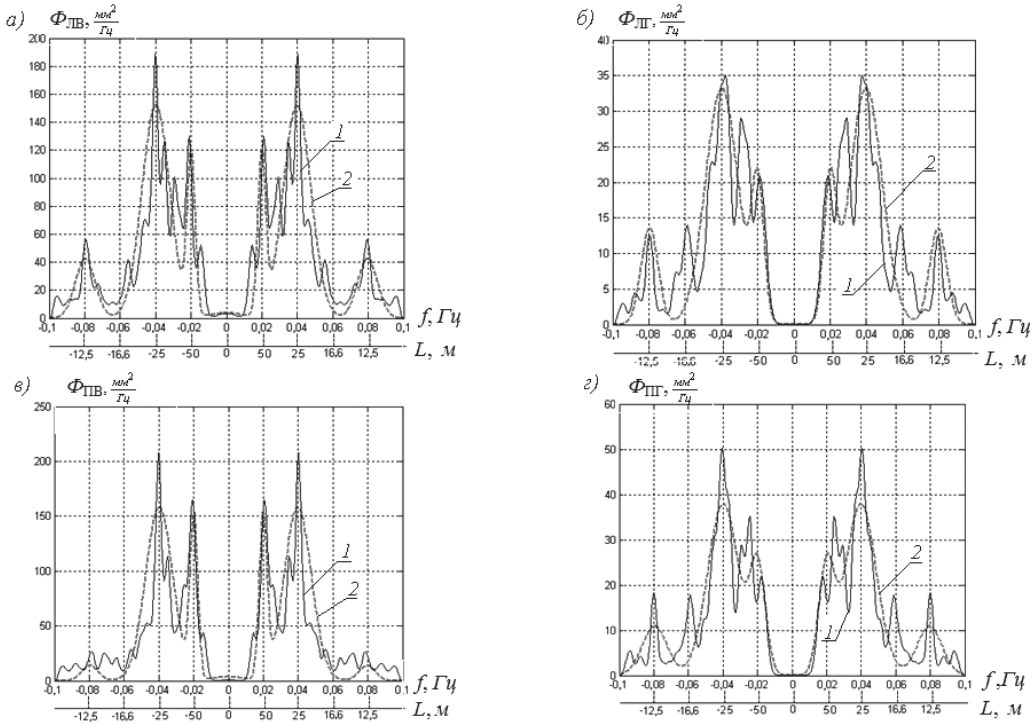


Рис. 5. Спектральные плотности неровностей левого рельса:
вертикальных (*а*) и горизонтальных (*б*); правого рельса: вертикальных (*в*) и горизонтальных (*г*);
1 – экспериментальные; *2* – построенные по аналитическому выражению

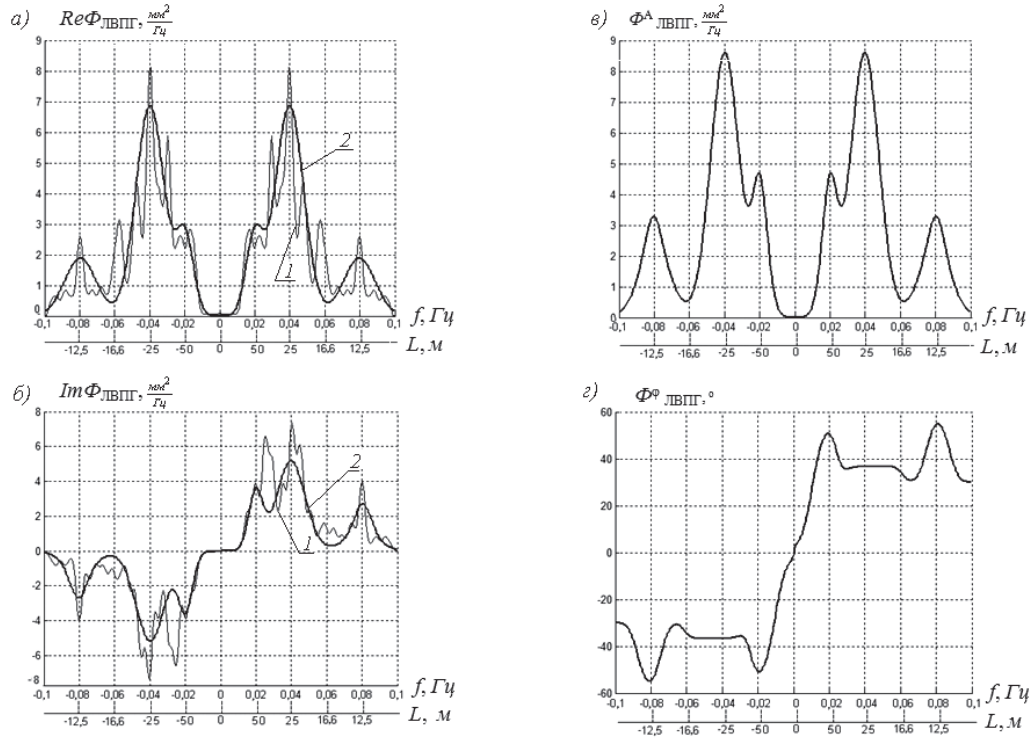


Рис. 6. Составляющие взаимной спектральной плотности между левой вертикальной
и правой горизонтальной неровностями рельсов:
а – вещественная; *б* – мнимая; *в* – амплитудная; *г* – фазовая; *1* – экспериментальные;
2 – построенные по аналитическим выражениям

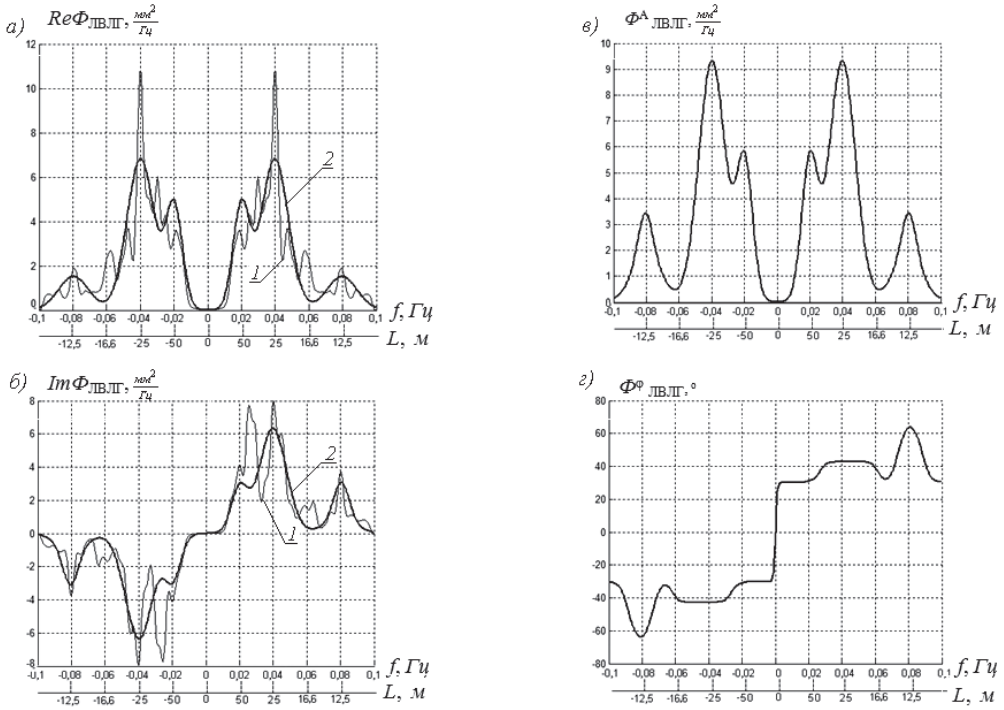


Рис. 7. Составляющие взаимной спектральной плотности между левой вертикальной и левой горизонтальной неровностями рельсов:
а – вещественная; *б* – мнимая; *в* – амплитудная; *г* – фазовая; *1* – экспериментальные; *2* – построенные по аналитическим выражениям

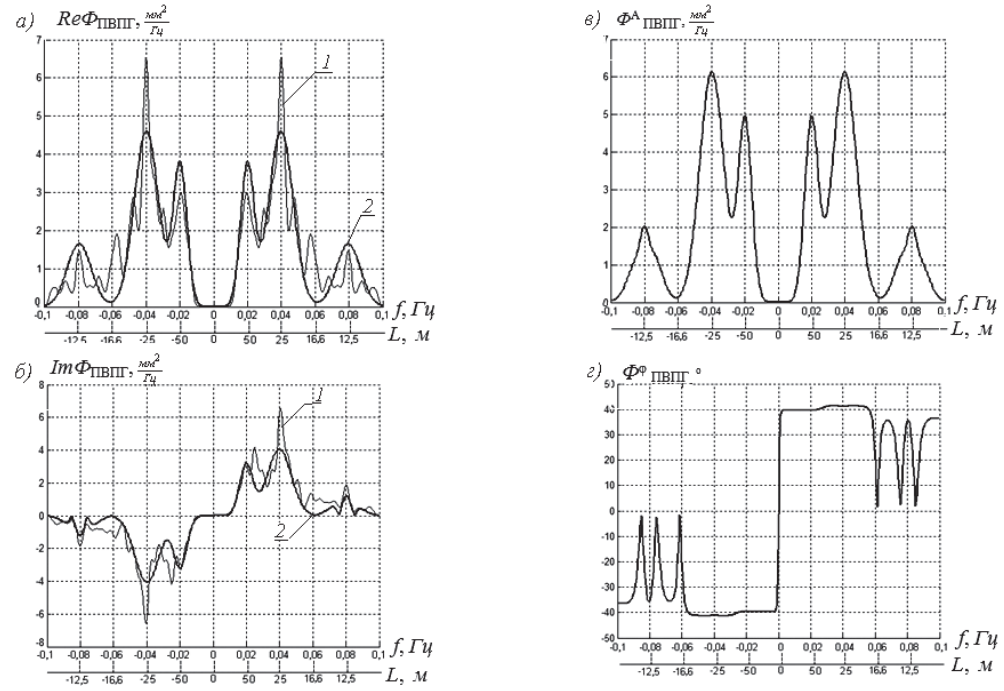


Рис. 8. Составляющие взаимной спектральной плотности между правой вертикальной и правой горизонтальной неровностями рельсов:
а – вещественная; *б* – мнимая; *в* – амплитудная; *г* – фазовая; *1* – экспериментальные; *2* – построенные по аналитическим выражениям

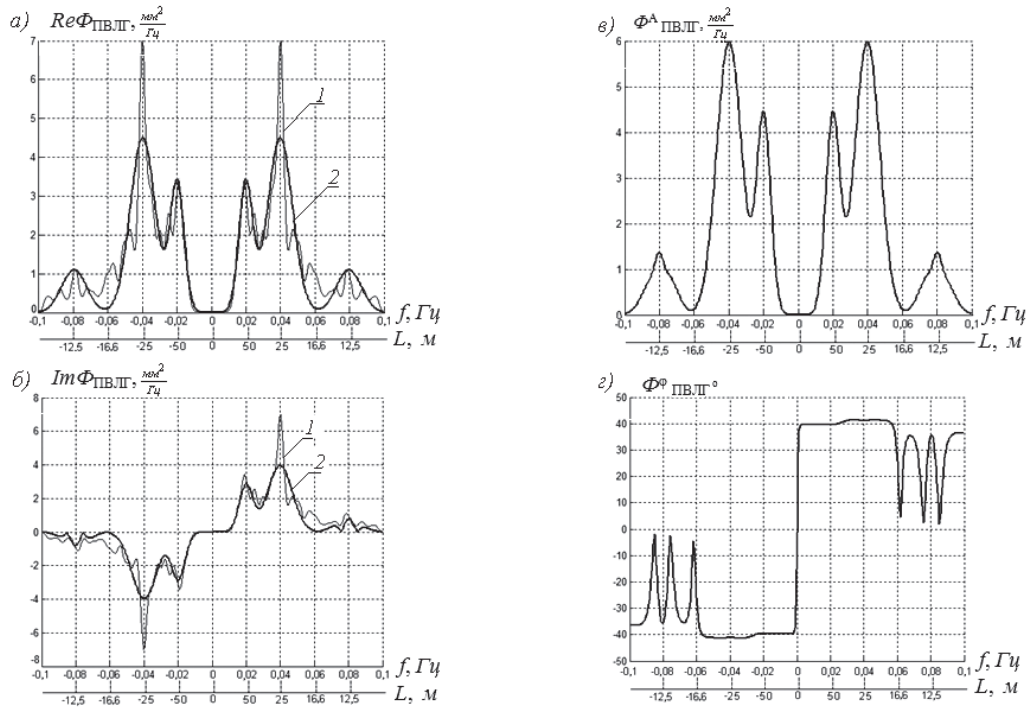


Рис. 9. Составляющие взаимной спектральной плотности между правой вертикальной и левой горизонтальной неровностями рельсов:
а – вещественная; *б* – мнимая; *в* – амплитудная; *г* – фазовая; *1* – экспериментальные; *2* – построенные по аналитическим выражениям

в качестве целевой функции была выбрана сумма квадратов отклонений расчетных значений спектральной плотности и вещественной составляющей взаимной спектральной плотности, полученных по аналитическим выражениям (8) и (13), (14), от соответствующих значений, полученных по экспериментальным данным:

$$Ц = \sqrt{\sum_k \left[\Phi_р^2(\omega) - \Phi_э^2(\omega) \right]}. \qquad (15)$$

Минимум выбранной целевой функции находился с помощью алгоритма Нелдера–Мида [5]. Найденные значения параметров аналитических выражений корреляционных функций и спектральных плотностей приведены в табл. 1 и 2.

Графики аналитических выражений корреляционных и взаимных корреляционных функций, а также спектральных и взаимных спектральных плотностей исследуемых процессов, построенные по принятым значениям их параметров, приведены на рис. 2–9 пунктирными линиями. Как видно из этих рисунков, принятые аналитические выражения с выбранными значениями параметров обеспечивают удовлетворительную сходимость с экспериментальными данными. В них явно выделяются четыре слагаемых на принятых значениях частот β_k; максимумы спектральных плотностей и составляющих взаимных спектральных плотностей расчетных и экспериментальных графиков достаточно близки. Максимумы графиков взаимных корреляционных функций сдвинуты относительно начала координат в точности на величину τ_c.

Графики амплитудных составляющих взаимных спектральных плотностей, построенные по аналитическим выражениям (8), (13) и (14), также имеют четыре максимума на принятых частотах β_k, а графики фазовых составляющих с ростом частоты увеличиваются.

ТАБЛИЦА 1. Параметры аппроксимирующих выражений для спектральных плотностей и корреляционных функций

Наименование параметра		Номер составляющей	$Ф_{лг}$	$Ф_{пг}$	$Ф_{лв}$	$Ф_{пв}$
Величина дисперсии	S_η^2, мм^2	—	6,75	8,28	27,0	26,2
Доля дисперсии	a_k	1 2 3 4	0,000 0,150 0,700 0,150	0,000 0,200 0,650 0,150	0,010 0,150 0,700 0,140	0,010 0,200 0,750 0,040
Нормированный коэффициент затухания	a_k, м$^{-1}$	1 2 3 4	0,000 0,015 0,040 0,021	0,000 0,020 0,040 0,032	0,040 0,010 0,035 0,025	0,040 0,010 0,035 0,021
Нормированная частота	β_k, м$^{-1}$	1 2 3 4	0,000 0,125 0,250 0,500	0,000 0,125 0,250 0,500	0,000 0,125 0,250 0,500	0,000 0,125 0,250 0,500

ТАБЛИЦА 2. Параметры аппроксимирующих выражений для взаимных спектральных плотностей и корреляционных функций

Наименование параметра		Номер составляющей	$Ф_{лвлг}$	$Ф_{лвпг}$	$Ф_{пвпг}$	$Ф_{пвлг}$
Величина дисперсии	S_η^2, мм^2	—	2,90	2,70	1,8	1,76
Доля дисперсии	a_k	1 2 3 4	0,010 0,250 0,600 0,140	0,010 0,200 0,700 0,090	0,010 0,220 0,600 0,170	0,010 0,240 0,650 0,100
Нормированный коэффициент затухания	α_k, м$^{-1}$	1 2 3 4	0,040 0,021 0,030 0,028	0,040 0,021 0,035 0,035	0,040 0,019 0,035 0,035	0,040 0,021 0,035 0,030
Нормированная частота	β_k, м$^{-1}$	1 2 3 4	0,000 0,125 0,250 0,500	0,000 0,125 0,250 0,500	0,000 0,125 0,250 0,500	0,000 0,125 0,250 0,500
Время сдвига	T_c, *с*	—	5,0	4,5	8,0	8,0

Заключение

Таким образом, в работе представлен полный набор характеристик, определяющих особенности многомерных случайных процессов возмущений, вызывающих колебания подвижного состава железных дорог, в виде вертикальных и горизонтальных неровностей левой и правой рельсовых нитей. В состав этих характеристик вошли корреляционные и взаимные корреляционные функции, а также спектральные и взаимные спектральные плотности.

Аппроксимация этих характеристик аналитическими выражениями позволяет в дальнейшем выполнять решение задач динамики подвижного состава с линеаризованными характеристиками рессорного подвешивания в частотной области. Кроме того, используя эти аналитические выражения, можно выполнять генерацию многомерного случайного процесса возмущения во временной области для численного решения задач динамики подвижного состава с нелинейными характеристиками рессорного подвешивания.

Выводы:

1. Используя полученные статические характеристики многомерного случайного процесса, описывающего геометрические неровности рельсовых нитей, можно более точно проводить исследования колебаний рельсовых экипажей и выбор параметров рессорного подвешивания, генерируя совокупности возмущений, а также решать обобщенные задачи анализа динамики рельсовых экипажей в частотной области.

2. Корреляционные и взаимные корреляционные функции, а также спектральные и взаимные спектральные плотности геометрических неровностей рельсовых нитей содержат несколько составляющих.

3. Аналитическая аппроксимация экспериментальных графиков корреляционных функций и спектральных плотностей выбранными аналитическими выражениями обеспечивает удовлетворительную сходимость.

Библиографический список

1. **Спектральный** состав очертаний рельсовых нитей / З. Л. Крейнис // Вестник ВНИИЖТ. – 1982. – № 4. – С. 48–51.

2. **Некоторые** результаты исследований вертикальных траекторий колеса / А. Н. Савоськин, Л. В. Гойхман, Д. А. Харин // Труды МИИТ. – 1968. – Вып. 296. – С. 143–157.

3. **Вертикальные** и горизонтальные возмущения на рельсовом полотне / А. Н. Савоськин, В. В. Кочергин, А. И. Поляков // Мир транспорта. – 2005. – № 4. – С. 4–14.

4. **Еще раз** об измерении вертикальных неровностей пути / Ю. С. Ромен, Н. Н. Кудрявцев, В. Н. Белоусов // Вестник ВНИИЖТ. – 1990. – № 1. – С. 29–31.

5. **Himmelblau**, D. M. (1972). Applied Nonlinear Programming, Mcgraw-Hill, 416 p.

6. **Garg**, V. K., Dukkipati, R. V. (1984). Dynamics of Railway Vehicle Systems, Toronto, 407 p.

7. **Jenkins**, G. M., Watts, D. G. (1968). Spectral Analysis and Its Applications, San Francisco, 525 p.

8. **Выбор** оптимальных параметров в задачах со многими критериями : учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / И. М. Соболь, Р. Б. Статников. – Москва : Дрофа, 2006. – 175 с., ил.

9. **Bendat**, J. S., Piersol, A. G. (1971). Random Data: Analysis and Measurement Procedures, New York, 407 p.

10. **Прикладные** методы теории случайных функций / А. А. Свешников. – Москва : Наука, 1968. – 463 с.

УДК 656.216.22

А. В. Тарасов
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

О БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА НЕОХРАНЯЕМЫХ ПЕРЕЕЗДАХ

Рассмотрена статистика возникновения аварийных ситуаций в местах пересечения железной и автомобильной дорог на неохраняемых железнодорожных переездах в первом десятилетии XXI в. Описаны как уже существующие меры, так и новые технические решения по обеспечению безопасности движения на неохраняемых переездах. Система использования оптических инфракрасных датчиков предложена как наиболее оптимальная для автоматического регулирования движения локомотива при наличии автотранспортных средств в зоне неохраняемого переезда.

неохраняемый переезд, оптический датчик, видеонаблюдение.

Введение

Автомобильная и железная дороги являются зонами повышенной опасности. Наиболее опасны места их пересечения и нахождения в непосредственной близости друг от друга [1].

Столкновения железнодорожного и автомобильного транспорта приводят к человеческим жертвам, повреждениям верхнего строения пути, устройств электропитания, устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ), подвижного состава, нарушению графика движения поездов, а также являются причинами аварий и крушения поездов [2]. Все это влияет на экономическую составляющую перевозочного процесса, безопасность движения поездов и на престиж компании ОАО «РЖД».

Наибольшее количество дорожно-транспортных происшествий происходит на железнодорожных переездах. В настоящее время для уменьшения количества ДТП и, как следствие, экономических потерь на территории Англии, Германии, Испании, России, США, Финляндии, Швеции, Японии и других стран [3] решено отказаться от использования переездов в пользу путепроводов и тоннелей. Однако данный способ требует значительных финансовых вложений, которые могут оказаться неоправданными для переездов с небольшими размерами автомобильного и железнодорожного движения. Поэтому даже в странах с высокоразвитой экономикой сохраняется большое количество переездов, не оборудованных современными системами переездной автоматики. Еще одним доводом в пользу сооружения путепроводов является то, что движение пассажирских поездов со скоростями более 200 км/ч по участкам, на которых железнодорожные пути пересекаются в одном уровне с автомобильными дорогами, трамвайными и троллейбусными линиями, не допускается. Тем не менее строительство путепроводов ведется крайне медленно [4]: за 2011 г. было построено и введено в эксплуатацию всего 8 путепроводов. Темпы строительства путепроводов с 2001 по 2011 г. приведены на рис. 1.

1 Состояние безопасности в местах пересечений железных и автомобильных дорог

1.1 Статистические данные по происшествиям на железнодорожных переездах

С каждым годом число железнодорожных переездов сокращается (рис. 2), однако оно остается по прежнему очень высоким – 11 046 переездов, из них 2347 – с дежурны-

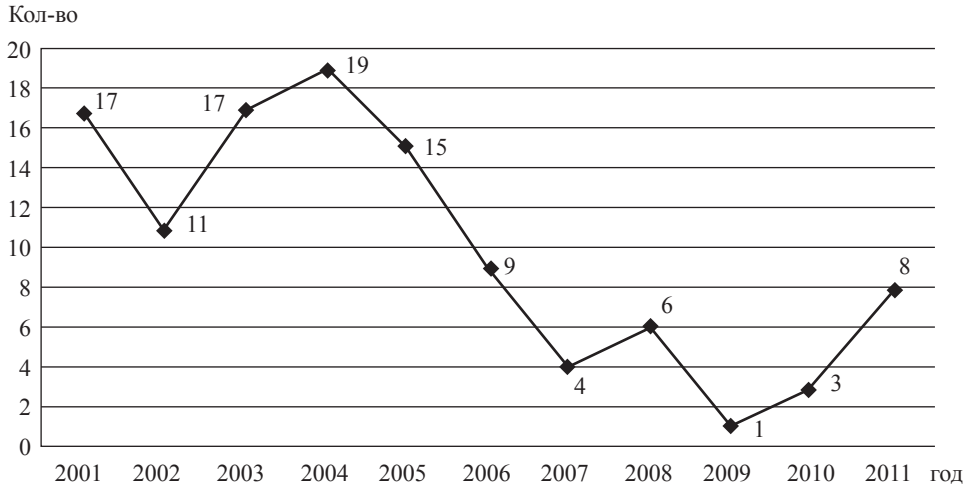


Рис. 1. Темы строительства путепроводов с 2001 по 2011 г.

ми работниками и 8699 – без. 8851 переезд оснащен автоматической переездной сигнализацией (АПС). На 4704 переездах уложен настил из резинотехнических изделий. Все переезды, обслуживаемые дежурными работниками, имеют автоматические или полуавтоматические шлагбаумы и АПС, заградительную сигнализацию, электроосвещение и радиосвязь с дежурными по станции. На 1793 из 2348 переездах используются устройства заграждения (УЗП). На 19 переездах используются комплексы фото- и видеофиксации [5].

Несмотря на постепенное уменьшение количества самих железнодорожных переездов и модернизацию уже существующих, ситуация на них остается крайне напряженной. Ежегодно фиксируется большое количество дорожно-транспортных происшествий, связанных со столкновением автомобильного и железнодорожного транспорта (рис. 3), и, как видно из рисунка, подавляю-

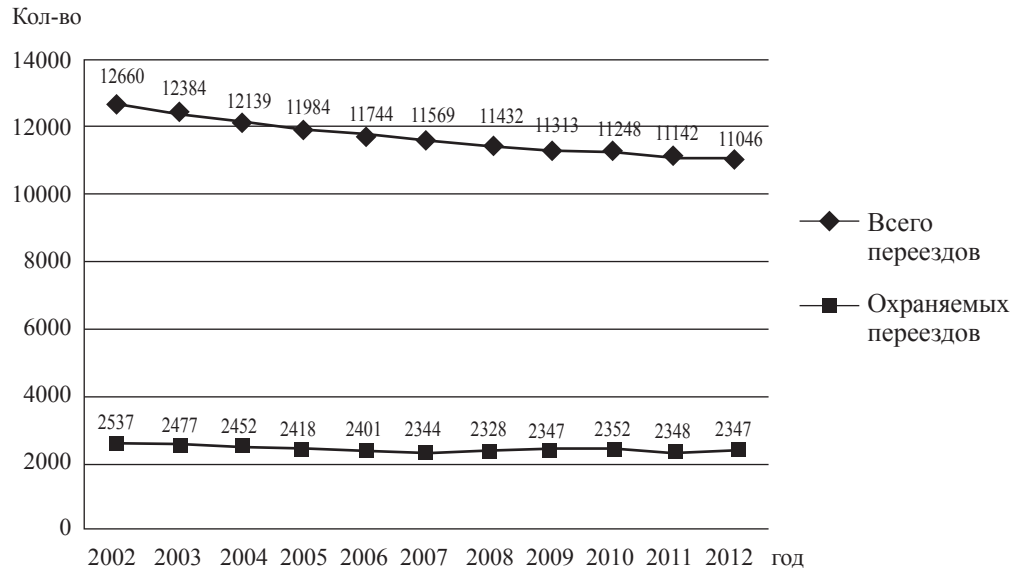


Рис. 2. Количество железнодорожных переездов на сети железных дорог за период 2002–2012 гг.

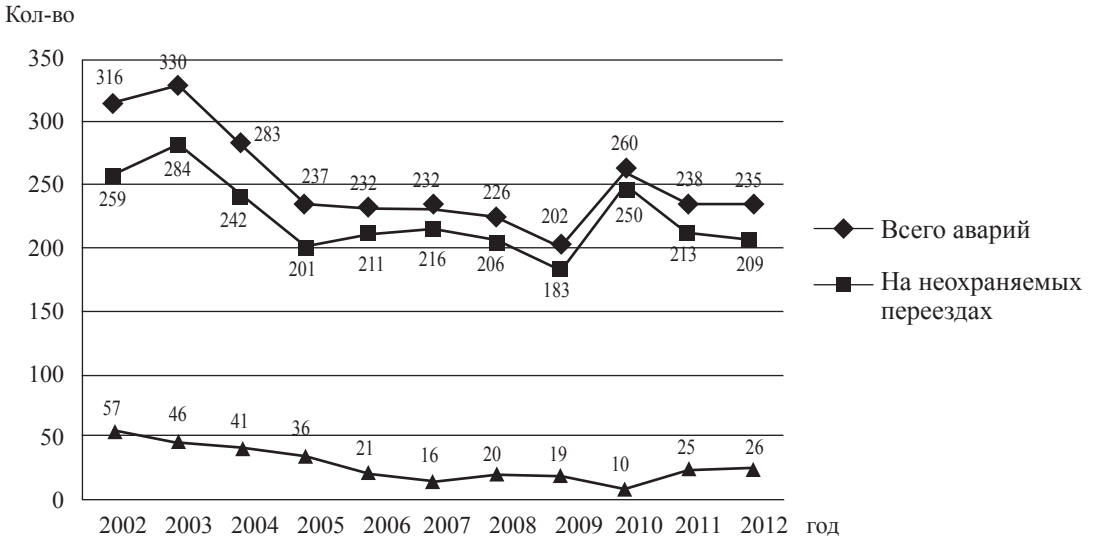


Рис. 3. Количество аварий на железнодорожных переездах на сети железных дорог в 2002–2012 гг.

щее количество аварий (88,93 % за 2012 г.) происходит на неохраняемых переездах.

Число пострадавших и погибших также снижается из года в год, но все равно остается довольно высоким.

1.2 Системы и меры обеспечения безопасности движения, существующие на железнодорожных переездах

Для обеспечения безопасности движения поездов и транспортных средств переезды оборудуются различными видами устройств, информирующих водителей транспортных средств о наличии или отсутствии поездов на участках перед переездом.

По месту расположения переезды подразделяются на [6]:

• *переезды общего пользования*, находящиеся на пересечениях железнодорожных путей общего пользования с автомобильными дорогами общего пользования, муниципальными автомобильными дорогами и улицами;

• *переезды необщего пользования*, находящиеся на пересечениях железнодорожных путей с автомобильными дорогами отдельных предприятий или организаций (независимо от форм собственности).

В зависимости от интенсивности движения и условий видимости железнодорожного и автомобильного транспорта переезды делятся на 4 категории [7], приведенные в таблице.

К *регулируемым* относятся переезды, оборудованные устройствами переездной сигнализации, извещающей водителей транспортных средств о приближении к переезду поезда (подвижного состава), или обслуживаемые дежурными работниками, а также другими работниками железной дороги, которым поручено осуществлять регулирование движения поездов и других транспортных средств на переезде.

К *нерегулируемым* относятся переезды, не оборудованные устройствами переездной сигнализации и не обслуживаемые дежурными по переезду и другими работниками, которым поручено осуществлять регулирование движения поездов и других транспортных средств на переезде.

Переезды I и II категории являются охраняемыми (обслуживаются дежурными работниками) и оборудуются автоматической переездной светофорной сигнализацией и шлагбаумами (рис. 4). Причем автоматические и полуавтоматические шлагбаумы должны перекрывать не менее половины проезжей

ТАБЛИЦА. Категории железнодорожных переездов

Интенсивность движения поездов по главному пути (суммарно в двух направлениях), поездов/сут	Интенсивность движения транспортных средств (суммарная в двух направлениях), авт/сут				
	До 200	201–1000	1001–3000	3001–7000	Более 7000
До 16 включительно, а также по всем станционным и подъездным путям	IV	IV	IV	III	II
17–100	IV	IV	III	II	I
101–200	IV	III	II	I	I
Более 200	III	II	II	I	I

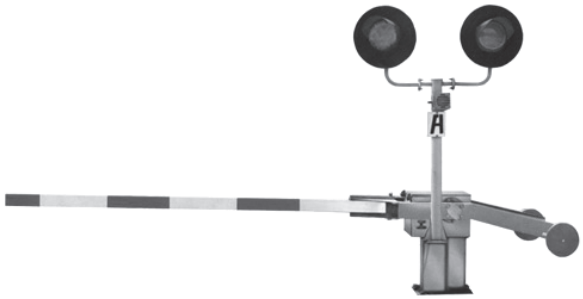


Рис. 4. Автоматическая переездная светофорная сигнализация со шлагбаумом на охраняемых переездах



Рис. 5. Устройство заграждения переезда

части автомобильной дороги с правой стороны по ходу движения транспортных средств. Левая сторона дороги шириной не менее 3 м не перекрывается. При необходимости допускается установка указанных шлагбаумов нестандартной длины.

На переездах с интенсивным движением транспортных средств, а также скоростным движением пассажирских поездов могут применяться УЗП от несанкционированного въезда на такие переезды транспортных средств (рис. 5).

Переезды III и IV категории являются неохраняемыми (не обслуживаются дежурными работниками) и должны оборудоваться АПС без применения шлагбаумов и УЗП, а также дорожным знаками на подъездах к переезду.

Учитывая большое количество аварий на неохраняемых переездах, можно сделать вывод, что данных мер безопасности недостаточно.

В настоящий момент разрабатываются мероприятия и технические решения, направленные на обеспечение безопасности движения на железнодорожных переездах. Они приведены на рис. 6.

Что же необходимо сделать для того, чтобы снизить количество аварий на необслуживаемых переездах?

Для снижения аварийных ситуаций на неохраняемых переездах одних организационных мероприятий недостаточно. Необходима разработка новых эффективных и недорогих технических решений.

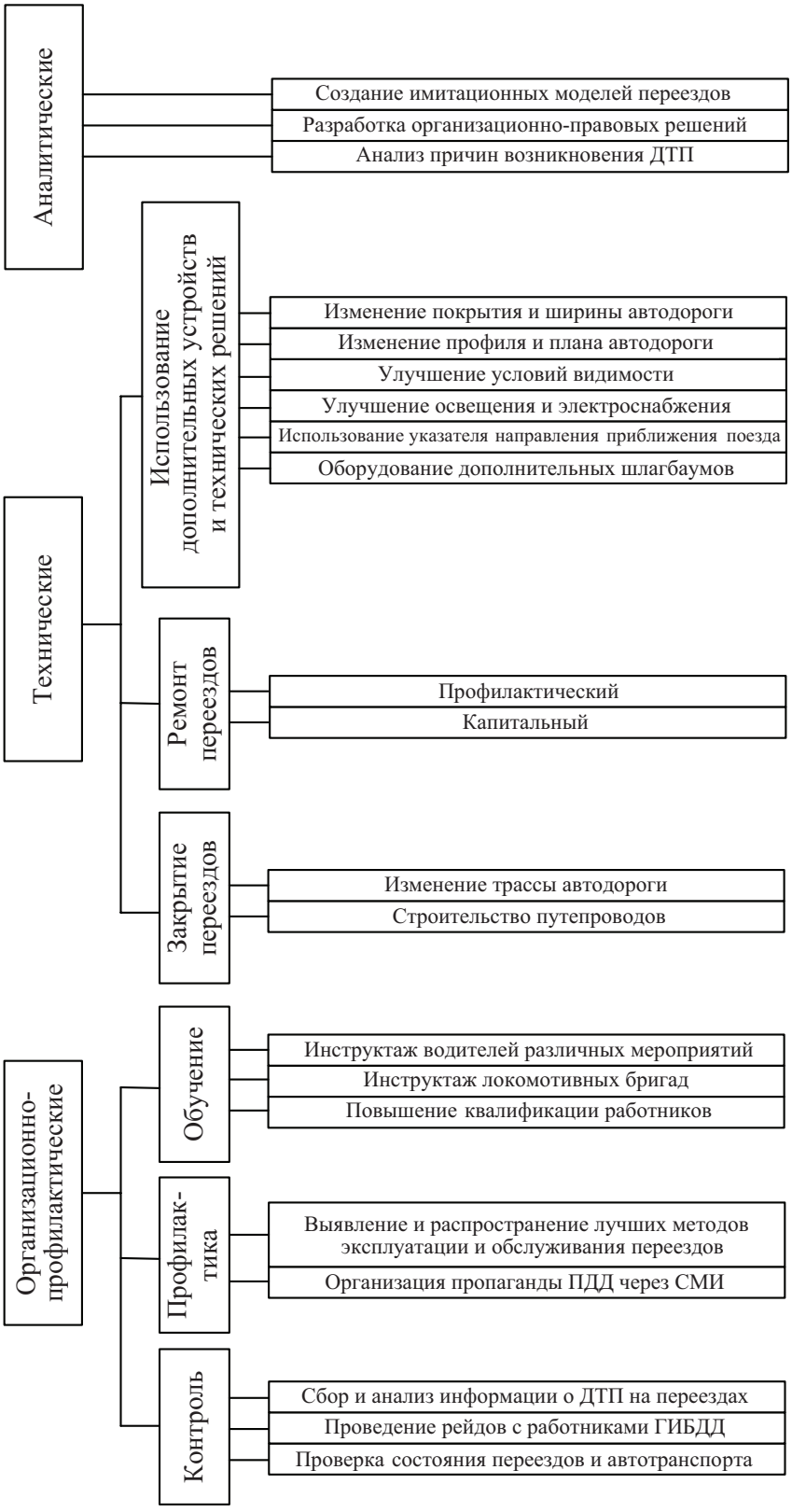


Рис. 6. Мероприятия и технические решения, направленные на обеспечение безопасности движения на железнодорожных переездах

2 Технические решения по повышению безопасности на неохраняемых железнодорожных переездах

2.1 Использование видеонаблюдения

Главной задачей систем, предназначенных для повышения безопасности на неохраняемых переездах, является способность фиксации транспортного средства в зоне движения подвижной единицы.

Система видеонаблюдения представляет собой несколько соединенных в одну сеть камер 1, 2, 3, 4, представленных на рис. 7, благодаря которым осуществляется наблюдение за контролируемыми зонами [8]. Данные принимаются на блок № 5 – блок хранения, обработки и передачи данных, а далее передаются на автоматизированное рабочее место дежурного (диспетчера) или напрямую на локомотив.

Данная система позволяет получать информацию о событиях на переезде в режиме реального времени. Однако она не является приемлемой, т. к. при передаче информации сначала диспетчеру, а потом уже машинисту может пройти много времени и аварии избежать не удастся. Кроме того, для эксплуатации в темное время суток необходимо использовать хорошее отдельное освещение, которое на переездах с незначительным движением будет экономически невыгодным.

2.2 Использование зеркал

Условиями безопасности движения на переездах является соблюдение водителями и пешеходами привил дорожного движения, а также наличие достаточного расстояния видимости переезда для водителей и машинистов.

Для получения дополнительной информации о нахождении или отсутствии поезда перед переездом для водителей автотранспортных средств предлагается установка зеркал на обочине с левой по ходу движения стороны переезда для возможности контроля его путей. Схема установки зеркал приведена на рис. 8 [9].

Данный метод не позволяет машинисту получать своевременную информацию о наличии автотранспортных средств на переезде и, кроме того, эксплуатация в темное время суток может быть неэффективная.

2.3 Применение оптических датчиков

Вышеописанные два метода не являются оптимальными в обеспечении безопасности движения на неохраняемых переездах. Поэтому автор статьи предлагает использовать оптические инфракрасные датчики, которые обладают следующими свойствами [2]:

– возможность эксплуатации практически при любой погоде (не требуют дополнительной подсветки);

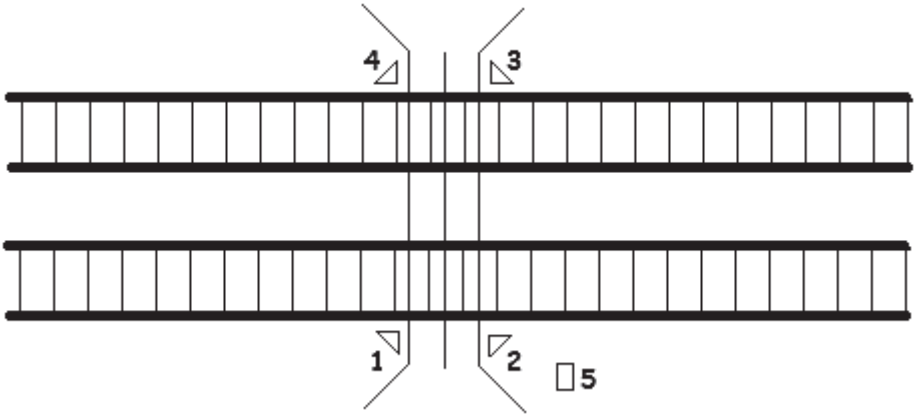


Рис. 7. Система повышения безопасности движения не неохраняемом переезде с помощью видеонаблюдения

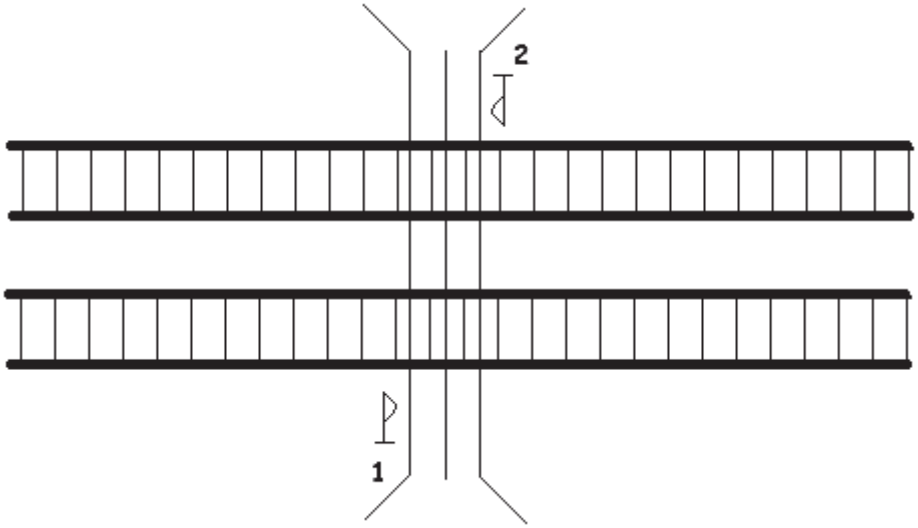


Рис. 8. Схема установки зеркал

– большая дальность действия;

– большой диапазон рабочей температуры;

– большой выбор модификаций.

Схема установки датчиков приведена на рис. 9.

На рисунке пунктиром изображены невидимые оптические лучи, излучатели (1–3) и применики (4–6). С помощью такой расстановки датчиков и последовательного перемещения транспортного средства, а следовательно, и перекрытия инфракрасных лучей через блок управления (7) возможно получать информацию о местонахождении перемещающегося объекта, его скорости, длине, а также направлении движения.

Далее данная система может быть связана с устройствами СЦБ в схемах кодирования автоматической локомотивной сигнализации с автоматическим регулированием скорости (АЛС-АРС). Например, при передвижении транспортного средства через железнодо-

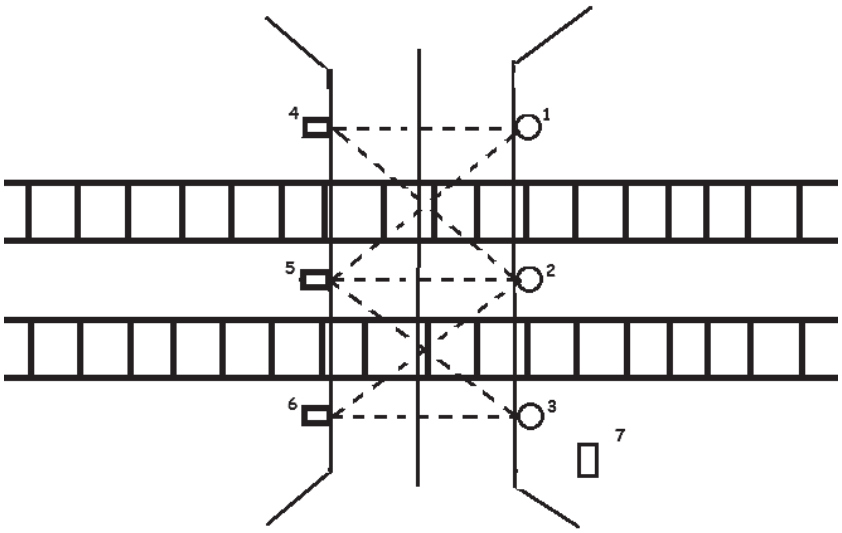


Рис. 9. Схема установки оптических датчиков

рожные пути и нахождении поезда в зоне приближения система, зная направление движения, скорость и длинну транспортного средства, сможет рассчитать, успеет ли освободиться переезд. В случае, если переезд освободиться не успеет, в рельсовую цепь начнет транслироваться код, разрешающий движение с уменьшенной скоростью, или, при необходимости, код, запрещающий движение. Приемные индуктивные катушки локомотива воспримут изменения кода (частоты), и поезд начнет снижение скорости до того фактического значения, которое необходимо для предотвращения столкновения с автотранспортным средством.

Заключение

Применение оптических датчиков для повышения безопасности на неохраняемых переездах позволит не только минимизировать человеческий фактор, поскольку обнаружение транспортного средства и принятие решения о выработке команды для локомотива перед переездом будут происходить автоматически, но и ускорить (менее 1 с) передачу информации о состоянии перезда (свободен он или занят транспортным средством).

На неохряняемых переездах необходима постоянная связь в системе «переезд – транспортное средство – локомотив», только при ее наличии удастся значительно сократить количество аварий на переездах.

Библиографический список

1. **Система** контроля габарита транспортного средства, въезжающего в путепровод / А. В. Тарасов // Известия ПГУПС. – 2011. – № 4. – С. 15–22.

2. **Устройства** для детектирования падающих предметов на железнодорожные пути / А. В. Тарасов // Вторая Международная научно-практическая конференция «Интеллектуальные системы на транспорте». Сборник тезисов. – Санкт-Петербург. – 2012. – С. 15–17.

3. **Aidan**, N. (2010). Breaking Down the Barriers to Safer Crossings. International Railway Journal, 5, 45–47.

4. **О мерах** по сокращению столкновений на переездах / Н. М. Поляков // Путь и путевое хозяйство. – 2011. – № 7. – С. 17–18.

5. **Анализ** состояния безопасности движения поездов в путевом хозяйстве ОАО «РЖД» в 2011 году / Т. Н. Горьканова // Путь и путевое хозяйство. – 2012. – № 5. – С. 2–9.

6. **Инструкция** по эксплуатации железнодорожных переездов МПС России. – Москва, 1997.

7. **О классификации** железнодорожных переездов / А. И. Годяев // Автоматика, связь и информатика. – 2005. – № 1. – С. 35–39.

8. **Разработка** автоматической системы контроля занятости железнодорожного переезда / Н. Г. Ананьева // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2009. – № 2. – С. 35–38.

9. **О безопасности** движения на железнодорожных переездах / С. А. Соболев // Вестник РГУПС. – 2005. – № 2. – С. 100–104.

УДК 629.488

В. А. Четвергов
Омский государственный университет путей сообщения

В. М. Бочаров, А. И. Мишин, П. А. Сиряк, В. А. Мельниченко
ООО «Производственное конструкторско-технологическое предприятие «Транспорт»

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЛЕВЕНБЕРГА–МАРКВАРДТА ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ БОРТОВОЙ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЛОКОМОТИВА

Для создания автоматизированных информационных систем необходимы формирование информационных потоков и разработка методик и алгоритмов обработки этой информации. По результатам исследования предложена методика аппроксимации диагностических параметров, измеренных бортовой системой АПК «Борт», на примере тока тягового генератора в режиме разгона тепловоза методом наименьших квадратов с использованием нелинейных моделей. Изложенная методика ориентирована на применение в области диагностирования тягового подвижного состава по результатам анализа информации, получаемой от бортовых систем.

экспериментальные статистические данные, диагностирование, аппроксимация, матрица, метод наименьших квадратов, метод Левенберга-Марквардта, средняя ошибка аппроксимации.

Введение

Целью данной работы является разработка методики аппроксимации результатов измерения бортовой диагностической системой тока тягового генератора, в режиме разгона тепловоза, методом наименьших квадратов с использованием нелинейных моделей. Данная методика может быть использована для автоматизации процессов оценки технического состояния локомотивов и формирования рекомендаций по объему и периодичности технического обслуживания и ремонта на основе результатов измерения диагностических параметров бортовой системой.

Изложенная в настоящей статье методика ориентирована на применение в области диагностирования тягового подвижного состава по результатам анализа информации, получаемой от бортовых систем. При разработке использовались исходные экспериментальные данные из архивов результатов измерений аппаратно-программным комплексом «Борт» (АПК «Борт»).

1 Методика применения метода Левенберга-Марквардта

В статье [1] описана методика оценки неизвестных параметров регрессионных моделей по выборочным данным методом наименьших модулей (далее – МНМ). Выборками являлись результаты измерения АПК «Борт» тока тягового генератора в режиме разгона маневрового тепловоза. Данные одного переходного процесса были названы реализацией, требования к которой были определены. В качестве модели использовалась функция:

$$\tilde{F}_1\left(t_i, \mathbf{w}\right) = y_{\min} + \frac{\left(y_{\max} - y_{\min}\right) y_{\max}}{a t_i^{\,3} + b t_i^{\,2} + c t_i + y_{\max}}, \quad (1)$$

где $\tilde{F}_1\left(t_i, \mathbf{w}\right)$ – аппроксимирующая функция; t_i – время измерения тока в реализации; $y_{\min}$, $y_{\max}$ – наименьшее и наибольшее значения тока в одной реализации; $i = 1, 2, \ldots, n$ – номер измерения в одной реализации; $\mathbf{w} = (a, b, c)$ – вектор неизвестных коэффициентов.

Далее по тексту обозначение w_1 соответствует a, $w_1 – b$ и т. п.

Модель (1) подбиралась экспериментально. С учетом особенностей полиномов 3-й степени возможно наличие локальных экстремумов в области определения ($t_i \in [0, t_{\max}]$). Поэтому для дальнейших исследований дополнительно подобраны функции:

$$\tilde{F}_2(t_i, \mathbf{w}) = \exp\left(\frac{1}{w_1 t_i^{\,3} + w_2 t_i^{\,2} + w_3 t_i + w_4}\right); \quad (2)$$

$$F_3(t_i, \quad) = w_1 \exp\left(w_2 t_i \quad\right) + w_4; \quad (3)$$

$$\tilde{F}_4(t_i, \mathbf{w}) = w_1 \exp\left(t_i^{w_2} - t_i^{w_3}\right) + w_4; \quad (4)$$

$$\tilde{F}_5(t_i, \mathbf{w}) = \\ = w_1 \exp(w_2 t_i)\left(w_3 t_i^{\,3} + w_4 t_i^{\,2} + w_5 t_i + 1\right). \quad (5)$$

Регрессионный анализ в основном выполняется методом наименьших квадратов (далее – МНК), основанным на минимизации суммы квадратов некоторых функций искомых переменных.

С этой точки зрения измерения тока тягового генератора локомотивов образуют генеральную совокупность A. Переходный процесс представляет собой выборку $D = \{t_i, y_i\}_{i=1}^{n}$, где $D \subset A$, $t_i \in \mathbf{N}$ – время измерения тока в реализации D, $y_i \in \mathbf{Z}$ – соответствующее времени значение тока. Целью статистической обработки этих данных является нахождение коэффициентов функции регрессии $\tilde{F}_z(t_i, \mathbf{w})$. При таких условиях формализация задачи о МНК имеет вид:

$$S(\mathbf{w}) = \sum_{i=1}^{n}\left(\tilde{F}_z(t_i, \mathbf{w}) - y_i\right)^2 \to \min, \quad (6)$$

где $z = 1, \ldots, 5$ – номер функции.

То есть требуется найти такие параметры $\mathbf{w}$, при которых функция $S(\mathbf{w})$ достигает минимального значения. Для этого решается система уравнений (7), где частные производные функции (6) приравниваются к нулю:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial S}{\partial w_1} = 0, \\ \dfrac{\partial S}{\partial w_2} = 0, \\ \ldots \\ \dfrac{\partial S}{\partial w_k} = 0, \end{cases} \quad (7)$$

где k – количество коэффициентов $\mathbf{w}$.

Если в формуле (6) функция $S(\mathbf{w})$ линейна или сводится к этому виду, то система уравнений (7) также будет линейной (функции (1), (2)). Такую систему можно решить любым численным прямым методом. Для функций (3), (4), (5) необходимо применять итерационные методы решения.

После анализа существующих методов многомерной оптимизации (градиентный спуск, покоординатный спуск, метод Ньютона и т. п.) выбран метод Левенберга–Марквардта (МЛМ), сочетающий методы наискорейшего спуска (т. е. минимизации вдоль градиента) и Ньютона (т. е. использование квадратичной модели для ускорения поиска минимума функции). От метода наискорейшего спуска МЛМ позаимствовал стабильность работы, от метода Ньютона – ускоренную сходимость [2].

Для реализации МЛМ вычисляется начальный вектор коэффициентов $\mathbf{w}^0$. Общего правила нахождения $\mathbf{w}^0$ для функций (3), (4), (5) не существует [3], поэтому для определения $\mathbf{w}^0$ в функцию (3), в частности, подставляются значения $(0, y_{\max})$. Получается условие $w_1 + w_4 = y_{\max}$, которое можно использовать для подбора начального значения коэффициентов.

Приняты следующие значения начальных коэффициентов:

$$w_4^0 = y_{\min}, \quad w_1^0 = y_{\max} - w_4^0. \quad (8)$$

Коэффициенты w_2^0 и w_3^0 находятся из системы уравнений (9) по двум совокупностям данных (t, y), равномерно взятым из выборки D:

$$\begin{cases} y_p = \left(y_{\max} - y_{\min}\right)\exp\left(w_2^0 t_p^{\,w_3^0}\right) + y_{\min}, \\ y_q = \left(y_{\max} - y_{\min}\right)\exp\left(w_2^0 t_q^{\,w_3^0}\right) + y_{\min}, \end{cases} \quad (9)$$

где p, q – числа из ряда 1, 2, …, n, делящие отрезок [1, n] на равные интервалы.

Выражая коэффициенты из системы (9), получаем уравнения для вычисления w_2^0 и w_3^0:

$$w_3^0 = \frac{\ln\left(-\ln\left(\frac{y_q - w_4^0}{w_1^0}\right)\right) - \ln\left(-\ln\left(\frac{y_p - w_4^0}{w_1^0}\right)\right)}{\ln\left(t_q\right) - \ln\left(t_p\right)};$$

$$w_2^0 = \frac{\ln\left(\frac{y_p - w_4^0}{w_1^0}\right)}{t_p^{w_3}}. \quad (10)$$

В результате начальный вектор $\mathbf{w}^0$ для функции (3) определяется выражениями (8), (10).

Для функции (4) применялся иной подход нахождения компонентов вектора $\mathbf{w}^0$. Коэффициенты w_1^0, w_4^0 подбирались вручную и равны соответственно:

$$w_1^0 = 0{,}8 y_{\max}, \;\; w_4^0 = 0{,}2 y_{\max}. \quad (11)$$

Такие соотношения взяты из результата работы МЛМ по обучающей выборке $D_{\text{обуч}}$, являющейся одним из характерных переходных процессов.

Для нахождения w_2^0 и w_3^0 использовался метод секущих, применяемый после определенных преобразований [4]. После выбора p, q и подстановки w_1^0, w_4^0 в (4) была получена система:

$$\begin{cases} y_p = w_1^0 \exp\left(t_p^{w_2^0} - t_p^{w_3^0}\right) + w_4^0, \\ y_q = w_1^0 \exp\left(t_q^{w_2^0} - t_q^{w_3^0}\right) + w_4^0. \end{cases} \quad (12)$$

Она (12) приводится к виду:

$$\begin{cases} \ln\left(\frac{y_p - w_4^0}{w_1^0}\right) = t_p^{w_2^0} - t_p^{w_3^0}, \\ \ln\left(\frac{y_q - w_4^0}{w_1^0}\right) = t_q^{w_2^0} - t_q^{w_3^0}. \end{cases} \quad (13)$$

Заменим переменные следующим образом: $t_p^{w_2^0} = u$, $t_p^{w_3^0} = v$, $t_q^{w_2^0} = u^m$, $t_q^{w_3^0} = v^m$. Это позволит вычислить показатель степени m, используя систему уравнений:

$$\begin{cases} t_p^{w_2^0} = u, \\ t_q^{w_2^0} = u^m, \end{cases} \quad (14)$$

откуда $m = \dfrac{\ln\left(t_q\right)}{\ln\left(t_p\right)}$.

Система (13) принимает вид:

$$\begin{cases} \ln\left(\frac{y_p - w_4^0}{w_1^0}\right) = t_p^{w_2^0} - t_p^{w_3^0}, \\ \ln\left(\frac{y_q - w_4^0}{w_1^0}\right) = \left(t_p^{w_2}\right)^{\frac{\ln\left(t_q\right)}{\ln\left(t_p\right)}} - \left(t_p^{w_3}\right)^{\frac{\ln\left(t_q\right)}{\ln\left(t_p\right)}}. \end{cases} \quad (15)$$

Результатом преобразований является уравнение с одной переменной:

$$f\left(w_2^0\right) = \ln\left(\frac{y_q - w_4^0}{w_1^0}\right) - \left(t_p^{w_2}\right)^{\frac{\ln\left(t_q\right)}{\ln\left(t_p\right)}} + \left|\ln\left(\frac{y_p - w_4^0}{w_1^0}\right) - t_p^{w_2}\right|^{\frac{\ln\left(t_q\right)}{\ln\left(t_p\right)}}. \quad (16)$$

Функция (16) нелинейная и является гладкой на отрезке [–1, 1], то есть она имеет непрерывную первую производную на этом отрезке (рис. 1). Решение данного уравнения выполняется итерационным численным методом, который должен обладать устойчивостью (нечувствительностью к неточностям в исходных данных) и сходимостью (близостью получаемого численного решения задачи к истинному решению) [5]. Рас-

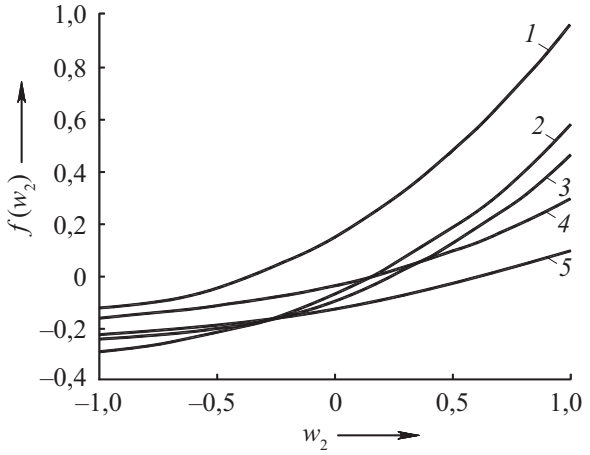


Рис. 1. Зависимость $f(w_2)$ от w_2:
1, 2, 3, 4, 5 – реализации с n равным соответственно 8, 11, 16, 24, 32

ширенным понятием сходимости является порядок сходимости α. Для наиболее распространенных одинаково устойчивых методов хорд, дихотомии, секущих α имеет значение 1, 1, 1,618 соответственно. Поэтому в данной работе предпочтение отдано последнему методу, итерационная формула которого имеет вид [6]:

$$w_2^{j+1} = w_2^j - \frac{w_2^j - w_2^{j-1}}{f\left(w_2^j\right) - f\left(w_2^{j-1}\right)} f\left(w_2^j\right), \quad (17)$$

где $j = 1, 2, \ldots$ – номер итерации.

Метод секущих является модификацией метода Ньютона. Суть модификации заключается в замене производной $f'(w_2^j)$ на конечно-разностную аппроксимацию $\frac{f\left(w_2^j\right) - f\left(w_2^{j-1}\right)}{w_2^j - w_2^{j-1}}$. В процессе итераций новое приближение w_2^{j+1} определяется двумя предыдущими значениями w_2^j и w_2^{j-1} [6].

На основе анализа совокупности A начальные значения w_2^{j-1} и w_2^j принимались равными 0 и 0,5. Критерий остановки итерационного процесса – $\left|f(w_2^j)\right| < 0,0001$. После нахождения w_2^0 значение w_3^0 равно:

$$w_3^0 = \frac{\ln\left(y_p + t_p^{w_2^0}\right)}{\ln(t_p)}. \quad (18)$$

Таким образом, начальный вектор $\mathbf{w}^0$ для функции (4) определяется выражениями (11), (17), (18).

Для функции (5) длительность переходного процесса приведена к единому отрезку времени $t_i \in [0, 1]$. Коэффициенты $\mathbf{w}^0 = [1, –1.5, 1, 1.5, 0.5]$ подобраны экспериментально.

Далее вектор начального приближения $\mathbf{w}^0$ заменяется на вектор $\mathbf{w}^0 + \Delta\mathbf{w}$ и реализация итерационной формулы МЛМ имеет вид:

$$\mathbf{w}^{j+1} = \mathbf{w}^j + \Delta\mathbf{w}^j, \quad (19)$$

где $j = 1, 2, \ldots$ – номер итерации.

Приращение $\Delta\mathbf{w}$ находится по формуле [2]:

$$\Delta\mathbf{w} = \left(J^T J + \lambda \cdot diag\left(J^T J\right)\right)^{-1} J^T \left(\mathbf{y} - \tilde{\mathbf{F}}\right), \quad (20)$$

где J – матрица Якоби; $\lambda \geq 0$ – параметр регуляризации; $diag\,(J^TJ)$ – диагональная матрица с элементами J^TJ; $\mathbf{y}$, $\tilde{\mathbf{F}}$ – векторы экспериментальных и регрессионных значений.

Матрица J составляется из частных производных функции $\tilde{F}_z\left(t_i, \mathbf{w}\right)$ по всем компонентам вектора w:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial \tilde{F}_z\left(t_1, \mathbf{w}\right)}{\partial w_1} & \cdots & \frac{\partial \tilde{F}_z\left(t_1, \mathbf{w}\right)}{\partial w_k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial \tilde{F}_z\left(t_n, \mathbf{w}\right)}{\partial w_1} & \cdots & \frac{\partial \tilde{F}_z\left(t_n, \mathbf{w}\right)}{\partial w_k} \end{bmatrix}. \quad (21)$$

Для вычисления частных производных используется центральная конечно-разностная аппроксимация [6]:

$$\frac{\partial \tilde{F}_z\left(t_i, \mathbf{w}\right)}{\partial w_k} = \frac{\tilde{F}_z\left(t_i, \mathbf{w} + \eta\right) - \tilde{F}_z\left(t_i, \mathbf{w} - \eta\right)}{2\eta}, \quad (22)$$

где η – конечно-разностный интервал.

Значение η определяется методом подбора для каждой конкретной функции. При отладке программной реализации МЛМ использо-

ваны значения $\eta_3 = 10^{-6}$, $\eta_4 = 10^{-6}$, $\eta_5 = 10^{-3}$ для функций (3), (4), (5) соответственно.

Матрица частных производных J транспонируется в J^T. Результатом произведения J^TJ является прямоугольная матрица размером $k \times k$. Сумма $J^TJ + \lambda \cdot diag\,(J^TJ)$ представляет собой матрицу Гессе H. Обращение H выполняется методом Гаусса–Жордана [7], он заключается в том, что если с единичной матрицей E провести элементарные преобразования, которыми невырожденная матрица H приводится к E, то получается обратная матрица H^{-1}.

Наличие параметра регуляризации λ является отличительной особенностью МЛМ от прочих методов многомерной оптимизации. Монотонное убывание минимизируемой функции $S(\mathbf{w})$ достигается в МЛМ за счет подбора значений λ [6].

Критерием оценки качества аппроксимации и окончания итерации принимается средняя ошибка аппроксимации:

$$\overline{\varepsilon} = \frac{\sum \left| y_i - \tilde{F}_z\left(t_i, \mathrm{w}\right) \right| / y_i}{n} 100\%.$$

При исследовании пяти реализаций (1…5) с использованием функций (3), (4), (5) сделан вывод, что зависимость $\overline{\varepsilon} = f(\lambda)$ нелинейная (рис. 2). Различные значения $\overline{\varepsilon}$ на начальной стадии адаптивной коррекции объясняются особенностями (в частности, точностью) определения $\mathbf{w}^0$.

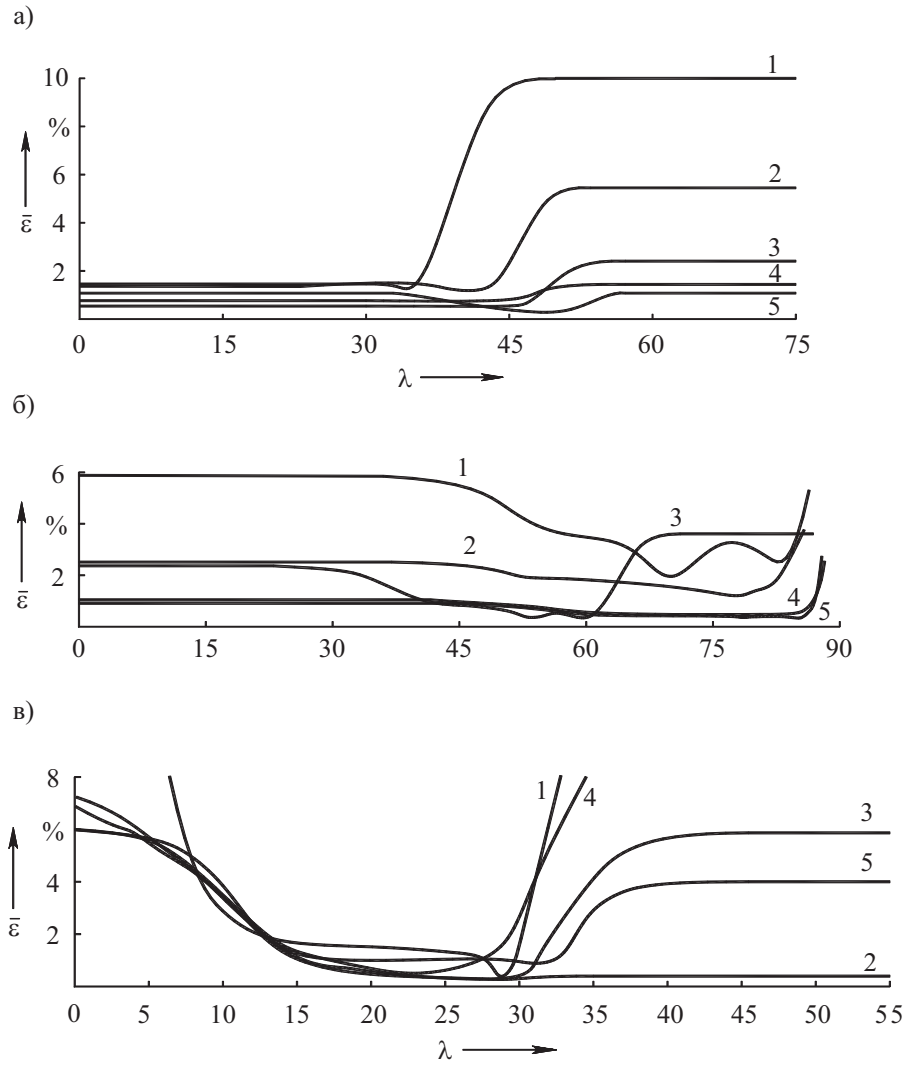


Рис. 2. Зависимость $\overline{\varepsilon}$ от коэффициента регуляризации (λ) для функций: а) – (3), б) – (4), в) – (5)

2 Адаптивная коррекция

Цель адаптивной коррекции – найти значение λ на текущем шаге итерации, при котором $\overline{\varepsilon} \to \min$. Так как аналитическое выражение $\overline{\varepsilon} = f(\lambda)$ отсутствует, необходимо реализовывать алгоритм итерационного метода подбора соответствующего значения λ (рис. 3).

Для решения этой задачи начальное λ_i^0 принимается равным максимальному значению из элементов матрицы $J^T J$ (блок 7). Это приводит к тому, что МЛМ ведет себя как метод градиентного спуска с медленной сходимостью. При таких условиях начинается внешний цикл по j, вычисляются поправки $\Delta \mathbf{w}_1^j$, вектор $\mathbf{w}_1^j$ (блок 11) и средняя ошибка аппроксимации (далее – СОА) $\overline{\varepsilon}_1$ (блок 12).

Полученное значение $\overline{\varepsilon}_1^j$ сравнивается с $\overline{\varepsilon}_0^j$ (блок 14). При увеличении СОА $\lambda^0{}_i$ последовательно уменьшается в 1,618 и повторно выполняются действия блоков 8–15.

Если в результате достигается состояние, при котором

$$\lambda_i^j < \tau \qquad (23)$$

(где τ – заданное малое число), то программа завершается, $\mathbf{w}_0^j$ считается лучшим приближением, а коэффициенты – найденными (блок 30). Выход из цикла по i осуществляется при выполнении условия $\overline{\varepsilon}_0^j > \overline{\varepsilon}_1^j$.

Цикл по k начинается после присвоения $\lambda^j{}_k = \lambda^j{}_i/1{,}618$ (блок 16). При неверности неравенства (блок 23):

$$\overline{\varepsilon}_1^j < \overline{\varepsilon}_2^j, \qquad (24)$$

где $\overline{\varepsilon}_1^j$ – СОА при $\mathbf{w}_1^j$, которому соответствует $\lambda^j{}_k$; $\overline{\varepsilon}_2^j$ – СОА при $\mathbf{w}_2^j$, которому соответствует $\lambda^j{}_k = \lambda^j{}_k/1{,}618$; продолжается уменьшение параметра регуляризации (блок 25) для отыскания минимального значения $\overline{\varepsilon}_2^j$ (блоки 17–25). Уменьшение $\lambda^j{}_k$ и окончание цикла по k происходит по двум критериям:

1) выполнение условия $\lambda_k^j < \tau$, при этом программа завершается, а $\mathbf{w}_1^j$ считается лучшим приближением;

2) увеличение $\overline{\varepsilon}_2^j$ по сравнению с предыдущим $\overline{\varepsilon}_1^j$ (блок 23), при этом $\mathbf{w}_1^j$ считается лучшим приближением на текущем j шаге и выполняются завершающие операции цикла j.

Критерием окончания внешнего итерационного процесса по j, то есть нахождения наилучшего приближения вектора w, является выполнение условия $\left|\overline{\varepsilon}_0 - \overline{\varepsilon}_1\right| < 10^{-6}$ в течение трех итераций (блок 27). В этом случае $\mathbf{w} = \mathbf{w}_1^j$ и МЛМ считается реализованным.

Заключение

Аппроксимация переходных процессов D функциями (3), (4), (5) методом наименьших квадратов с применением МЛМ обеспечивает получение значений искомых коэффициентов, при которых средняя ошибка аппроксимации не превышает 1,4 %, (рис. 4). Такие значения меньше рекомендуемых предельных значений [8].

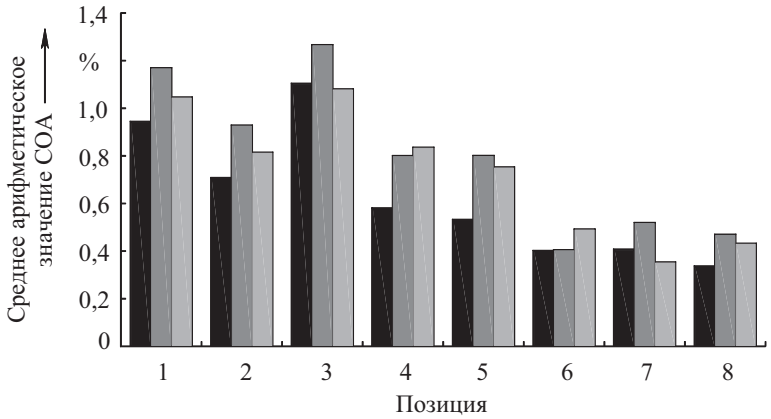


Рис. 3. Среднее значение СОА функции аппроксимации (3), (4), (5) в зависимости от номера позиции контроллера машиниста

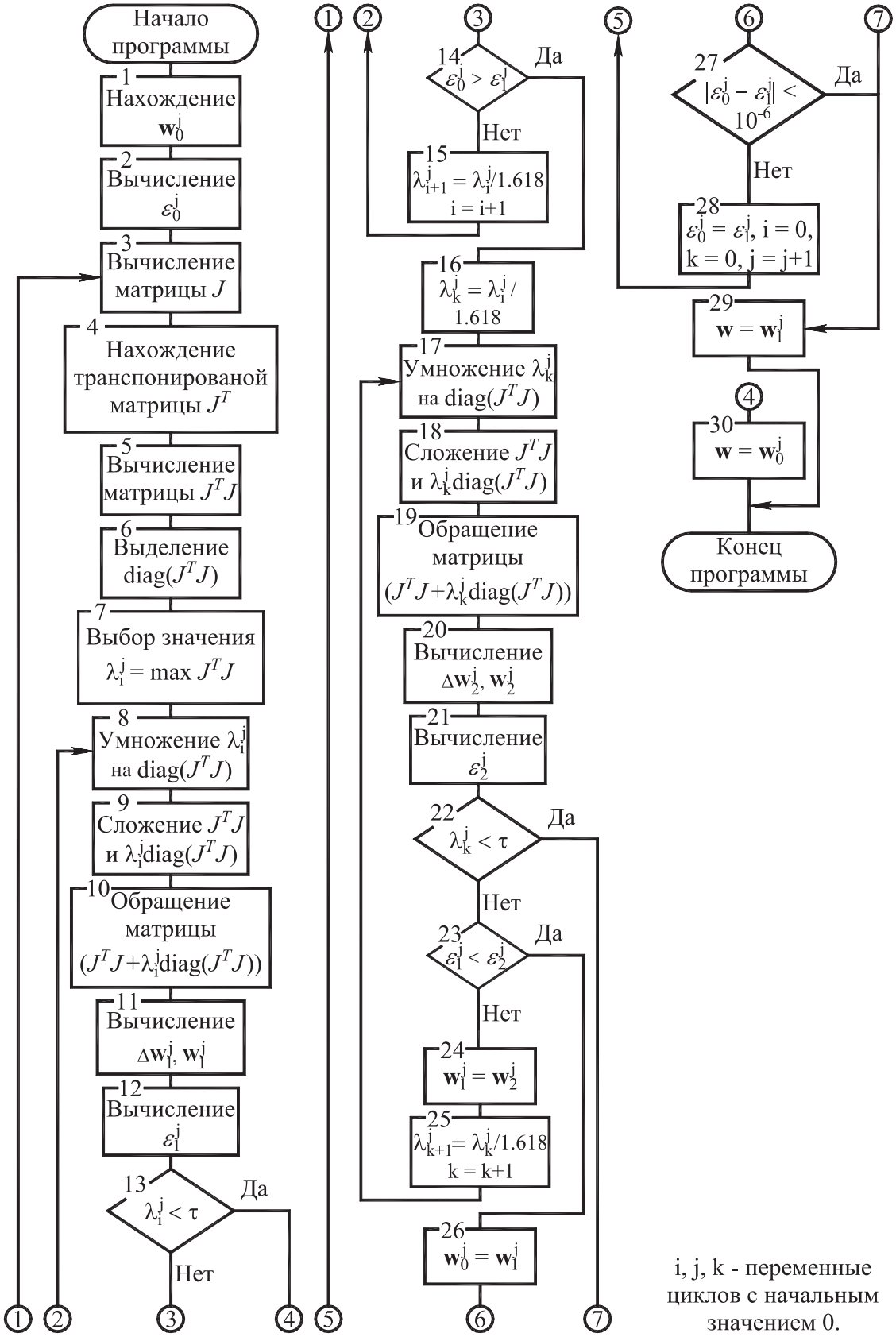


Рис. 4. Алгоритм реализации МЛМ

На позициях 1–5 контроллера машиниста заметна менее качественная аппроксимация, чем на позициях 6–8. Влияние выбросов и их конкретные причины можно установить после статистического анализа и проведения эксперимента.

В работе описана методика аппроксимации получаемых с бортовой системы АПК «Борт» данных изменения тока тягового генератора в режиме разгона тепловоза. Методика распространена на линейные и нелинейные аппроксимирующие функции. Полученные результаты свидетельствуют о приемлемой погрешности аппроксимации и возможности использования их для контроля технического состояния локомотивов.

Библиографический список

1. **Математическое** описание экспериментальных данных контроля технического состояния локомотивов / В. А. Четвергов, В. М. Бочаров, А. И. Мишин, О. В. Гателюк, П. А. Сиряк // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/110-9767.

2. **Метод** Левенберга-Марквардта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://alglib.sources.ru/optimization/levenbergmarquardt.php.

3. **Прикладная** статистика / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин – Москва : Финансы и статистика, 1985. – 487 с., ил.

4. **Численные** методы безусловной оптимизации и решения нелинейных уравнений / Дж. мл. Деннис, Р. Шнабель ; пер. с англ. – Москва : Мир, 1988. – 440 с., ил.

5. **Основы** численных методов : учеб. пособие / Л. И. Турчак. – Москва : Наука, 1987. – 320 с.

6. **Практическая** оптимизация / Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт ; пер. с англ. – Москва : Мир, 1985. – 509 с., ил.

7. **Метод** Гаусса-Жордана [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://goo.gl/r1RtpQ.

8. **Метод** наименьших модулей / В. И. Мудров, В. Л. Кушко. – Москва : Знание, 1971. – 61 с.

УДК 629.45/.46.02

Н. А. Чурков
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

О ПЕРСПЕКТИВНОМ ГРУЗОВОМ ВАГОНЕ

Перевод экономики на рыночные отношения сформировал новые условия хозяйствования, которым должен удовлетворять и железнодорожный транспорт. Концепция грузовых вагонов, сформулированная в 20-х гг. XX в. и с тех пор не изменявшаяся, устарела, в связи с чем в статье поставлен вопрос о необходимости создания новой концепции. Показана целесообразность использования специализированных контейнеров, созданных на базе универсальных крупнотоннажных ISO контейнеров. Перевозку грузов в контейнерах предложено организовать в грузовых нерасцепляемых поездах, курсирующих по определенным направлениям и по расписанию, подобно пассажирским. В качестве перспективного грузового вагона предложена платформа для специализированных контейнеров.

товарные вагоны, перспективы развития, контейнеры, железнодорожный транспорт.

Введение

В 1991 г. наша страна – социалистическое общенародное государство трудящихся всех наций и народностей СССР – была преобразована в Российскую Федерацию – федеративное государство с республиканской формой правления. В результате изменилось

все, начиная с государственного устройства и формы собственности и заканчивая всеми институциями страны. Эти изменения коснулись и железнодорожного транспорта. Его задачи в новых условиях были сформулированы в Транспортной стратегии РФ на период до 2020 г. и в Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 г. Грузовое вагоностроение в стране предполагается развивать на основе Федеральной Программы «Разработка и производство в России грузового подвижного состава нового поколения». С формальной точки зрения все хорошо. Однако в основе разработок указанных программ есть принципиальные особенности, которые превращают их ранг перманентных. Это заключается в выборе старых, не соответствующих современному состоянию целей.

1 Железная дорога и общество

С известной долей упрощения можно допустить, что появление железных дорог вызвано капиталистическим способом производства, который в большей степени, чем феодальный, нуждался сначала в обмене, а потом и в торговле товарами. Характерной особенностью первоначальных перевозок было то, что в перевозочном процессе преобладали сырьевые грузы. Они, как правило, носили массовый характер, не нуждались в особенных условиях перевозок, поэтому в этих условиях хорошо себя зарекомендовали универсальные вагоны.

Универсальные вагоны, в которых перевозилась большая номенклатура грузов, почти постоянно находились в груженом состоянии, независимо от того, в каком направлении происходило их движение. Это уменьшало коэффициент порожнего пробега, улучшало экономику использования железнодорожных вагонов, но при этом страдало качество перевозок, в особенности – готовых изделий.

Универсальные вагоны были существенно дешевле специализированных. При нехватке вагонов и при отсутствии конкуренции между перевозчиками ими было легче удовлетворить грузоотправителей, поэтому в парке грузовых вагонов они преобладали. Так, структура грузового парка позднего СССР состояла из крытых вагонов – 11 %, платформ – 10 %, полувагонов – 33 %, цистерн – 23 % и прочих вагонов – 23 %; для сравнения в США в то же время было: крытых вагонов – 10,7 %, платформ – 11,4 %, полувагонов – 15,3 %, цистерн – 18,7 %, прочих вагонов – 43,9 %.

В связи с переходом на товарно-денежные отношения, а также глобализацией и формированием у населения товарной зависимости поток перевозимого сырья должен был значительно уменьшиться, а перевозка готовых изделий – увеличиться. Ведущие капиталистические страны отреагировали на эти изменения созданием конкурентной транспортной среды, специализированных вагонов и контейнеризацией перевозок.

Специализированные вагоны предназначались только для перевозок определенных грузов. Такие вагоны часто доставлялись порожними до места погрузки, из-за этого увеличивался коэффициент порожнего побега, ухудшалась экономика железнодорожного транспорта, но возрастало качество перевозок.

Перевод экономики на рыночные, товарно-денежные отношения сформировал новые условия хозяйствования, которым должен удовлетворять и железнодорожный транспорт. Эти условия таковы [1]:

1. Должны уйти в прошлое массовые перевозки грузов, характерные для общенародного социалистического государства.

2. Будут сокращаться перевозки необработанного сырья, уступая место полуфабрикатам и готовым продуктам.

3. Увеличивается число мелких и средних продуцентов с мелкими или малотоннажными отправками грузов без промежуточных перегрузок по схеме «от двери до двери».

4. Увеличиваются требования грузоотправителя к качеству и срокам доставки грузов.

5. Разрушается единая транспортная система и становится реальностью конкурентная борьба за клиента железной дороги с другими видами транспорта.

6. Появились операторские компании, мелкие собственники подвижного состава.

7. Намечаются серьезные противоречия между грузоотправителями по качеству и срокам доставки грузов с возможностями операторских компаний.

Этим изменениям не соответствуют современные вагоны, поэтому нужны новые перевозочные средства железнодорожного транспорта – подвижной состав нового поколения.

Каков должен быть типаж вагонов и какова должна быть структура грузового вагонного парка? Можно ли заимствовать отечественный и зарубежный опыт для создания подвижного состава, отвечающего новым условиям хозяйствования в России?

Опыт выработки концепции грузовых вагонов в нашей стране в начале XX в. показал, что для получения правильного решения нужно иметь ответы на следующие проблемные вопросы:

– каков выбранный способ производства в РФ и на какую перспективу он рассчитан;

– каково место и ориентация РФ в мировом разделении труда;

– каковы экономическая география страны, величины и направления грузовых потоков;

– какова глубина переработки сырья в РФ;

– есть ли конкурентные виды транспорта и какие они;

– каковы платежеспособный уровень населения и перспектива его изменения;

– какова перспективная структура промышленности и сельского хозяйства;

– каков уровень специализации железнодорожного подвижного состава;

– каков уровень самообеспеченности регионов;

– каковы общенациональные приоритеты развития РФ и др.

Эти вопросы вскрывают большой пласт разносторонних работ по различным направлениям НИР, НИИОКР (социологическим, экономическим, техническим, прогностическим и др.), а в целом это – длительный и трудоемкий путь, на проведение которого история нам не оставила много времени. В связи с этим, как нам представляется, должны приветствоваться любые предложения по ускорению указанных процессов и новые решения по организации перспективных грузовых перевозок на железнодорожном транспорте.

Предлагаем свой путь решения указанной проблемы. Он основан на возврате к существовавшим положениям, но в новом прочтении, создании системы из хорошо зарекомендовавших элементов других систем, отказе от устоявшихся принципов и приоритетов, выработанных в условиях директивной экономики, а также переходе на принципы экономической выгодности и целесообразности.

2 Требования к грузовым вагонам нового поколения

Практически весь предыдущий опыт эксплуатации железных дорог в РФ исходил из главенствующего положения железной дороги по отношению к грузоотправителю. Это находило и находит сейчас свое отражение в Законе РФ о железнодорожном транспорте, в Уставе железнодорожного транспорта и в том монопольном положении железнодорожного транспорта, которое он сегодня занимает на рынке транспортных услуг РФ.

Во-первых, в новых условиях капиталистического хозяйствования главным становится часто декларируемый у нас, но не работающий пока на практике принцип и его следствия типа: «грузоотправитель всегда прав», «вагон предназначен для перевозок грузов, а не самого себя как конструкции».

Во-вторых, на железной дороге должен действовать Закон РФ о защите прав потребителя. Требования железной дороги, в том числе и Устав железнодорожного транспорта РФ, должны рассматриваться в таких случаях как основание для заключения договора между грузоотправителем и перевозчиком,

условия которого должны выполняться железной дорогой.

Таким образом, в соответствии с новыми условиями железнодорожный грузовой вагон должен обеспечивать не скорость движения и безопасность перевозок (они должны, безусловно, выполнятся безо всяких упоминаний о них), а:

1. Доставку упакованного груза в соответствии с договором на перевозку по стоимости, определяемой грузоотправителем по состоянию конкурентной среды.

2. Предмет договора на перевозку должен отражать соглашение перевозчика с требованиями грузоотправителя и выражаться в купле-продаже оговоренного в Договоре «грузо-места» в поезде по маршруту перевозки.

3. Технические условия, определяющие состояние вагона, не касаются грузоотправителя; они должны обеспечивать выполнение п. 1 настоящих требований.

4. Все отклонения в процессе перевозки, повлиявшие на выполнения п.1 настоящих требований, должны удовлетворяться в соответствии с договором на перевозку или в судебном порядке.

Таким образом, все требования к вагонам должны исходить из выполнения экономических, а не технических условий и их основополагающих принципов: «вагон для груза, а не груз для вагона» и «железная дорога – для клиента, а не клиент – для железной дороги».

При перевозках в универсальных вагонах примерно три четверти времени оборота вагона уходит на ожидание, выполнение маневровых и погрузо-разгрузочных работ на станциях и только четверть – на движение. Поэтому в вагонах нового поколения должны быть максимально ограничены время на ожидание перевозки, выполнение маневровых и погрузо-разгрузочных работ и потерю грузов. Минимизация этих работ позволила бы почти в три раза ускорить оборот вагонов.

С использованием традиционных универсальных вагонов обозначенное выше пожелание не выполнимо, так как исключить погрузо-разгрузочные, транспортные, складские, перестановочные и другие операции с ними невозможно. Они составляют сейчас основу коммерческой работы железной дороги и определяют технологический процесс работы станций. Поэтому универсальные вагоны не могут в будущем стать основой для создания грузовых вагонов нового поколения.

Огромная и все возрастающая номенклатура производимых на предприятиях нашей страны готовых изделий, нуждающихся в перевозках железнодорожным транспортом, требует все большего количества разнообразных типов специализированных вагонов. Решение этой проблемы может превратиться либо в дорогостоящую и неподъемную для нашей экономики задачу, либо стать невозможным в принципе. Поэтому и традиционные специализированные вагоны также не могут послужить основой для создания грузовых вагонов нового поколения.

Так какими же должны быть грузовые вагоны нового поколения?

Для этого вначале по-новому определим назначение и составные части вагонов.

3 Составные части вагона как коммерческой и физической единицы подвижного состава

Традиционно вагон представляют состоящим из четырех (кузов, ходовые части, ударно-тяговые и тормозные устройства) или из пяти (рама, кузов, ходовые части, ударно-тяговые и тормозные устройства) частей. Мы же видим, что вагон состоит из двух частей: коммерческой и физической.

Коммерческую составляющую определяет кузов вагона, он предназначен для размещения груза. Кузов рассматриваем как многоразовую упаковку, которая позволяет более полно использовать отводимый габаритом объем вагона под груз, сохранять его в компактном, удобном для перевозки состоянии и обеспечивать при этом заданное качество перевозки.

Физическую и техническую составляющие определяет вагон как конструкция. Она объединяет раму, ходовые части, ударно-

тяговое и тормозное оборудования, т. е. это ни что иное, как ходовая платформа. На нее устанавливается кузов, и происходит перемещение всего вагона по рельсовой колее. Ходовая платформа за счет рессорного подвешивания обеспечивает необходимую плавность хода, воспринимает все действующие на вагон нагрузки, позволяет объединять вагоны в составы и поезда и осуществляет при необходимости их торможение. Это своего рода транспортная тележка, на которую можно поместить любой груз. Принципиально ходовая платформа не отличается от существующих сегодня железнодорожных платформ.

Если рассматривать железнодорожный транспорт как систему [2], то кузов вагона можно отнести к субсистеме «груз», а ходовую платформу – к субсистеме «подвижной состав – вагон».

Вначале так и было, груз распределяли и закрепляли на ходовой платформе. Требования к упаковке груза были минимальными, поэтому вагон начали обустраивать под размещение груза, устраивать на платформе нечто подобное грузовому помещению, внутрь которого укладывали груз. Затем кузов вагона стали превращать в несущую конструкцию и совмещать с другими его частями.

С этих пор кузов и ходовая платформа были объединены в единую конструкцию. При этом кузов постепенно стал определяющей частью вагона. По типу кузова начали называть вагоны, а ходовая платформа из основной конструкции превратилась в рядовую часть.

Для погрузки вагон стали подавать к грузу по специально проложенным железнодорожным путям. При этом процесс укладки груза в вагон, как в многоразовую упаковку, и все связанные с этим действия возложили на железную дорогу.

Таким образом, железная дорога стала не только перевозить груз, но и осуществлять с ним различные так называемые грузовые операции, заниматься сохранностью (в широком смысле), погрузкой и выгрузкой, закреплением и размещением грузов. Груз стал привязываться к вагону, а маршрут движения вагона все более соответствовать месту назначения перевозимого груза. Железные дороги стали все больше приближаться к потенциальному грузоотправителю или получателю. При этом расширялась сеть железных дорог. Все это требовало огромных капитальных затрат и приводило к увеличению себестоимости перевозок грузов.

В социалистическое время, когда государство рассматривалось как хозяйственный единый механизм, а цена товара – как выражение социальной обязанности государства перед обществом, такое дополнительное увеличение не играло существенной роли. Другое дело сейчас, когда страна встала на путь товарно-денежных отношений и цена стала выражать отношение каждого отдельного грузоотправителя к перевозочному процессу.

Поэтому дальнейшее развитие и эксплуатация железных дорог видится в возвращении ей основной, исходной цели – осуществление только перевозочного процесса. Все остальные операции, связанные с грузами, предлагается возложить на грузоотправителя. Такое разделение позволит разрешить проблемы ускорения перевозок и обеспечения физической и коммерческой сохранности грузов.

Указанное разрешение возможно, если перевозить железнодорожным транспортом *все* грузы в специальной таре – контейнерах, используя идеи, предложенные и осуществленные в 1956–1958 гг. американцем М. Макклейном, по перевозке грузов в морских судах.

4 Контейнеры как способ ускорение перевозок, обеспечения физической и коммерческой сохранности грузов и специализации кузовов вагонов

Впервые в мире контейнеры были применены в России в 1889 г. В 1918 г. инженер С. Г. Алексеев провел первые эксперименты по внедрению съемного кузова размером в половину объема нормального крытого ва-

гона, но этот опыт не получил распространения. Практическое развитие контейнеризации в стране было осуществлено только в 1934 г. В 70-х гг. XX в. началась эра широкого использования контейнеров. В СССР к этому времени в них уже перевозилось около 80 % всех мелких отправок. К настоящему времени контейнер прочно занял свое место в общей организации транспортного обслуживания практически всех стран мира.

Международный стандарт ISO определяет контейнер как несущую стандартную многоразовую упаковку, предназначенную для перевозок грузов на подвижном составе различных видов транспорта, защищающую его от погодных условий, потерь и повреждений, приспособленную для производства погрузо-разгрузочных и транспортных операций.

Использование контейнеров сокращает время доставки грузов, позволяет отказаться от использования складов, значительно упрощает делопроизводство, уменьшает штаты материально-ответственных работников и снижает непроизводительные расходы. При контейнерном способе перевозок резко сокращается стоимость перегрузочных операций.

Физическая и коммерческая сохранность грузов достигается организацией перевозок по принципу «от двери до двери» без перегрузок, сортировок, проверок и вскрытий контейнеров на всем пути следования от грузоотправителя до грузополучателя.

Использование контейнерных перевозок дает возможность перейти от специализации вагона к специализации контейнера, т. е. вагон в отношении контейнера будет специальным, а контейнер в отношении груза может быть специальным или универсальным.

При этом отпадает необходимость в наличии огромного парка специализированных вагонов (в современном понимании). Он будет сводиться к одному типу вагонов – вагону-платформе.

Большинство грузов, предлагаемых к перевозкам на железнодорожном транспорте, могут быть упакованы в индивидуальные вставленные емкости, составляющие одно целое с каркасом стандартных контейнеров. Те грузы, для которых невозможно использование таких контейнеров, могут приниматься к перевозкам прежним способом. Как показали наши и зарубежные исследования [3], доля таких грузов невелика и вряд ли составит более 5–6 %.

Номенклатура всех производимых и эксплуатируемых контейнеров вне зависимости от перевозимых грузов должна учитывать стандартизацию и унификацию их габаритных размеров, расположение и конструкцию фитингов, а также использовать в качестве несущего унифицированный стержневой каркас прямоугольной формы, внутри которого размещается специализированная, индивидуальная емкость заданной формы для перевозимого груза.

В основе всей системы контейнерных перевозок должны быть контейнеры международного образца, разработанные и утвержденные 104-м Техническим комитетом ISO.

При таком подходе резко возрастает производство различных контейнеров, предназначенных для разовых и многоразовых перевозок специальных грузов в штучной форме исполнения. Это будет способствовать возникновению новой самостоятельной области транспортного машиностроения, рассчитанной на массовое поточное производство всей необходимой для грузоотправителей номенклатуры контейнеров – контейнеростроение. Она же, в свою очередь, будет определять специфические требования к смежным отраслям промышленности: металлургической, химической, деревообрабатывающей и др.

Поскольку контейнер – это тара, упаковка, его целесообразнее всего не отделять от груза. Перевозочный процесс железнодорожным транспортом будет значительно упрощен и ускорен, если технологический процесс изготовления продукции будет включать в себя работы, связанные с ее доставкой потенциальному покупателю, т. е. с превращением готового изделия в товар. Для этого продуцент готовых изделий проектирует не только его индивидуальную упаковку, но и специальную емкость, размещаемую

в каркасе стандартного крупнотоннажного контейнера ISO.

Было бы логичнее, если бы такой специализированный контейнер и груз имели одного владельца – продуцента груза, как это происходит с индивидуальной транспортной упаковкой готовых изделий. Загрузку в такой специализированный контейнер в соответствии с международными нормами и доставку его на железнодорожную станцию рациональнее также производить грузоотправителю.

При этом железную дорогу из владельцев сети контейнеров целесообразнее исключить, в таком случае все существующие на сегодня погрузо-разгрузочные работы, осуществляемые железной дорогой, сведутся только к погрузке-выгрузке контейнеров и к доставке их на площадку кратковременного хранения грузового вокзала.

По окончании доставки груза грузополучателю, со специализированным контейнером могут производиться все возможные действия в соответствии с владетельными правами на него.

5 Специализированный вагон для контейнеров

Как уже указывалось выше, используя возможность широкого применения контейнеров для грузовых перевозок, можно решить проблему перспективных перевозок любых готовых изделий железнодорожным транспортом.

Для этого специализированный подвижной состав взаимно увязывается по параметрам и размерам с соответствующими параметрами и размерами контейнеров. На вагоны устанавливаются передвижные стопорные устройства для крепления контейнеров. Контейнеры, по возможности, загружаются на вагоны в той последовательности, которая используется в настоящее время при формировании составов, т. е. в последовательности прохождения станций назначения по маршруту движения поезда и в соответствии с размерами грузовых вокзалов.

Для облегчения погрузки и разгрузки контейнеры целесообразно располагать на платформах в один этаж. Это позволит использовать существующие фронтальные стреловые и боковые вилочные автопогрузчики большой грузоподъемности (20–30 т) на промежуточных станциях и козловые краны (грузоподъемностью на спредере от 20 до 40 т и с пролетами от 10 до 63 м) на контейнерных станциях даже на электрифицированных участках пути.

Для удешевления конструкции новых вагонов платформы для крупнотоннажных контейнеров могут создаваться на базе существующих рам рефрижераторных или пассажирских вагонов с хребтовой балкой или без нее, удлиненных при необходимости для размещения на них целого числа стандартных большегрузных контейнеров. Эти рамы могут быть оборудованы технологическими трапами без сплошного настила пола.

Учитывая деликатный характер груза (готовые изделия) и необходимость смягчения продольных нагрузок, предлагается сохранить в таких вагонах существующие ударно-тяговые устройства пассажирских вагонов с буферами.

Для обеспечения безопасной перевозки готовых изделий в таких вагонах необходимая плавность хода будет достигнута, если статический прогиб рессорного подвешивания составит не менее 90 мм. Этого можно достигнуть, используя для новых вагонов тележки КВЗ-И2 или КВЗ-5. Они, кроме обеспечения необходимой плавности хода, дадут возможность для существенного повышения скоростей перевозок грузов на железных дорогах.

Предлагаемая организация перевозок грузов предполагает, что загрузка контейнеров не будет полностью использовать их допустимую грузоподъемность (этим объясняется также и отмеченное выше введение тарифа не за перевезенные «т-км», а за «грузоместо»). Появляющуюся в этом случае вертикальную несоосность сцепления можно устранить, создавая горизонтальную погрузочную поверхность в поезде при по-

мощи применения специального подвешивания.

Кроме того, возможное недоиспользование допускаемой погонной нагрузки на путь и колесную пару из-за возможной недогрузки контейнеров можно частично устранить, если использовать нерасцепляемые составы из вагонов, изготовленных по сочленной схеме.

До насыщения вагонного парка необходимым количеством предлагаемых новых вагонов на железных дорогах как временную меру можно использовать существующие удлиненные платформы, рассчитанные на перевозку крупнотоннажных контейнеров.

Заключение

1. Концепция современных грузовых вагонов была сформулирована в 20-х гг. XX в. с учетом всех особенностей состояния страны того времени. Сейчас необходима новая концепция.

2. При расширении товарно-денежных отношений в стране ожидается лавинообразное увеличение номенклатуры грузов в виде готовых изделий из небольших партий. Решить эту проблему на железнодорожном транспорте можно только используя специализированные контейнеры, созданные на базе универсальных крупнотоннажных контейнеров ISO.

3. Перевозку грузов в контейнерах целесообразно организовать в грузовых нерасцепляемых поездах, курсирующих, подобно пассажирским, по определенным направлениям и по расписанию. В качестве перспективного грузового вагона предлагается платформа для специализированных контейнеров.

Библиографический список

1. **Генезис** вагоностроения / Н. А. Чурков, М. М. Соколов, И. Г. Морчеладзе. – Москва : ВИНИТИ РАН, 2013. – 280 с.

2. **Общее** устройство вагонов и их взаимодействие с техническими средствами железных дорог : учеб. пособие / Н. А. Чурков, А. А. Эстлинг. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 1997. – 120 с.

3. **Czurkow, N. A.,** Maszyny, I. (1991). Transport charges [Urzadzenia Ladunkowe w Transporcie], Radom, 168 p.

→ ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

УДК 624.042.7

Т. А. Белаш, А. А. Ермошин, Н. В. Никонова, А. М. Уздин
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АСИМПТОТИЧЕСКОГО МЕТОДА Б. Н. КВАСНИКОВА ДЛЯ АНАЛИЗА УРАВНЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ С НЕЛИНЕЙНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

Представлен пример использования асимптотического метода профессора Б. Н. Квасникова для анализа дифференциальных уравнений нелинейных колебаний систем с гидравлическими демпферами. В соответствии с этим методом каждому члену дифференциального уравнения приписывается порядок, определяющий его значимость в дифференциальном уравнении. Далее составляется система линейных алгебраических уравнений в порядках и на основе ее анализа рассматриваются возможности исключения тех или иных членов и получения соответствующих «укороченных» уравнений. Рассмотрены все варианты «укороченных» уравнений колебаний применительно к задаче нелинейных сейсмических колебаний моста с сейсмоизоляцией. Построен асимптотический портрет рассматриваемого нелинейного уравнения.

нелинейные дифференциальные уравнения, асимптотический анализ, фазовый портрет.

Введение

Три года тому назад скончался один из старейших сотрудников нашего института, доктор физико-математических наук, профессор Борис Николаевич Квасников (рис. 1).

Борис Николаевич родился 6 сентября 1926 г., высшее образование получил в ЛИИЖТе, окончив институт в 1951 г.



Рис. 1. Профессор Б. Н. Квасников, 2010 г.

Он прошел непростой путь в науке, начав с исследования вопросов устройства пути на кривых [1] и закончив асимптотическими методами решения алгебраических уравнений [2]. Увлечение математикой началось у него сравнительно поздно, когда ему было почти 50 лет. Первые работы в области прикладной математики и механики он опубликовал в 1985 г. В 1990 г. [3], [4] он защитил докторскую диссертацию, посвященную построению укороченных уравнений теории оболочек с использованием асимптотических методов.

Предложенный им при анализе уравнений теории оболочек подход оказался значительно более общим, на его основе можно строить так называемые фазовые портреты уравнений математической физики. Это области в пространстве параметров уравнения, в каждой из которых возможны те или иные упрощения исходного уравнения колебаний. Построение фазовых портретов было успешно реализовано Б. Н. Квасниковым с аспирантом ПГУПС С. Сухейлом для ана-

лиза сейсмических колебаний зданий на кинематических фундаментах [5].

1 Асимптотический портрет уравнения колебаний осциллятора с вязким и сухим трением

1.1 Построение областей асимптотического портрета уравнения колебаний осциллятора с вязким и сухим трением

В [6] под руководством Б. Н. Квасникова построен фазовый портрет уравнения колебаний осциллятора с вязким и сухим трением. Это уравнение после его приведения к безразмерному виду представляется следующим образом:

$$\ddot{\xi} + 2\pi\gamma\dot{\xi} + 4\pi^2\xi - f \cdot sign\dot{\xi} = -T^2\ddot{\overline{y}}_0. \qquad (1)$$

Здесь введено безразмерное время $\tau = t/T$, где $T = \frac{2\pi}{k}$ – период основного тона колебаний системы. В этом случае выполняются соотношения:

$$\frac{d}{dt} = \frac{d}{Td\tau}. \qquad (2)$$

В уравнении (1) и далее двумя точками обозначена производная по безразмерному времени τ.

Величина ξ в уравнении (1) представляет собой безразмерное смещение:

$$\xi = \frac{y}{AgT^2} = \frac{\eta}{T^2}, \qquad (3)$$

где Ag – амплитуда ускорений основания.

Заметим, что в правой части уравнения стоит безразмерное расчетное ускорение:

$$\ddot{\eta}_0 = \frac{w}{Ag} = \frac{1}{Ag} \cdot \frac{d^2y_0}{dt^2} \cdot = \\ = \frac{1}{T^2} \cdot \frac{1}{Ag} \cdot \frac{d^2y_0}{d\tau^2} = \overline{w} = -T^2\ddot{\overline{y}}_0. \qquad (4)$$

Для асимптотического анализа уравнений Б. Н. Квасниковым были введены порядки всех безразмерных коэффициентов и переменных дифференциального уравнения. При этом вводится большой параметр μ и все переменные сравниваются с этим параметром, например, $\xi = \mu^{p_\xi}$ означает, что переменная ξ имеет порядок p_ξ по отношению к μ. Будем обозначать порядок p_ξ через $\tilde{\xi}$, а также использовать обозначение $\xi \Rightarrow \tilde{\xi}$. Далее вводится показатель изменяемости функции при дифференцировании:

$$\left(\frac{d\xi}{d\tau}\right) \Rightarrow p_{\dot{\xi}} = \tilde{\dot{\xi}} = \tilde{\xi} + r_\xi. \qquad (5)$$

Величина r_ξ называется показателем изменяемости функции ξ.

Уравнение (1) характеризуется двумя параметрами f и γ. На основе анализа порядка членов уравнения (1) и показателей изменяемости функций в [6] плоскость параметров уравнения (f, γ) была разбита на области, в каждой из которых исходное полное уравнение можно заменить на укороченное (рис. 2).

В области 1 укороченное уравнение имеет вид:

$$\ddot{\xi} + 4\pi^2\xi = -T^2\ddot{\overline{y}}_0; \qquad (6)$$

в области 2:

$$\ddot{\xi} + 2\pi\gamma\dot{\xi} = -T^2\ddot{\overline{y}}_0; \qquad (7)$$

в области 3:

$$\ddot{\xi} - f \cdot sign\dot{\xi} = -T^2\ddot{\overline{y}}_0. \qquad (8)$$

Такое представление названо Б. Н. Квасниковым асимптотическим портретом уравнения.

Асимптотический метод [5] позволяет для каждой точки области асимптотического портрета построить цепочки укороченных уравнений по степени их точности, оценить их погрешности и провести дальнейшую детализацию асимптотического портрета.

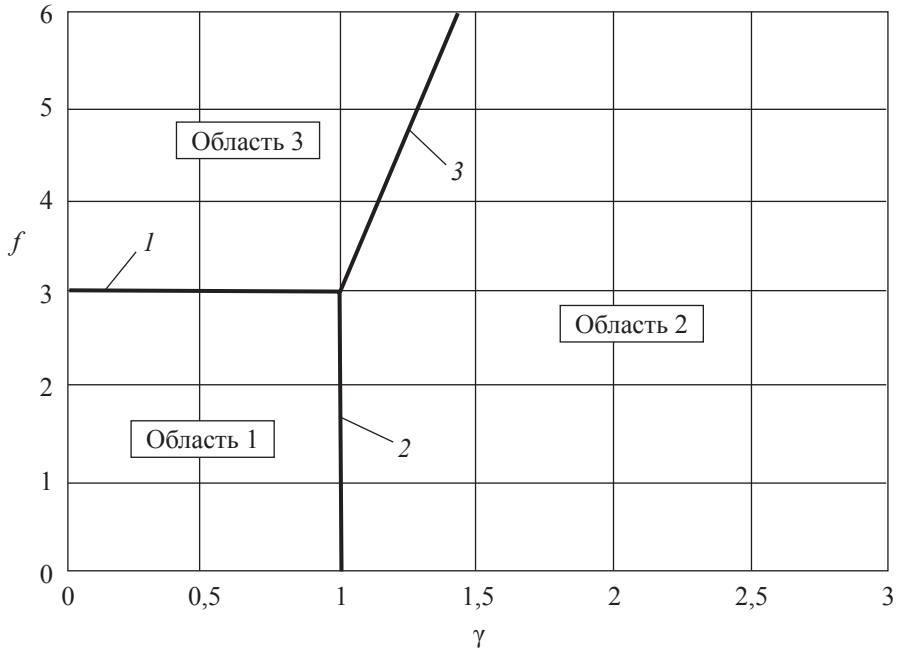


Рис. 2. Асимптотический портрет уравнения колебаний осциллятора с вязким и сухим трением: *1* – прямая $f = 3$; *2* – прямая $\gamma = 1$; *3* – парабола $f = 3\gamma^2$

1.2 Построение подобластей асимптотического портрета уравнения колебаний осциллятора с вязким и сухим трением

Область 1 можно разделить еще на две подобласти: 1А и 1Б. В подобласти 1А асимптотический переход от простейшего укороченного уравнения к полному уравнению осуществляется по следующей схеме:

– нулевое приближение

$$\ddot{\xi} + 4\pi^2\xi = -T^2\ddot{\bar{y}}_0;$$

– первое приближение

$$\ddot{\xi} + 4\pi^2\xi + 2\pi\gamma\dot{\xi} = -T^2\ddot{\bar{y}}_0;$$

– второе приближение – полное (точное) уравнение.

В подобласти 1Б асимптотический переход от простейшего укороченного уравнения к полному осуществляется по следующей схеме:

– нулевое приближение

$$\ddot{\xi} + 4\pi^2\xi = -T^2\ddot{\bar{y}}_0;$$

– первое приближение

$$\ddot{\xi} + 4\pi^2\xi - f \cdot sign\dot{\xi} = -T^2\ddot{\bar{y}}_0;$$

– второе приближение – полное (точное) уравнение.

Аналогично можно разделить области 2 и 3 на подобласти 2А, 2Б и 3А, 3Б соответственно.

В подобласти 2А асимптотический переход от простейшего укороченного уравнения к полному осуществляется по следующей схеме:

– нулевое приближение

$$\ddot{\xi} + 2\pi\gamma\xi = -T^2\ddot{\bar{y}}_0;$$

– первое приближение

$$\ddot{\xi} + 2\pi\gamma\dot{\xi} + 4\pi^2\xi = -T^2\ddot{\bar{y}}_0;$$

– второе приближение – полное (точное) уравнение.

В подобласти 2Б асимптотический переход от простейшего укороченного уравнения к полному осуществляется по следующей схеме:

– нулевое приближение

$$\ddot{\xi} + 2\pi\gamma\xi = -T^2\ddot{\bar{y}}_0;$$

– первое приближение

$$\ddot{\xi} + 2\pi\gamma\dot{\xi} - f \cdot sign\dot{\xi} = -T^2\ddot{\bar{y}}_0;$$

– второе приближение – полное (точное) уравнение.

В подобласти 3А асимптотический переход от простейшего укороченного уравнения к полному осуществляется по следующей схеме:

– нулевое приближение

$$\ddot{\xi} - f \cdot sign\dot{\xi} = -T^2\ddot{\bar{y}}_0;$$

– первое приближение

$$\ddot{\xi} - f \cdot sign\dot{\xi} + 2\pi\gamma\dot{\xi} = -T^2\ddot{\bar{y}}_0;$$

– второе приближение – полное (точное) уравнение.

В подобласти 3Б асимптотический переход от простейшего укороченного уравнения к полному осуществляется по следующей схеме:

– нулевое приближение

$$\ddot{\xi} - f \cdot sign\dot{\xi} = -T^2\ddot{\bar{y}}_0;$$

– первое приближение

$$\ddot{\xi} - f \cdot sign\dot{\xi} + 4\pi^2\xi = -T^2\ddot{\bar{y}}_0;$$

– второе приближение – полное (точное) уравнение.

В результате получаем полный асимптотический портрет уравнения, представленный на рис. 3 в координатах *f*-γ.

2 Асимптотический портрет уравнения колебаний демпфированной системы с типовыми гидравлическими демпферами

2.1 Построение областей асимптотического портрета уравнения колебаний демпфированной системы с типовыми гидравлическими демпферами

Рассмотрим применение метода Б. Н. Квасникова к анализу уравнения демпфированной системы с типовыми гидравлическими

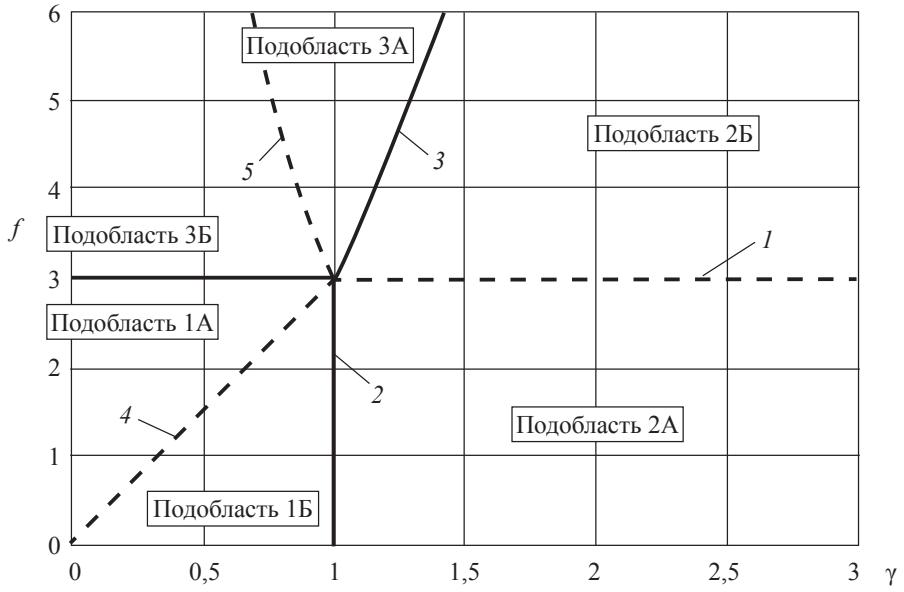


Рис. 3. Асимптотический портрет уравнения колебаний осциллятора с вязким и сухим трением:

1 – прямая $f = 3$; *2* – прямая $\gamma = 1$; *3* – парабола $f = 3\gamma^2$; *4* – прямая $f = 3\gamma$; *5* – гипербола $f = \frac{3}{\gamma^2}$

демпферами, применяемыми для гашения сейсмических колебаний. В этих демпферах сила сопротивления Q записывается в виде:

$$Q = -C\left|V\right|^{\nu} sign(V). \qquad (9)$$

Сила сопротивления зависит в данном случае от двух параметров C и ν. При ν = 0 получаем сухое трение, при ν = 1 – вязкое трение, а при ν = 2 – турбулентное трение. В опорных частях фирм Maurer Söhnes и FIP Industriale 0,1 < ν < 0,2.

Исходное уравнение колебаний записывается при этом в виде:

$$m\ddot{q} + cq + C\left|V\right|^{\nu} sign(V) = -m\ddot{y}_0. \qquad (10)$$

Запишем уравнение (10) в безразмерных ускорениях η. Для этого поделим обе его части на величину *Amg*, где *g* – ускорение свободного падения, $A = -\frac{1}{g}\ddot{y}_0^{\max}$, после чего уравнение (10) примет вид:

$$\frac{1}{Ag}\ddot{q} + \frac{c}{m}\cdot\frac{1}{Ag}q + \frac{C}{mgA}\left|v\right|^{\nu} sign(v) = -\frac{1}{Ag}\ddot{y}_0.$$

Здесь:

$$w_0 - \frac{1}{Ag}\ddot{y}_0,\ \frac{1}{Ag}\ddot{q} = \ddot{\eta},$$

откуда

$$\eta = \frac{q}{Ag} \text{ и } \dot{\eta} = \frac{\dot{q}}{Ag}.$$

Окончательно получаем:

$$\ddot{\eta} + \frac{c}{m}\eta + \frac{C}{mgA}Ag\left|\dot{\eta}\right|^{\nu} sign(\dot{\eta}) = -w_0. \qquad (11)$$

Далее введем безразмерное время τ и запишем уравнение (11) в следующем виде:

$$\xi'' + (2\pi)^2\xi + (2\pi)^{\nu}\chi\left|\dot{\xi}\right|^{\nu} sign(\dot{\xi}) = -w, \qquad (12)$$

где $\xi = \frac{\eta}{T^2}$ – безразмерное смещение, соответственно $\dot{\xi} = \frac{\dot{\eta}}{T^2}$, $\ddot{\xi} = \frac{\ddot{\eta}}{T^2}$; *T* – период колебаний, $T = \frac{2\pi}{k}$, $k^2 = \frac{c}{m}$; *k* – частота колебаний; $w = \frac{\ddot{q}_0}{AgT^2}$; $\frac{C}{m}(Ag)^{\nu-1} = \chi k^{\nu}$.

Обозначим далее первое слагаемое в уравнении (12) символом P (I), второе – символом P (II), третье – символом P (III).

Для асимптотического анализа уравнения (12) по Б. Н. Квасникову введем параметр μ = 100. При этом $4\pi^2 \approx \mu^{0,8} = 100^{0,8}$; $2\pi \approx$ $\approx 100^{0,4}$. Это означает, что число $4\pi^2$ имеет порядок 0,8, а число 2π имеет порядок 0,4.

Тильда над буквой означает ее порядок. Тогда порядки переменных представляются следующим образом:

$$\tilde{\dot{\xi}} = \tilde{\xi} + r(\xi)\ \ r(\xi) = 0,4\ \ \tilde{\dot{\xi}} = \tilde{\xi} + 0,4$$

$$\tilde{\ddot{\xi}} = \tilde{\xi} + 2r(\xi)\ \ \tilde{\ddot{\xi}} = \tilde{\xi} + 0,8.$$

Порядки слагаемых в уравнении (12) имеют вид:

– для первого слагаемого

$$P(I) = \tilde{\xi} + 0,8;$$

– для второго слагаемого

$$P(II) = P\left\{(2\pi)^{\nu}\chi\dot{\xi}^{\nu}\right\} = 0,4\nu + \tilde{\chi} + (\tilde{\xi} + 0,4)\nu.$$

Вторым слагаемым, описывающим силы сопротивления в демпфере, можно пренебречь при условии:

$$P(III) < P(I), \text{ откуда } \tilde{\chi} < (1-\nu)(\tilde{\xi} + 0,8).$$

Для коэффициента динамичности β ≈ 3 $\tilde{\xi} = -0,56$ и $\tilde{\chi} < (1-\nu)\cdot 0,24$, откуда получаем $\tilde{\chi} < 3^{(1-\nu)}$ – область (1), в которой можно пренебречь демпфером.

Рассмотрим далее укороченные уравнения при учете демпфера.

Обозначим в уравнении (12) $b = (2\pi)^{\nu}\chi$.

Для замены полученного уравнения (12) эквивалентным уравнением с вязким сопротивлением в соответствии с [7], должно выполняться следующее условие:

$$b\left|\dot{\xi}\right|^{\nu} sign(\dot{\xi}) \approx \left(\beta\left|\dot{\xi}\right| + f\right) sign(\dot{\xi}). \quad (13)$$

В этом условии:

$$\begin{cases} \beta = 2\pi\gamma = \nu b = \nu(2\pi)^{\nu}\chi \\ f = b(1-\nu) = (2\pi)^{\nu}\chi(1-\nu) \end{cases} \quad (14)$$

или

$$\begin{cases} \gamma = \nu(2\pi)^{\nu-1}\chi \\ f = (2\pi)^{\nu}(1-\nu)\chi. \end{cases} \quad (15)$$

Представим области, полученные Б. Н. Квасниковым в параметрах (f, γ), в параметрах (ν, χ). Для этого в ограничения [7], выраженные в параметрах b, f, γ, подставим равенства (15) и решим эти неравенства относительно неизвестных ν и χ.

Область 1 характеризуется, согласно [6], условиями:

$$\begin{cases} \gamma < 1 \\ f < 3. \end{cases} \quad (16)$$

После подстановки в (16) выражений (15) получаем:

$$\begin{cases} \nu(2\pi)^{\nu-1}\chi < 1 \\ (2\pi)^{\nu}(1-\nu)\chi < 3. \end{cases} \quad (17)$$

Решая систему неравенств (17), получаем ограничения, выделяющие на асимптотическом портрете область 1 в параметрах χ и ν:

$$\begin{cases} \chi < \dfrac{1}{\nu(2\pi)^{\nu-1}} \\ \chi < \dfrac{3}{(2\pi)^{\nu}(1-\nu).} \end{cases} \quad (18)$$

В этой области можно пренебречь и сухим, и вязким трением. Уравнение движения здесь – это уравнение (6).

Область 2 описывается следующей системой неравенств:

$$\begin{cases} \gamma > 1 \\ f < 3\gamma^2. \end{cases} \quad (19)$$

После аналогичной подстановки получаем:

$$\begin{cases} \chi > \dfrac{1}{\nu(2\pi)^{\nu-1}} \\ \chi > \dfrac{1-\nu}{3\nu^2(2\pi)^{\nu-2}}. \end{cases} \quad (20)$$

Область 3 –

$$\begin{cases} f > 3 \\ f > 3\gamma^2 \end{cases} \quad (21)$$

или после подстановки:

$$\begin{cases} \chi < \dfrac{1-\nu}{3\nu^2(2\pi)^{\nu-2}} \\ \chi > \dfrac{3}{(2\pi)^{\nu}(1-\nu).} \end{cases}$$

Описанные выше области представлены на рис. 4.

2.2 Построение подобластей асимптотического портрета уравнения колебаний демпфированной системы с типовыми гидравлическими демпферами

Далее разделим области 1, 2 и 3 на подобласти 1А и 1Б, 2А и 2Б, 3А и 3Б соответственно.

В подобласти 1А выполняется неравенство $f < 3\gamma$.

Подставив выражения (15) в (18), получим:

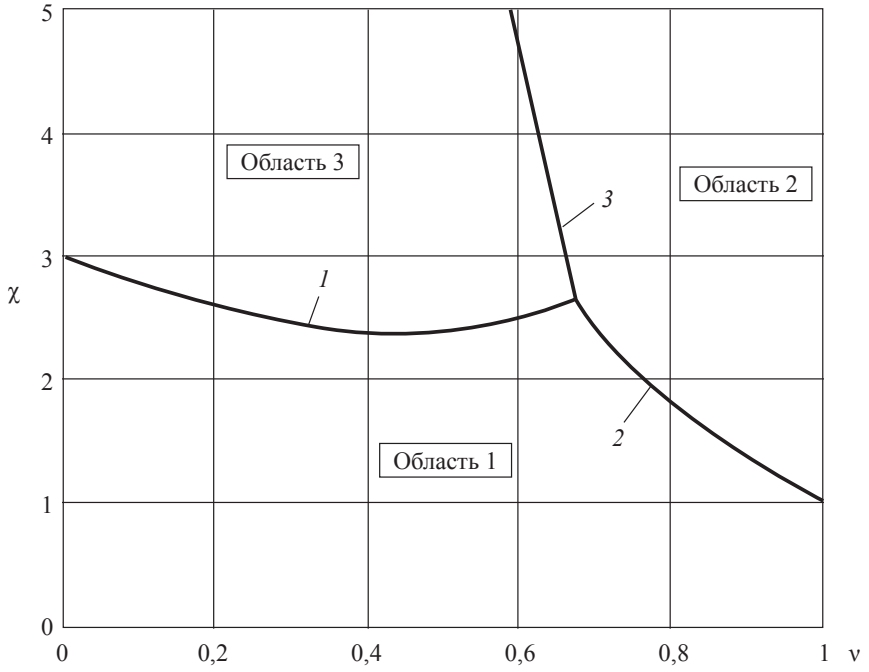


Рис. 4. Асимптотический портрет уравнения колебаний осциллятора с вязким и сухим трением:
1 – кривая $\chi = \frac{3}{(2\pi)^{\nu}(1-\nu)}$; *2* – кривая $\chi = \frac{1}{\nu(2\pi)^{\nu-1}}$; *3* – кривая $\chi = \frac{1-\nu}{3\nu^2(2\pi)^{\nu-2}}$

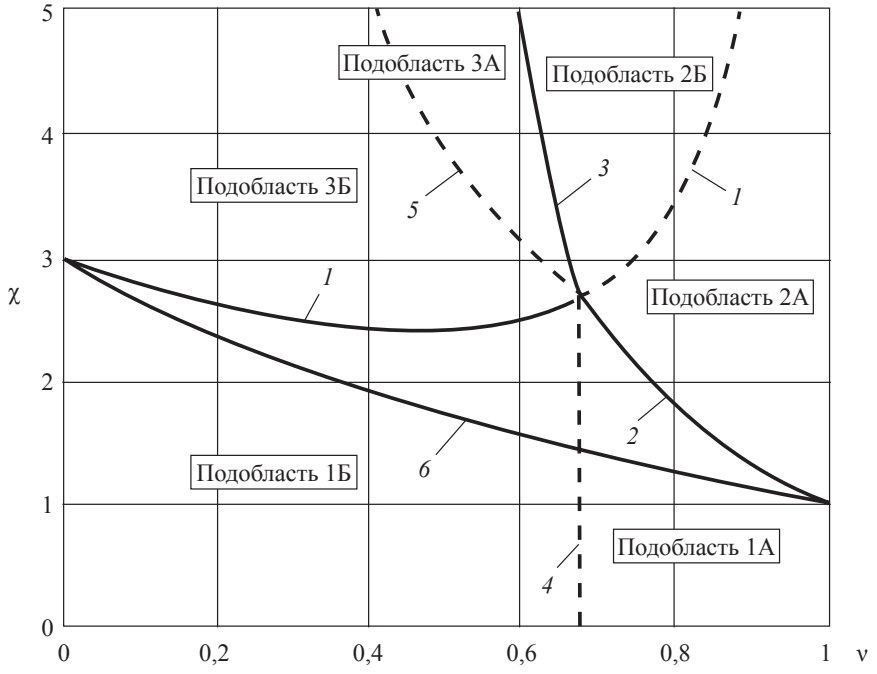


Рис. 5. Асимптотический портрет уравнения колебаний осциллятора с вязким и сухим трением:
1 – кривая $\chi = \frac{3}{(2\pi)^{\nu}(1-\nu)}$; *2* – кривая $\chi = \frac{1}{\nu(2\pi)^{\nu-1}}$; *3* – кривая $\chi = \frac{1-\nu}{3\nu^2(2\pi)^{\nu-2}}$;
4 – прямая $\nu = \frac{2\pi}{2\pi+3}$; *5* – кривая $\chi = \sqrt[3]{\frac{3}{\nu^2(2\pi)^{3\nu-2}(1-\nu)}}$; *6* – кривая $\chi = 3^{1-\nu}$

$$\nu > \frac{2\pi}{3+2\pi}. \qquad (23)$$

Разделителем области 2 является линия $f = 3$ или

$$\chi = \frac{3}{(2\pi)^{\nu}(1-\nu)}. \qquad (24)$$

Подобласть 2А располагается ниже кривой (24).

Область 3 разделяется кривой:

$$f = \frac{3}{\gamma^2} \qquad (25)$$

или в новых параметрах:

$$\chi = \sqrt[3]{\frac{3}{\nu^2(2\pi)^{3\nu-2}(1-\nu)}}. \qquad (26)$$

В результате получаем полный асимптотический портрет уравнения, представленный на рис. 5 в координатах χ-ν.

Заключение

Приведенный в статье пример анализа нелинейного дифференциального уравнения показывает высокую наглядность использования асимптотического метода профессора Б. Н. Квасникова для анализа дифференциальных уравнений. В статье рассмотрен только первый этап предлагаемого Б. Н. Квасниковым анализа – построение асимптотического портрета уравнения. Имея такой портрет, инженер на начальном этапе проектирования получает возможность оценки параметров колебаний системы, используя укороченные уравнения движения. Далее с использованием цепочки укороченных уравнений могут быть построены приближения решения основного уравнения.

Библиографический список

1. **О применимости** уравнения кубической параболы в качестве переходной кривой на железных дорогах колеи 1524 и 750 мм / Б. Н. Квасников. – Ленинград : ЛИИЖТ, 1957. – 17 с.

2. **Асимптотический** метод построения и решения укороченных уравнений тонких оболочек / Б. Н. Квасников // Колебания и устойчивость механических систем. – 1981. – Вып. 5. – С. 187–218.

3. **Теоремы** аппроксимации и существования в теории тонких оболочек / Б. Н. Квасников // Третьи Поляховские чтения. Избранные труды Международной научной конференции по механике. – Санкт-Петербург : Изд-во НИИХ СПбГУ, 2003. – С. 261–266.

4. **Использование** асимптотического метода построения «укороченных» уравнений сейсмических колебаний сооружений на кинематических фундаментах / Б. Н. Квасников, С. Н. Коузах // Экспресс-информация ВНИИИС. Сер. 14. Сейсмостойкое строительство. – 1996. – Вып. 4. – С. 50–55.

5. **Асимптотический** анализ уравнений колебаний сейсмоизолированной системы с демпфером сухого трения и его приложения / В. В. Верхолин, Б. Н. Квасников, Е. А. Рулевич, А. М. Уздин // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2004. – № 1. – С. 32–36.

УДК 004.4

С. С. Захарченко
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ПОДХОД К КОЛИЧЕСТВЕННОМУ ОЦЕНИВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОИСКА УЯЗВИМОСТЕЙ В ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ПРОВЕРКИ НА МОДЕЛИ*

Метод проверки на модели позволяет определить, выполняются ли предъявляемые формальные требования на модели проверяемой системы. Для оценки защищенности системы требуется разработка количественных показателей результатов проверки на модели. В качестве модели параллельной программной системы используется система переходов, на основе которой даются определения маршрута и критического маршрута. Приводятся показатели для оценки полученных результатов, основанные на маршрутах достижения состояний реализации уязвимости. Полученные результаты демонстрируются на примере модели программной системы, реализующей принцип взаимного исключения процессов.

проверка на модели, критический маршрут, параллельные программные системы, поиск уязвимостей, показатели результатов верификации.

Введение

Метод проверки на модели зарекомендовал себя в качестве эффективного средства анализа поведения параллельных и распределенных программных систем. Существующие методы и алгоритмы позволяют проверять работу систем, пространство состояний которых имеет очень большие размеры.

В качестве результатов верификации предоставляется информация о том, выполняются ли заданные требования на представленной модели исследуемой программной системы. Инструмент (верификатор), с помощью которого осуществляется проверка, в случае выявления нарушения требования дает возможность получения последовательности переходов между состояниями, приводящими к этому нарушению. Эти данные позволяют рассчитывать значения показателей, которые в дальнейшем могут применяться для решения различных задач, в том числе для анализа эффектов, вызываемых внесением изменений в модель.

Количественный анализ широко применяется в методе вероятностной проверки на модели (Probabilistic Model Checking), основанном на использовании цепей Маркова и марковского процесса принятия решений [1]. Метод анализа с использованием марковского процесса принятия решений хорошо подходит для моделирования параллельных программных систем, однако для этого требуется построение вероятностной модели.

Предлагаемый подход основан на работе [2], в которой рассматривается построение графа атак для анализа сетевой защищенности и разработки необходимых мер противодействия нарушителю. Кроме того, предлагаемый подход к количественной оценке результатов верификации не требует построения вероятностной модели, т. к. использует результаты обычной проверки на модели. Каждое выявленное нарушение требования рассматривается как наличие некоторой уязвимости в программном обеспечении, а последовательность переходов для ее достижения – как способ реализации найденной уязвимости.

1 Модель параллельной программной системы

Параллельная программная система состоит из множества взаимодействующих

*Работа выполнена в рамках гранта 13-07-13105-офи-м-РЖД.

друг с другом процессов $\Pi = \{\Pi_1, \ldots, \Pi_N\}$. В качестве модели процесса $\Pi_i \in \Pi$ предлагается использовать систему переходов, представляющую собой направленный граф, в котором вершинами являются состояния процесса, а ребрами – переходы между состояниями. На основе синхронной композиции процессов можно получить бесконечную последовательность из конечного числа состояний, именуемую также вычислением. Такая последовательность будет описывать поведение системы в целом.

Результатом верификации, в случае наличия нарушений требований, является некоторая последовательность переходов между состояниями, приводящая к нарушению. Такая последовательность называется маршрутом. В отличие от вычисления системы маршрут является конечным, т. е. имеет как начальное, так и конечное состояния. Исходя из определения вычисления системы, маршрутом ρ между состояниями s_m и s_k будет являться конечная последовательность состояний:

$$\rho = s_m, \ldots, s_k, \qquad (1)$$

где $s_m, s_k \in S$ – состояния программной системы.

Не все маршруты в исследуемой системе являются безопасными: как известно, в программных продуктах постоянно обнаруживаются различные уязвимости. В данном случае маршрут представляет собой последовательность переходов между состояниями, которые ведут к состоянию, в котором нарушается заданное требование, выражающее признаки наличия уязвимости. Обозначим множество таких состояний как $S^{crit} \subseteq S$. Маршрут называется критическим, если в него входит хотя бы одно состояние $s \in S^{crit}$. В формальном виде множество критических маршрутов P^{crit} в исследуемой программной системе можно определить следующим образом:

$$\rho_j \in P^{crit},$$

$$\text{если} \quad \exists i : s_i \in S^{crit} \wedge s_i \in \rho_j. \qquad (2)$$

Формула (2) определяет требования к состояниям, входящим в маршрут. Однако возможна ситуация, когда маршрут нарушает некоторое правило обработки информационных объектов программной системы, что также может приводить к нарушениям требований безопасности. В таком случае маршрут также будет являться критическим. Пусть *rule* – некоторое правило переходов между состояниями. Оно задает некоторую последовательность переходов. Функция *CheckRoute* проверяет, выполняется ли правило *rule* для маршрута ρ. Тогда:

$$\rho_j \in P^{crit},$$

$$\text{если} \quad CheckRoute(rule, \rho_j) = false. \qquad (3)$$

Формула (3) выражает требования к конкретной последовательности ρ переходов между состояниями, определяемыми правилом *rule*.

Для спецификации требований используется темпоральная логика, позволяющая выражать требования к системе во времени. Ранее уже был проведен анализ сложности проверки на модели параллельной программной системы с использованием темпоральной логики линейного времени [3]. Учитывая полученные результаты, а также такие параметры, как сложность модульной верификации, сложность проверки правильности формул и наличие алгоритмов проверки «на лету», предлагается использовать логику LTL (linear temporal logic – темпоральная логика линейного времени).

Особенностью темпоральной логики линейного времени является описание событий для единственного пути вычисления. В интерпретации темпоральной логики основное отношение доступности – это развитие в течение времени [4], т. е. возможность перейти из одного состояния в другое с течением времени. Состояние s' доступно из состояния s, если состояние s на временной оси находится раньше состояния s' (рис. 1).



Рис. 1. Временная достижимость состояний

Такое отношение доступности обозначается как R (s, s'). Временная ось в данном случае является линейной и дискретной. Таким образом, модель темпоральной логики состоит из ω-последовательностей, т. е. бесконечных последовательностей состояний в виде $\sigma = s_0, s_1, \ldots$ В таких последовательностях состояние s_j доступно из s_i, если $i \le j$.

Формулы темпоральной логики линейного времени могут состоять из:

1. множества предикатов AP;
2. множества операторов булевой алгебры $\{\wedge, \vee, \neg\}$;
3. множества модальных операторов $\{\Box, \Diamond, \bigcirc, U\}$.

Таким образом, формулы, составленные из элементов указанных множеств, являются формулами темпоральной логики линейного времени.

2 Показатели оценки результатов верификации

Как было отмечено выше, результатом проверки на модели является условие выполнения проверяемого требования на модели программной системы. В случае отрицательного результата верификаторы позволяют получить последовательность состояний, которая приводит к нарушению. Такая последовательность является критическим маршрутом.

Однако обнаружение маршрута нарушения требования не дает какой-либо информации кроме того, что нарушение имеется. Для того чтобы оценить результаты проверки на модели, предлагаются показатели, основанные на работах [5] и [6]. Однако в данном случае показатели применяются для оценки параллельного программного обеспечения.

Количество маршрутов (NR – number of routes). Данный показатель определяет количество различных переходов, выполняемых исследуемой системой, которые приводят к нарушениям, определяемым формулами (2) и (3). Другими словами, он определяет количество способов выполнения некоторого запрещенного действия. Чем больше способов достижения состояния нарушения, тем выше вероятность использования уязвимости:

$$NR = | P^{crit} |. \qquad (4)$$

Кратчайший маршрут (SR – shortest route). Чаще всего в исследуемой системе обнаруживается несколько маршрутов достижения некоторого состояния нарушения. Данный показатель выражает минимальное количество переходов, которые должна выполнить исследуемая система для того, чтобы достичь такого состояния нарушения. Очевидно, что чем меньше необходимо выполнить переходов, тем выше вероятность эксплуатации уязвимости. В качестве точки отсчета принимается начальное состояние параллельной программной системы $s_0 \in S_0$.

$$SR = \min(l(\rho_1), l(\rho_2), \ldots, l(\rho_N))$$

для $$N = | P^{crit} |, \qquad (5)$$

где $l(\rho_i)$ – длина маршрута.

Средняя длина маршрута (ARL – average route length). Показатель дает возможность оценки всего множества маршрутов, позволяющих достичь заданного состояния нарушения. Чем ближе значение средней длины маршрута к значению длины кратчайшего маршрута SR, тем выше вероятность эксплуатации уязвимости:

$$ARL = \frac{\sum_{i=1}^{NR} l(\rho_i)}{NR}. \qquad (6)$$

Нормированная средняя длина маршрута (NARL – normalized average route length). Данный показатель позволяет увидеть более четкую картину по сравнению с показателем ARL, так как последний показатель не всегда дает полное представление об изменении защищенности в ту или иную сторону при устранении уязвимости, т. к. учитывает изменение количества критических маршрутов:

$$NARL = \frac{ARL}{NR}. \qquad (7)$$

Например, для системы, в которой существует четыре критических маршрута ($l(\rho_1) = 3$, $l(\rho_2) = 4$, $l(\rho_3) = 4$ и $l(\rho_4) = 5$) показатели ARL и NARL = 4. При устранении маршрута ρ_2 показатель ARL не изменит своего значения, а NARL станет равным 1,33. Следовательно, чем выше показатель NARL, тем меньше вероятность использования уязвимости.

Среднеквадратическое отклонение (SDRL – standard deviation of route length). Данный показатель дает возможность фильтрации некоторых маршрутов, длина которых больше среднего значения в пределах среднеквадратического отклонения:

$$SDRL = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{NR}(l(\rho_i) - ARL)^2}}{NR}. \qquad (8)$$

Мода (Mo – mode). В контексте критических маршрутов параллельных программных систем мода показывает наиболее часто используемое количество переходов, необходимых для достижения состояния нарушения:

$$Mo = f(l(\rho_1), l(\rho_2), ..., l(\rho_N)), N = |P^{crit}|. \quad (9)$$

Медиана (Me – median). Позволяет получить длину маршрута, которая находится в середине всех значений длин маршрутов. Этот показатель удобно применять в том случае, когда показатель *ARL* не дает возможности адекватной оценки длины маршрутов для достижения заданного состояния нарушения. Кроме того, с помощью медианы можно определить часть программы, которой стоит уделить особое внимание с точки зрения защищенности. Для множества маршрутов, ранжированных по длинам, медиана вычисляется по следующей формуле:

$$Me = \begin{cases} l(\rho_i)_{\frac{N+1}{2}}, & \text{при нечетном количестве маршрутов} \\ \dfrac{l(\rho_i)_{\frac{N}{2}} + l(\rho_j)_{\frac{N}{2}+1}}{2} & \text{при четном количестве маршрутов} \end{cases} \qquad (10)$$

Формула (10) представляет собой стандартную формулу для расчета медианы в теории вероятностей, в качестве исходных данных для которой в настоящей работе используются результаты проверки на модели.

3 Пример использования показателей

Практическое применение полученных показателей осуществлялось для модели алгоритма Деккера [7]. Данный алгоритм реализует механизм взаимного исключения между параллельно работающими и взаимодействующими друг с другом процессами. Исходный код модели на языке Promela был взят из примеров, поставляемых вместе со средой JSpin. Графическое представление систем переходов процессов *p* и *q* исследуемой программной системы показано на рис. 2.

Вместе с приведенным примером в виде формулы LTL сформулировано утверждение о том, что оба процесса обязательно будут выполняться. Предикат *csp* показывает, что процесс *p* находится в критическом участке программы, а предикат *csq* – что процесс *q* находится в критическом участке программы. Таким образом, в модели программы проверяется отсутствие возможности одновременного нахождения процессов в критическом участке, выраженное формулой $\neg$ *(csp* $\wedge$ *csq)*. Под критическим участком программы понимается та часть, в которой процесс обращается к общим ресурсам.

Для получения большего количества исходных данных о результатах верификации в проверяемую формулу намеренно вносились случайные изменения. Измененные формулы LTL, а также количественные оценки результатов верификации представлены в таблице.

Заключение

Исходя из полученных значений, можно сделать вывод, что потенциальные уязвимости, описываемые правилами 1 и 4, будут использованы с меньшей вероятностью,

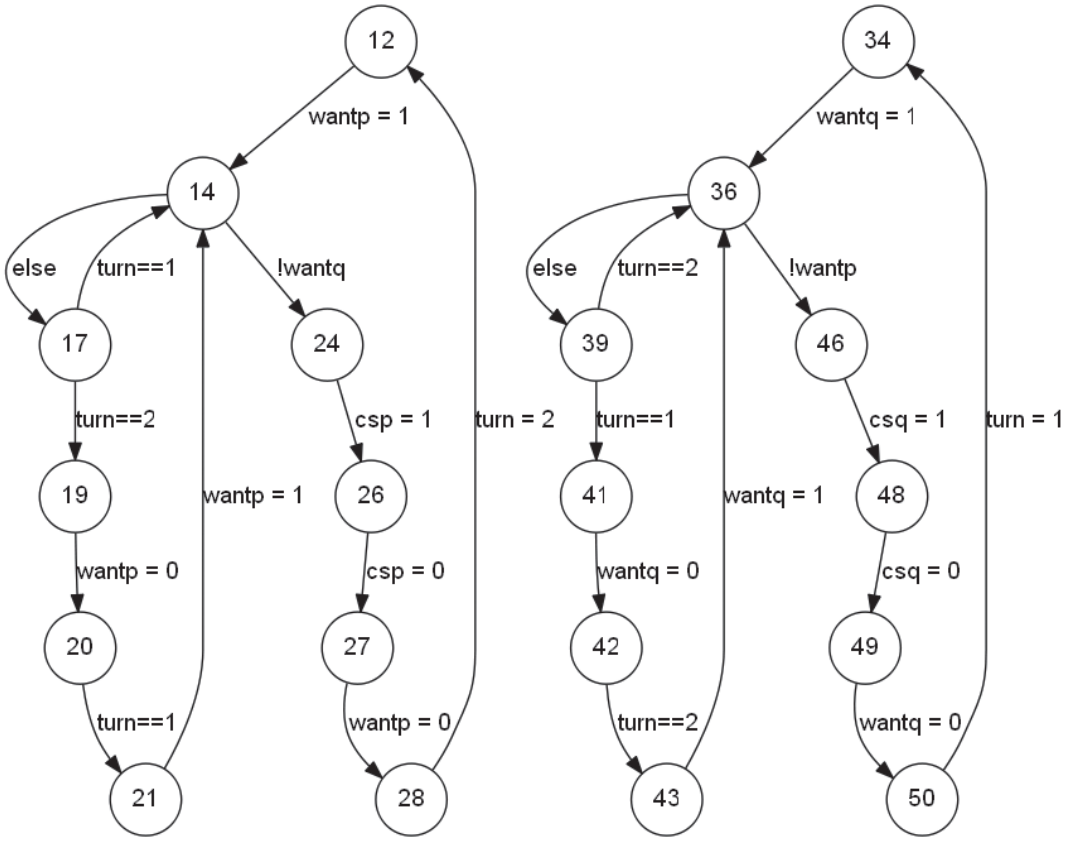


Рис. 2. Системы переходов процессов *p* и *q*

тогда как уязвимости 2 и 3 – с большей. В дальнейшем для получения подробной информации об исследуемом программном обеспечении необходимо проведение достаточного количества испытаний. Полученные экспериментальные данные могут быть использованы для расчета граничных значений для каждого показателя.

Таким образом, предложенные показатели позволяют рассчитывать количественные характеристики результатов выполнения проверки на модели. С их помощью предлагается осуществлять анализ защищенности параллельных программных систем путем расчета значений для исходной системы и для системы после попытки устранения выявленных нарушений требований.

Сравнение полученных результатов позволит сделать вывод о том, улучшилась или ухудшилась защищенность системы в измененной конфигурации. Кроме того, использование предложенных характеристик позволит получать оценку эффективности предлагаемых мер по устранению обнару-

ТАБЛИЦА. Анализ критических маршрутов

№	Требование	NR	SR	ARL	NARL	SDRL	Mo	Me
1.	$\square\neg\diamond csp \wedge \neg\square\diamond csq$	24	29	119,00	4,96	50,70	143	143
2.	$\square(csp \wedge \neg csq)$	148	1	80,09	0,54	36,73	81	81
3.	$\square(csp \wedge \square csq)$	284	1	129,71	0,46	68,78	199	124
4.	$\square\neg csp \wedge \neg\square\diamond csq$	12	27	106,17	8,85	46,19	–	128

женных уязвимостей в случае возможности устранения уязвимости несколькими различными способами.

Библиографический список

1. **Kwiatkowska, M.,** Norman, G., Parker, D. (2010). Advances and Challenges of Probabilistic Model Checking. Proceedings of 48th Annual Allerton Conference on Communication, Control and Computing, Urbana–Champaign, 1691–1698.

2. **Sheyner, O.,** Wing, J. M., Jha, S., Lippmann, R., Haines, J. (2002). Automated Generation and Analysis of Attack Graphs. Proceedings of the 2002 IEEE Symposium on Security and Privacy, Berkley, 273–284.

3. **Сложность** проверки модели параллельных программных систем / С. С. Захарченко // Программные продукты и системы. – 2012. – № 98. – Вып. 2. – С. 39–42.

4. **Manna, Z.,** Pnueli, A. (1981). Verification of Concurrent Programs. Part I: The Temporal Framework. Stanford, 62 p.

5. **Krautsevich, L.,** Martinelli, F., Yautsiukhin, A. (2010). Formal approach to security metrics. What does «more secure» mean for you? Proceedings of the Fourth European Conference on Software Architecture: Companion Volume, Copenhagen, 162–169.

6. **Idika, N.,** Bhargava, B. (2012). Extending Attack Graph-Based Security Metrics and Aggregating Their Application. IEEE Transactions on dependable and secure computing, 9 (1), 75–85.

7. **Dijkstra, E. W.** (2002). Cooperating Sequential Processes. The Origin of Concurrent Programming, New York, 65–138.

УДК 004.75

Н. А. Игнатов
Московский государственный университет путей сообщения

ПОСТРОЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В ЦЕНТРАХ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ, ОСНОВАННЫХ НА ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Рассматривается проблема расчета оптимального объема необходимых для обеспечения работы приложений виртуальных ресурсов, запускаемых в центре обработки данных, построенном с применением облачных технологий. Под оптимальным объемом виртуальных ресурсов понимается сочетание таких характеристик, как мощность процессора, объем оперативной памяти и устройства хранения данных, пропускная способность сети. Они предоставляются конечным пользователям посредством запуска определенного количества экземпляров виртуальных машин за минимальную стоимость в условиях соблюдения требований к качеству обслуживания системы. В ходе исследования построена и решена с использованием симплекс-метода задача оптимизации процесса предоставления виртуальных ресурсов, относящаяся к классу задач линейного программирования.

методы оптимизации, виртуализация, центр обработки данных, виртуальная машина, качество обслуживания.

Введение

Сегодня в транспортной отрасли активно применяются информационные системы, обеспечивающие деятельность различных направлений: административно-организационного, научно-производственного, финансово-экономического, информационно-

аналитического, направления безопасности. Работа современных информационных систем заключается в обработке больших массивов данных, осуществлении вычислительных операций различной сложности, передаче данных и подразумевает использование центров обработки данных (далее – ЦОД) различного масштаба.

Построение ЦОД на базе облачных вычислений – это решение, позволяющее существенно сократить затраты на процесс автоматизации организации. При данном подходе отдельный экземпляр приложения компонуется m экземплярами виртуальных машин (далее – ВМ) $\{v_1, \ldots, v_m\}$, где значение m – любое фиксируемое или изменяемое во времени, основанное на текущей рабочей загрузке и запрашиваемой производительности. Вычисление объемов ресурсов, необходимых для приложения, состоит из набора независимых задач, которые могут быть смоделированы как запросы на обслуживание, отправляемые конечными пользователями на экземпляры виртуальных приложений.

При постановке задачи предоставления виртуальных ресурсов функцию от набора параметров принимают в качестве меры «нежелательных» свойств или стоимости, которую нужно минимизировать. При этом минимизация стоимости должна быть выполнена с условием соблюдения требований к качеству обслуживания (далее – QoS) информационной системы. Основными параметрами QoS системы являются: максимальное допустимое значение времени отклика на запрос конечного пользователя и количество запросов на предоставление виртуальных ресурсов, получивших отказ в обслуживании. Выполнение данных параметров важно, так как они имеют определяющее воздействие на мнение пользователя о приложении. Если время реагирования будет очень большим или запросы будут отклоняться, то приложение не будет использоваться, что приведет к снижению его рентабельности.

При этом необходимо рассмотреть построение задачи оптимизации предоставления виртуальных ресурсов. Задача оптимизации сформулирована как задача оптимизации целевой функции при условии выполнения ряда заданных ограничений.

1 Построение задачи оптимизации

Будем рассматривать задачу оптимизации в конечномерном пространстве. Это означает, что мера качества, или целевая функция, которая должна быть минимизирована, является функцией конечного числа переменных.

Рассмотрим задачу составления наиболее экономного, то есть наиболее дешевого, плана предоставления ресурсов, удовлетворяющего определенным установленным требованиям QoS. Подобная задача возникает в связи с необходимостью организовать предоставление виртуальных ресурсов набору пользователей, объединенных в группы по определенным характеристикам.

Предполагается, что известен перечень разновидностей ВМ из n штук, которые будем обозначать буквами $F_1, F_2, \ldots, F_n$. Кроме того, рассматриваются также такие характеристики ВМ, как мощность процессора, объем оперативной памяти, объем устройства хранения данных и др. Обозначим эти характеристики буквами $N_1, N_2, \ldots, N_m$. Предположим, что для любого типа ВМ F_i, где $i = 1, \ldots, n$, известны его технические характеристики, т. е. количественное содержание в одном экземпляре данного типа ВМ указанных компонент. В таком случае можно составить таблицу, содержащую характеристики типов ВМ:

$$\begin{array}{c} \\ N_1 \\ \vdots \\ N_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} F_1 & \ldots & F_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} a_{1,1} & \cdots & a_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m,1} & \cdots & a_{m,n} \end{bmatrix} \end{array}. \qquad (1)$$

Элементы этой таблицы образуют матрицу размера $m \times n$, которую назовем матрицей виртуальных ресурсов.

Допустим, что мы составили распределение мощностей $x^T = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$ на некоторый промежуток времени, для которого известно точное количество пользователей

(далее – сессия). Другими словами, мы планируем предоставить каждой группе пользователей на сессию:

x_1 экземпляров ВМ типа F_1,

x_2 экземпляров ВМ типа F_2,

……

x_n экземпляров ВМ типа F_n.

Нетрудно вычислить, какие объемы оперативной памяти и устройства хранения данных, а также значение производительности процессора получит каждая группа пользователей на сессию. Именно характеристика N_1 присутствует в этом распределении мощностей в общем количестве:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1n}x_n,$$

поскольку в x_1 экземплярах ВМ типа F_1, согласно матрице виртуальных ресурсов, содержится $a_{11}x_1$ единиц характеристик N_1. К этому количеству добавляется объем $a_{12}x_2$ характеристики N_1 из x_2 экземпляров ВМ типа F_2 и т. д. Аналогично можно определить и количество всех остальных характеристик N_i в составленном распределении мощностей $x^T = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$.

Допустим далее, что имеются требования, касающиеся предоставления определенного количества каждой из характеристики N_i, где $i = 1, \ldots, m$, каждой группе пользователей в планируемый срок. Например, суммарный объем выделяемой оперативной памяти не должен быть меньше заданного. Выразим эти требования вектором $b^T = (b_1, b_2, \ldots, b_m)$, i компонента которого указывает минимально необходимое содержание характеристики N_i в распределении мощностей. Это означает, что координаты x_i вектора x^T должны удовлетворять следующей системе ограничений:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1n}x_n &\geq b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{2n}x_n &\geq b_2, \\ &\ldots\ldots \end{aligned} \qquad (2)$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \ldots + a_{mn}x_n \geq b_m.$$

Из смысла задачи очевидно, что все переменные $x_1, x_2, \ldots, x_n$ неотрицательны. На основании этого к ограничениям (2) добавляются неравенства:

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \ldots, x_n \geq 0. \qquad (3)$$

Понятно, что любое распределение мощностей $x^T = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$ должно удовлетворять условиям (2) и (3). Но таких распределений мощностей может быть бесконечно много, поэтому для выбора одного из них вводят критерий стоимости – цену набора.

Пусть стоимость ВМ типа $F_1, F_2, \ldots, F_n$ равна соответственно $c_1, c_2, \ldots, c_n$. Следовательно, стоимость всего распределения мощностей $x^T = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$ может быть записана в виде ценовой функции:

$$c_1x_1 + c_2x_2 + \ldots + c_nx_n. \qquad (4)$$

Окончательная формулировка задачи о распределении виртуальных ресурсов: среди всех векторов $x^T = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$, удовлетворяющих ограничениям (2) и (3), необходимо выбрать такой вектор, для которого выражение (4) принимает минимальное значение. На этом процесс формализации задачи о составлении распределения мощностей закончен. Задачу поиска наиболее дешевого распределения виртуальных ресурсов можно кратко выразить в следующей матрично-векторной форме:

$$\begin{aligned} c^T x &\to min, \\ Ax &\geq b, \\ x &\geq 0, \end{aligned} \qquad (5)$$

где A – матрица размерности $m \times n$; b, c, x – векторы-столбцы соответствующей размерности.

Мы выразили реальную задачу в строгой математической форме, что в дальнейшем позволит применить весь богатый арсенал математических методов для ее решения.

Рассмотренная задача относится к классу задач линейного программирования.

2 Вычисление экономного плана предоставления ресурсов

Используя описанный выше алгоритм, вычислим комбинацию ВМ с наименьшей стоимостью, удовлетворяющую системным требованиям приложения Δ, выполняемого в ЦОД, основанном на облачных технологиях. В рассматриваемой системе используется пять типов виртуальных машин (табл.), используемых для обеспечения работы конечного множества экземпляров приложения Δ, требующих одинаковых объемов ресурсов.

Здесь vCPU (virtual CPU) – виртуальный процессор, производительность которого измеряется в ECU (EC2 Compute Unit). Согласно информации [6], один ECU соответствует 1–1,2 ГГц процессора AMD Opteron или Intel Xeon 2007 года производства.

Так, про экземпляр ВМ типа m1.large можно сказать, что он содержит 7,5 Гб оперативной памяти, два процессора по два ECU каждый и устройство хранения данных в 820 Гб, при этом его базовая стоимость составляет 0,260 долларов в час. Данные типы ВМ были выбраны из набора экземпляров ВМ, разработанных компанией Amazon EC2 [7], являющейся одним из лидеров на рынке виртуализации. Обозначим типы ВМ m1.small, m1.medium, m1.large, t1.micro, c1.medium как F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 соответственно, а технические характеристики ВМ через N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, где

N_1 – количество виртуальных процессоров: {1, 1, 2, 2, 1},

N_2 – мера производительности процессора: {1, 2, 4, 5, 1},

N_3 – объем оперативной памяти в Гб: {1,7, 3,75, 7,5, 1,7, 0,615},

N_4 – устройство хранения данных в Гб: {160, 410, 820, 350, 0},

N_5 – мера производительности сети, где очень низкая производительность – 1, низкая – 2, средняя – 3: {2,3,3,3,1}.

На основании (1) и введенных обозначений построим матрицу виртуальных ресурсов ЦОД:

	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
N_1	1	1	2	2	1
N_2	1	2	4	5	1
N_3	1,7	3,75	7,5	1,7	0,615
N_4	160	410	820	350	0
N_5	2	3	3	3	1

Составим распределение мощностей $x^T = (x_1, x_2, \ldots, x_5)$ на сессию. Другими словами, мы планируем каждому пользователю на сессию:

x_1 экземпляров ВМ типа F_1,

x_2 экземпляров ВМ типа F_2,

……

x_5 экземпляров ВМ типа F_5.

ТАБЛИЦА. Типы виртуальных машин

№	Стоимость в час, $	Название	vCPU	ECU	ОЗУ, Гб	Устройство хранения, Гб	Производительность сети (оценка)
1.	0,065	m1.small	1	1	1,7	160	Низкая (2)
2.	0,130	m1.medium	1	2	3,75	410	Средняя (3)
3.	0,260	m1.large	2	4	7,5	820	Средняя (3)
4.	0,165	t1.micro	2	5	1,7	350	Средняя (3)
5.	0,020	c1.medium	1	1	0,615	0	Очень низка (1)

Пусть нам известно, что для работы одного экземпляра приложения Δ требуются следующие минимальные значения технических характеристик: 0,35 единиц виртуальных процессоров производительностью в один ECU, 0,256 Гб оперативной памяти, устройство хранения данных объемом 2Гб и низкая производительность сети. Тогда вектор ограничений имеет вид $b^T = (0.35,1,0.256\ ,2\ ,2)$ и мы получаем:

$$\begin{gathered} 1x_1 + 1x_2 + 2x_3 + 2x_4 + 1x_5 \geq 0,35, \\ 1x_1 + 2x_2 + 4x_3 + 5x_4 + 1x_5 \geq 1, \\ 1,7x_1 + 3,75x_2 + 7,5x_3 + \\ +1,7x_4 + 0,615x_5 \geq 0,256, \\ 160x_1 + 410x_2 + 820x_3 + 350x_4 + 0x_5 \geq 2, \\ 2x_1 + 3x_2 + 3x_3 + 3x_4 + 1x_5 \geq 2. \end{gathered} \quad (6)$$

Из смысла задачи очевидно, что все переменные $x_1, x_2, \ldots, x_n$ неотрицательны. На основании этого к ограничениям (5) добавляются неравенства:

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \ldots, x_5 \geq 0. \quad (7)$$

Из табл. можно вывести вектор стоимости ВМ типа $F_1, F_2, \ldots, F_5$, который записывается следующим образом:

$$c^T = (0,065,\ 0,130,\ 0,260,\ 0,165,\ 0,020).$$

Следовательно, стоимость всего распределения мощностей $x^T = (x_1, x_2, \ldots, x_5)$ может быть записана в виде ценовой функции:

$$\begin{gathered} 0,065x_1 + 0,130x_2 + 0,260x_3 + \\ +0,165x_4 + 0,020x_5 \to \min. \end{gathered}$$

Задачу поиска наиболее дешевого распределения виртуальных ресурсов можно выразить в следующей матрично-векторной форме:

$$\begin{gathered} 0,065x_1 + 0,130x_2 + 0,260x_3 + \\ + 0,165x_4 + 0,020x_5 \to \min, \end{gathered}$$

$$1x_1 + 1x_2 + 2x_3 + 2x_4 + 1x_5 \geq 0,35,$$

$$1x_1 + 2x_2 + 4x_3 + 5x_4 + 1x_5 \geq 1,$$

$$1,7x_1 + 3,75x_2 + 7,5x_3 + 1,7x_4 + 0,615x_5 \geq 0,256,$$

$$160x_1 + 410x_2 + 820x_3 + 350x_4 + 0x_5 \geq 2,$$

$$2x_1 + 3x_2 + 3x_3 + 3x_4 + 1x_5 \geq 2,$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \ldots, x_5 \geq 0.$$

Построенная задача относится к классу задач линейного программирования**,** а поиск ее решения осуществлялся с помощью симплекс-метода, который был разработан американским ученым Дж. Данцингом.

При решении данной задачи для получения оптимального плана в основном симплекс-методе было проведено 3 итерации. Время вычисления оптимального плана с применением программного пакета MathCad на персональном компьютере с системными параметрами: процессор – IntelCore 2 Duo, 2,00 ГГц, оперативная память – 2 Гб – составило 6,5 секунд.

Оптимальный план предоставления виртуальных ресурсов можно записать так:

$$\begin{gathered} x_1 = 0,0125,\ x_2 = 0,\ x_3 = 0,\ x_4 = 0,\ x_5 = 1,98, \\ F(x) = 0,065 \cdot 0,0125 + \\ + 0,020 \cdot 1,98 = 0,0403. \end{gathered} \quad (8)$$

Полученное решение может говорить о том, что для обеспечения наиболее дешевого предоставления ресурсов, необходимых для работы одного экземпляра приложения Δ, потребуется 0,0125 экземпляров ВМ типа 1 и 1,98 экземпляров ВМ типа 5, а минимальная стоимость такого предоставления составит 0,0403 долларов в час.

Зная данные параметры, нетрудно вычислить, сколько потребуется экземпляров ВМ типа 1 и 5 для предоставления ресурсов на запросы любого конечного числа пользователей на сессию с конечным временем.

Наряду с полученным результатом известно, что основные существующие средства виртуализации (например, Windows Azure [8]) используют принцип предоставления

каждому экземпляру приложения отдельной виртуальной машины и только после анализа работы выполняемых экземпляров приложений платформа выделяет дополнительные или сокращает неиспользуемые экземпляры ВМ. Данный подход приводит к повышенной стоимости использования облачных сервисов.

С учетом вышесказанного прикладной эффект полученного решения заключается в снижении стоимости использования облачных сервисов за счет минимизации количества используемых ВМ.

Так, при «классическом» подходе для обеспечения работы 1000 экземпляров виртуального приложения Δ с заданными характеристиками потребуется 1000 экземпляров ВМ типа m1.small стоимостью 0,065 долларов в час (табл.), при этом стоимость услуги составит 65 долларов в час. Наряду с этим при использовании предложенного алгоритма, с учетом результата (8), стоимость услуги составит 40,3 доллара в час, что на 38 % сократит стоимость работы 1000 экземпляров приложения Δ.

Заключение

В данной статье рассмотрен алгоритм построения, а так же решения задачи оптимизации процесса предоставления ресурсов в облачных системах. Задача сформулирована как необходимость оптимизации целевой функции при условии выполнения ряда заданных ограничений.

Рассмотрена схема расчета оптимального плана предоставления ресурсов, заключающегося в поиске наиболее дешевого сценария предоставления виртуальных ресурсов, с учетом требований по качеству обслуживания, предъявляемых к системе.

В результате проведения научно-исследовательской работы была построена и решена задача оптимизации процесса предоставления виртуальных ресурсов. Так, зная минимальные системные требования одного экземпляра приложения, а также соотношения технических и ценовых характеристик виртуальных машин, можно вычислить оптимальный план предоставления виртуальных ресурсов для любого конечного множества пользователей на сессию с конечным временем.

Наряду с проведенной работой интерес для дальнейшего исследования представляет внедрение методов оптимизации в инструменты балансировки загрузки систем, основанных на облачных технологиях.

Библиографический список

1. **Методы** оптимизации. Кн. 1 / Ф. П. Васильев. – Москва : МЦНМО, 2011. – 620 с.

2. **Методы** оптимизации. Кн. 2 / Ф. П. Васильев. – Москва : МЦНМО, 2011. – 434 с.

3. **Теоретические** основы проектирования компьютерных сетей / В. М. Вишневский. – Москва : Техносфера, 2003. – 512 с.

4. **Ahmed, T.,** Singh, Y. (2012). Analytic Study of Load Balancing Techniques Using Tool Cloud Analyst. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 1027–1030.

5. **Calheiros, R. N.,** Ranjan, R., Buyya, R. (2011). Virtual Machine Provisioning Based on Analytical Performance and QoS in Cloud Computing Environments. *Proceedings of the 2011 International Conference on Parallel Processing*, Taipei, 295–304.

6. **Хостинг** Amazon EC2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kushnerov.com.

7. **Amazon** EC2 instances [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://aws.amazon.com.

8. **Windows** Azure Platform [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://download.microsoft.com/documents/rus/cloud/Windows_Azure_A4_2012.pdf.

УДК 691.32:666.943.4

Л. Ф. Казанская, Ю. И. Макаров
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

Д. С. Григорьев
Санкт-Петербургский Государственный архитектурно-строительный университет

ПРОЧНОСТЬ И СТОЙКОСТЬ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Проанализирована возможность использования техногенных образований в составах многокомпонентных вяжущих и приведены результаты исследований пористости камня подобных вяжущих как параметра, определяющего структуру и прочностные характеристики формирующегося при гидратации цементного камня.

При определении объемной доли пор использовались методы малоугловой рентгеновской дифракции (МРД), парамагнитного резонанса (ПМР) и секущей. Проведенные исследования позволили дать количественный анализ дисперсно-пористой структуры сульфатно-шлаковых композиций и отметить их повышенную сульфатостойкость при формировании бездефектной структуры камня по сравнению с классическими вяжущими, что свидетельствует о перспективном использовании комплексного подхода к изучению структуры многокомпонентных вяжущих и свойств бетонов на их основе.

многокомпонентные вяжущие, известесодержащие и сульфатосодержащие отходы, пористость, фазовый состав новообразований.

Введение

В последнее время использование многокомпонентных вяжущих на основе техногенного сырья при создании эффективных компонентов представляется весьма актуальным. Одной из разновидностей таких вяжущих являются сульфатно-шлаковые (СШВ), характеризующиеся более высокой водопотребностью, чем портландцемент, а также повышенной по сравнению с ним удобоукладываемостью. Они имеют более низкую экзотермию, более высокую стойкость в некоторых агрессивных средах и пониженные значения показателей морозостойкости. Вместе с тем представляет интерес детальное изучение пористой структуры и фазового состава новообразований СШВ и бетонов на их основе с учетом применения в качестве активаторов твердения шлака отходов производства химической промышленности.

1 Анализ возможности использования техногенных образований в составах многокомпонентных вяжущих

В качестве исходных материалов при изучении структурообразования сульфатно-шлаковых вяжущих были использованы металлургический шлак (слабокислый по модулю основности, M_o = 0,91), известе- и сульфатосодержащие отходы (табл.).

Экспериментальные данные по апробации в составах СШВ в качестве активаторов твердения названных известе- и сульфатосодержащих отходов представлены на рис. 1 [1]. Опытные составы вяжущего готовились методом раздельного помола шлака, домола продуктов-активаторов приблизительно до дисперсности шлака.

Рентгенофазовый анализ показал, что данные составы имеют оптимальное соотношение между Al_2O_3 и $CaSO_4$, способствующее

ТАБЛИЦА. Усредненный химический состав шлака, известе- и сульфатосодержащих отходов, масс.%

Отходы	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	Fl_2O_3	MnO	SO_3	$K_2O + Na_2O$	Активных CaO+ MgO	Cl	R_2O	P_2O_5	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Показатель pH
Металлургический шлак	35,7	40,1	5,5	14,4	0,9	1,2	1,2	–	–	–	–	–	–	–
Известесодержащий отход № 1 (ИК № 1)	5–12	40–50	1,8–2,6	2,8–4,7	1–3	–	1–5	0,2–1,0	5–12	3–12	–	–	–	–
Известесодержащий отход № 2 (ИК № 2)	2–4,5	58–62	1,0–2,5	2,0	1,3–4,0		2–3	0,15–0,25	22–35	0,3–0,5	–	–	–	–
Известесодержащий отход № 3 (ИК № 3)	13–15	42–45	2–3	3–6	2,5–4,0	–	0,7	1,0–1,5	6–7	0,3–0,5	–	–	–	–
Сульфатосодержащий отход	45	31,5	–	0,3	0,3	–	–	–	–	–	0,4	1,4	94,3	2

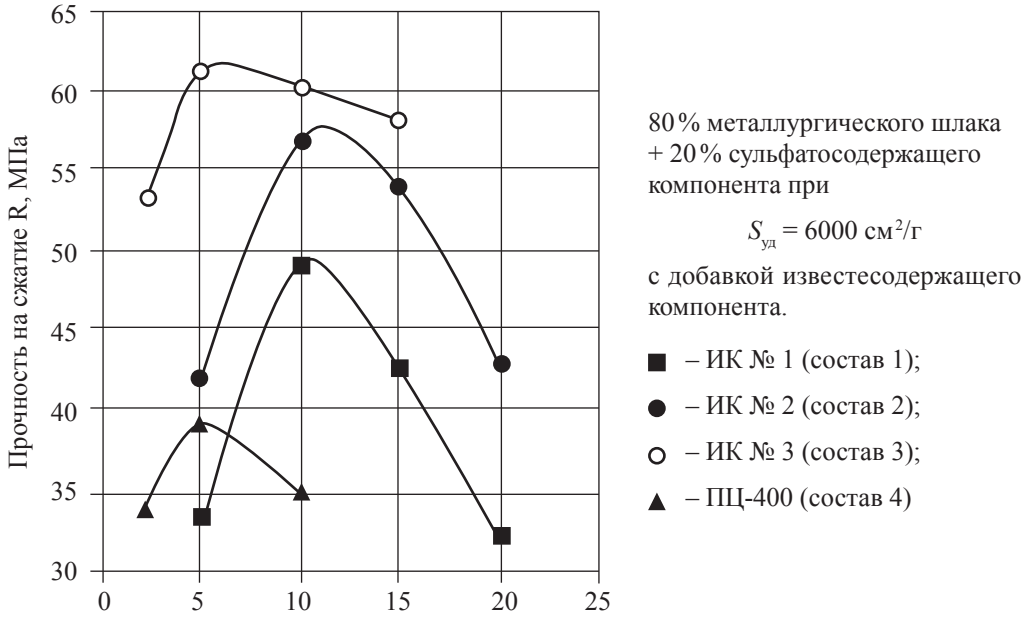


Рис. 1. Прочностные характеристики СШВ в зависимости от концентрации известесодержащего компонента нормально-влажностных условий твердения составов

одностадийному формированию высокосульфатной формы гидросульфоалюмината кальция-эттрингита ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$), выполняющего армирующую роль в структуре цементного камня без проявления расширения, деструкции и увеличения в объеме [2], [3]. Критерием, обеспечивающим оптимальную скорость растворения фазы Al_2O_3, является содержание в жидкой фазе раствора оксида кальция в количестве 0,6–0,8 г/л, что соответствует содержанию в составах СШВ извести или ее заменителей в количестве 1–1,2 % (по $CaO_{своб}$). В этих условиях имеет место соотношение $Al_2O_3/CaSO_4 \approx 1/(3…5)$, благоприятное для формирования и устойчивости эттрингита от перекристаллизации в моносульфат [1], [4]. Химическое связывание извести с глиноземом и сульфатом с образованием эттрингита при названных условиях вызывает растворение этих оксидов и обеспечивает поддержание оптимального режима растворения и гидратации. Наряду с эттрингитом (0,973; 0,388; 0,277; 0,256; 0,222 нм) основными продуктами гидратации представленного вяжущего являются тоберморитоподобные силикаты кальция (0,307; 0,280; 0,183; 0,167 нм), гидрогранаты (0,272; 0,280 нм), гидроалюминаты кальция (0,336; 0,280; 0,230; 0,204 нм), за счет которых происходит нарастание прочности вяжущего после полного связывания гипса.

2 Пористость и методы определения ее параметров

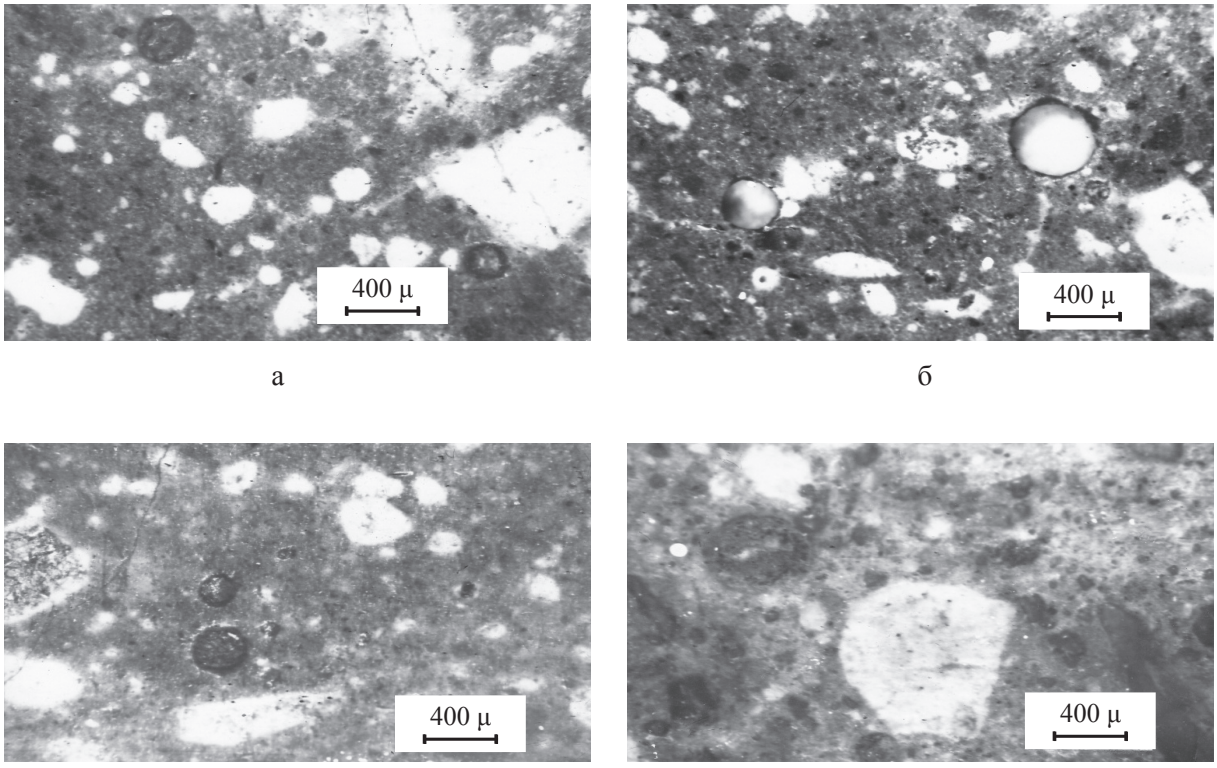
Структуру и прочностные характеристики цементного камня определяют не только продукты гидратации, но и система пор широкого по размерам спектра [2], [5], [6], в которой различают поры геля размером менее 0,1 нм, промежуточные (0,1–1 нм), капиллярные (1–10 нм) и макропоры (более 10 нм). Соответственно, общая пористость определяется суммой относительных объемов пор: гелевых $П_Г$, промежуточных $П_П$, капиллярных $П_К$ и макропор $П_М$ ($П_О = П_г + П_П + П_К + П_М$). Размеры, концентрация и форма пор, задаваемые технологией изготовления цементного камня, оказывают существенное влияние на его свойства. Существует много методов определения размеров пор в твердых телах, из которых нами для количественного исследования распределения пор по размерам в образцах цементного камня СШВ были применены: ртутная по-

рометрия, малоугловая рентгеновская дифракция (МРД), электронная сканирующая и оптическая микроскопия, парамагнитный резонанс (ПМР).

Характерные фотографии пор представлены на рис. 2. При анализе структуры камня СШВ с добавкой ИК № 1 в количестве 10% от суммы шлака и сульфатосодержащего компонента (рис. 2а) можно отметить ярко выраженную гетерогенность и рельефность структуры, наличие различных фаз новообразований. На поверхности видны субмикропоры и субмикротрещены в количестве более 1%, которые мы рассматриваем как активные центры гидратации и полноправные элементы кристаллической структуры, нежели как ее случайные нарушения. Дефектность такого рода обусловлена тем, что накопления на поверхности до определенной концентрации приводят к уменьшению свободной энергии системы. Это очень важно с точки зрения образования твердых растворов.

Рассматривая структуру камня СШВ с добавкой 5% ИК № 2 (рис. 2б), можно увидеть выделяющиеся одноранговые замкнутые поры с шероховатой внутренней поверхностью и размерами менее 50 мкм, а также частицы новообразований и включения на поверхности субмикропор. На границе зоны контакта четко прослеживается реакционная (гидратационная) зона поверхностных новообразований. Дефектов же по сплошности зоны контактов не наблюдается. Можно зафиксировать и очень мелкие капиллярные поры, а также, в отличие от рисунка 2а, более равномерное монодисперсное распределение фаз новообразований.

При использовании 10% ИК № 3 (рис. 2в) структура матрицы представляется менее пористой, чем в предыдущих случаях, с более равномерным распределением фаз ново-



а б в г

Рис. 2. Поровая структура цементного камня СШВ (составы 1–4, рис. 1), определенная методом оптической микроскопии шлифов

образований и локальным распределением замкнутых сферических пор. Наблюдается образование микротрещин как концентратов напряжений гриффитского размера. В зафиксированном на границе контакта фазы новообразований (слева вверху) геле C-S-H отмечается войлокообразность форм.

В случае использования в виде щелочного активатора стандартного ПЦ-400 (рис. 2г) структура камня характеризуется как более рыхлая, многопористая, дефектная, с неоднородной плотностью.

Таким образом, можно констатировать, что с точки зрения структуры порового пространства использование в составах СШВ в качестве щелочных активаторов известесодержащих отходов химической промышленности вместо стандартного ПЦ-400 представляется весьма эффективным.

С целью получения более надежной информации о поровой структуре материала нами были использованы два метода обработки данных. Определялись длины отрезков, приходящихся на поры вдоль выбранных секущих [7]. Как правило, на образце проводилось несколько десятков секущих (через весь образец) с целью набора достаточно большой статистики. В результате для каждого образца определялась полная длина секущих (сумма длин всех секущих) и некоторое множество отрезков секущих, приходящихся на поры. С учетом анализа разброса и обеспечения необходимой точности измерений для всех образцов было выбрано одинаковое число пересечений секущей с порами (≈200). При этом полная длина секущей для разных образцов, естественно, была различной, что связано с разной их пористостью. Как показали наблюдения, форма пор (их сечение плоскостью), как правило, была близка к сферической (см. рис. 2).

Полученные значения количественного распределения пор альтернативными методами МРД и ПМР дали хорошие совпадения, что подтверждает справедливость допущения о сферичности пор в камне СШВ.

Обработка экспериментальных данных велась двумя способами. Первый способ (метод секущей) является стандартным и позволяет с достаточной точностью определять объемную долю пор.

При этом величина объемной доли равна:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\sum I_i}{\sum L_i},$$

где $\frac{\Delta V}{V}$ – объемная доля пор; ΣI_i – полная длина отрезков секущей, приходящейся на поры; ΣL_i – полная длина секущей.

Обработка вторым способом была направлена на то, чтобы получить реальное значение концентраций пор разных размеров, т. е. их распределение по размерам. Эта проблема является одной из сложнейших в стереологии, что обусловлено рядом обстоятельств. Два первых обстоятельства связаны с тем, что на шлифе наблюдается не диаметр поры, а некоторая длина секущей. Необходимо учитывать, что шлиф сечет пору случайным образом в одной плоскости, а сама секущая – в другой. Помимо этого, концентрация пор на шлифе зависит не только от их истинной объемной концентрации, но и от их размера. Учет этих обстоятельств даже для сферической поры является очень сложным. Для построения истинного распределения пор по размерам нами было использовано сочетание строгого стереологического подхода с математическим расчетом наиболее вероятного размера пор, исходя из набора длин секущих. Была рассчитана связь среднего значения длины секущей сферы (точнее, двух секущих в разных плоскостях) с ее диаметром, концентрацию же пор в некотором диапазоне диаметров определяли по стандартной методике.

Таким образом, в работе для всех образцов определялось значение объемной концентрации (1/см^3) пор в нескольких диапазонах истинных диаметров пор (мкм). Разбивка по диапазонам шла через 30 000–50 000 нм. Такой довольно большой шаг разбивки объясняется тем, что концентрация мелких макропор (1000–30 000 нм) и их объемная доля оказались весьма малы, а при больших размерах наблюдается монотонный спад как концентрации N, так и величины объемной

доли. Сама величина объемной доли определялась для каждой фракции пор как:

$$\frac{\Delta V_i}{V} = N_i \cdot V_i,$$

где N_i – концентрация пор в соответствующем диапазоне размеров; V_i – средний объем пор в этом диапазоне.

Полная величина объемной доли будет при этом равна:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\sum N_i}{V_i}.$$

При этом суммирование проводится по всем фракциям размеров.

Критерием правильности такого подхода является равенство величин объемных долей суммарной пористости, определяемых двумя способами: методом секущей и методом суммирования фракционных объемов. Для всех образцов наблюдается хорошее совпадение этих величин, что свидетельствует о справедливости сделанных допущений и, соответственно, о правильности полученных кривых распределения концентрации N и фракционных объемных долей $\frac{\Delta V_i}{V}$ по размерам.

3 Количественный анализ дисперсно-пористой структуры сульфатно-шлаковых композиций

Важным фактором, определяющим свойства бетона, является соотношение между порами вышеназванных четырех размеров. На основе результатов экспериментальных исследований можно дать следующее распределение пор по размерам (рис. 3) и констатировать следующее. Прочностные характеристики камня СШВ не уступают аналогичным параметрам стандартного вяжущего в виде ПЦ-400, общий показатель пористости которого выше, чем у СШВ. Однако во всех образцах СШВ сумма условно-замкнутых пор больше, чем у ПЦ-400, что отразилось на показателях морозостойкости, которые оказались ниже у всех образцов СШВ, чем у ПЦ-400. Известно, что увеличение составляющей C-S-H цементного камня повышает показатели морозостойкости бетона, в том числе и при низких температурах замораживания. Капиллярные поры, наоборот, представляют собой основные дефекты плотной структуры уложенного бетона, поскольку они благоприятствуют миграции воды, которая может замерзать в них при обычных условиях охлаждения, и выступают как микротрещины гриффитского размера [6].

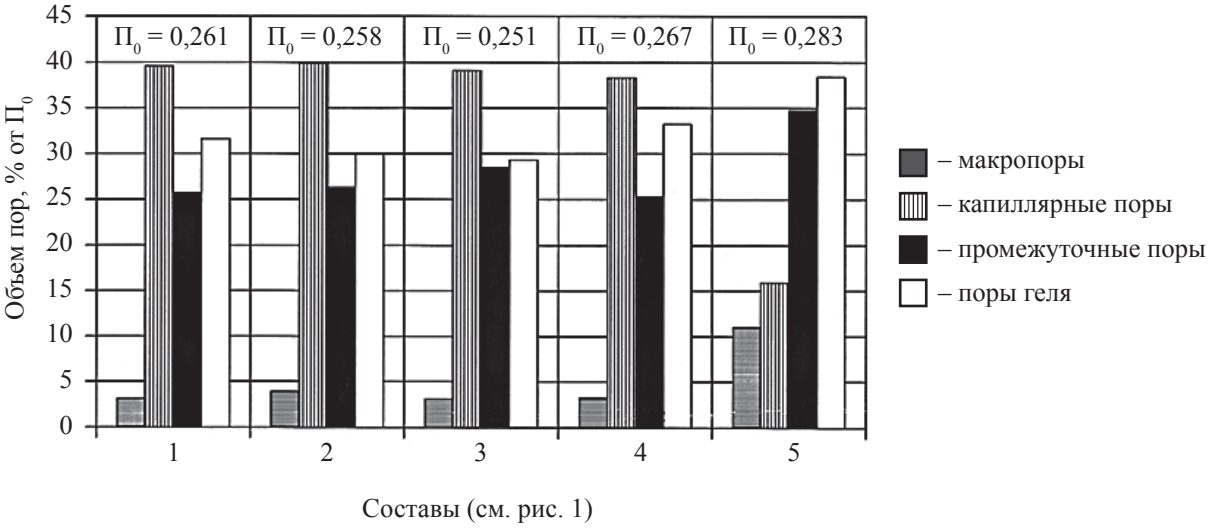


Рис. 3. Распределение пор по размерам в СШВ (составы 1–4) и ПЦ-400 (состав 5)

Общеизвестным фактором является то, что в СШВ стабильность и устранение сульфатной агрессии определяется природой продуктов гидратации. И к тому же при сульфатной коррозии капиллярные поры и микропоры не участвуют в размещении осадка новообразований, большая часть которого отлагается в промежуточных порах. Из рис. 3 видно, что по полученным данным в СШВ суммарный объем этих пор значительно ниже, чем у ПЦ, что, наряду с особенностями продуктов гидратации, обуславливает повышенную сульфатостойкость СШВ при формировании более бездефектной структуры камня.

Заключение

Представленные в статье данные позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Прочностные характеристики рассмотренных СШВ не уступают стандартному ПЦ-400. Данный факт мы объясняем тем, что в СШВ при оптимальном соотношении извести и гипса [2] происходит одностадийное формирование кристаллов эттрингита как армирующих упругих волокон в пластичной матрице цементного камня с высоким модулем упругости ($E = 75 \cdot 10^3$ МПа) по сравнению с низкоосновным C-S-H ($E = 5–6 \cdot 10^3$ МПа).

2. Из-за высокого содержания капиллярных пор в составах СШВ морозостойкость названных вяжущих (45–55 циклов) уступает ПЦ-400 (115 циклов), однако по абсолютным величинам соответствует действующим нормам.

3. Повышенная сульфатостойкость СШВ объясняется не только химическим и минералогическим составом компонентов вяжущего, своеобразным характером процессов и природой продуктов твердения, но и отличительными признаками порового пространства. Предполагая, что наибольшее количество осадка новообразований при сульфатной агрессии размещается в промежуточных порах (в СШВ – 25–28%, в ПЦ – 400–35%), можно отметить, что при оценке сульфатостойкости СШВ следует учитывать главным образом эту группу пор, относительный объем которых и будет определять коррозионную устойчивость цементного камня, раствора, бетона.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о перспективном использовании комплексного подхода к изучению структуры СШВ и свойств бетонов на их основе.

Библиографический список

1. **Сульфатно-шлаковые** вяжущие и бетоны на их основе : дис. ... докт. техн. наук / Л. Ф. Ямалтдинова. – Санкт-Петербург, 2000. – 326 с.

2. **Vulkov, V.,** Delchev, N., Nikonova, N. (1992). Chemical captivating of metallurgical slag in the conditions of granulating. *Proceedings or the 9th International Congress on the Chemistry of Cement*, New Delhi, 3, 115–119.

3. **Методологические** аспекты получения многокомпонентного минерального вяжущего на основе техногенных отходов промышленности / Г. В. Бондаренко, В. С. Грызлов, А. Г. Каптюшина // Строительные материалы. – 2012. – № 3. – С. 26–29.

4. **Активированные** шлаковые вяжущие на основе промышленных отходов предприятий Урало-Башкирского региона / В. В. Бабков, П. Г. Комохов, А. А. Шатов, Р. Н. Мирсаев, А. А. Оратовская, И. В. Недосеко, А. Е. Чуйкин, Л. Ф. Ямалтдинова // Цемент. – 1998. – № 2. – С. 37–40.

5. **Объемные** изменения в реакциях гидратации и перекристаллизации минеральных вяжущих веществ / В. В. Бабков, П. Г. Комохов, Р. Н. Мирсаев, А. Е. Чуйкин и др. // Цемент. – 1998. – № 4. – С. 16–19.

6. **Структурная** механика и теплофизика легкого бетона / П. Г. Комохов, В. С. Грызлов. – Вологда : Изд-во Вологодского НЦ, 1992. – С. 13.

7. **Методы** исследования пористости твердых тел / П. Г. Черемской. – Москва : Энергоиздат, 1985. – С.67–70.

УДК 681.518.5:004.052.32

В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

Д. А. Никитин
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

О СПОСОБАХ ПОСТРОЕНИЯ КОДОВ С СУММИРОВАНИЕМ С МИНИМАЛЬНЫМ ОБЩИМ ЧИСЛОМ НЕОБНАРУЖИВАЕМЫХ ИСКАЖЕНИЙ В ИНФОРМАЦИОННЫХ ВЕКТОРАХ

Решена задача построения кода с суммированием, оптимального с точки зрения обнаружения искажений в информационных векторах. Такой код с суммированием имеет равномерное распределение всех информационных векторов между всеми возможными контрольными векторами. Задача построения оптимального кода решена несколькими способами, дающими различные распределения необнаруживаемых искажений в информационных разрядах по кратностям. Кроме того, в работе установлены условия, при которых новый код с суммированием будет обнаруживать любые ошибки нечетных кратностей.

система функционального контроля; код Бергера; взвешенный код с суммированием; информационные разряды; необнаруживаемая ошибка; минимум необнаруживаемых ошибок; оптимальный код.

Введение

При создании устройств автоматики важным вопросом является обеспечение надежности их функционирования, что достигается несколькими способами: выбором элементной базы с низкими потоками отказов; резервированием отдельных модулей и узлов; техническим диагностированием компонентов и пр. [1].

Современные управляющие комплексы содержат развитое диагностическое обеспечение как на аппаратном, так и на программном уровнях [2]. Среди всех средств диагностирования важным является так называемое функциональное диагностирование, или *on-line* тестирование, которое позволяет определять техническое состояние контролируемого устройства в процессе его работы. При этом не требуется отключать систему от объектов управления.

Система функционального контроля строится следующим образом (рис. 1) [3], [4]. Исходное комбинационное логическое устройство $f(x)$, вычисляющее ряд булевых рабочих функций, снабжается блоком дополнительной логики $g(x)$, предназначенным для формирования множества контрольных функций. Таким образом, в произвольный момент времени на выходах обоих блоков формируется вектор некоторого заранее выбранного систематического кода [5]. Ввиду простоты правил получения контрольных разрядов часто в качестве основы системы функционального контроля выбираются коды с суммированием [6] – [8]. Это могут быть как классические коды Бергера [9], в которых контрольный вектор содержит сумму единичных информационных разрядов, так и их модификации [6], [10] – [13]. Для проверки соответствия информационных и контрольных векторов в системе функционального контроля устанавливается полностью самопроверяемый тестер (*TSC*). При наличии ошибок в любой

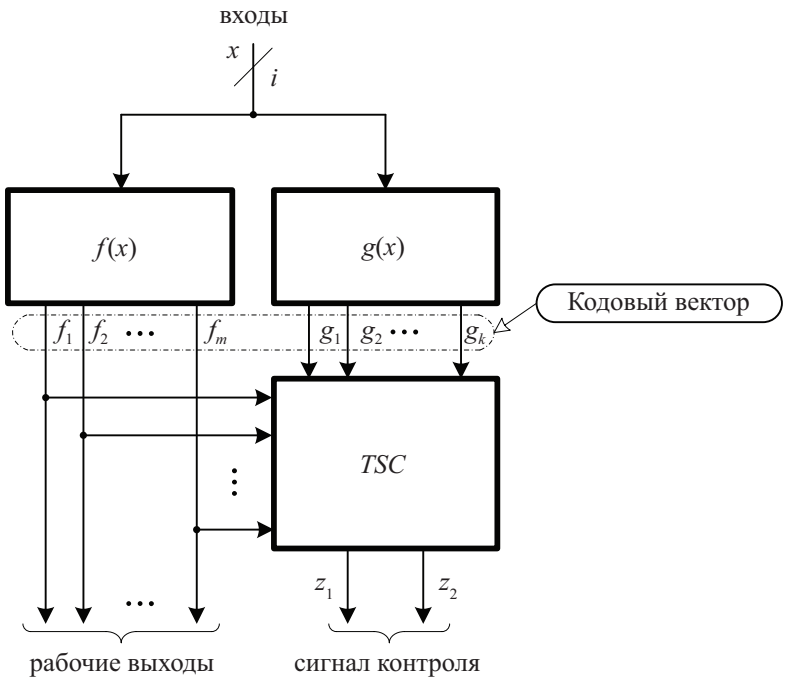


Рис. 1. Структура системы функционального контроля

из составляющих системы функционального контроля на выходах *TSC* устанавливается сигнал ошибки <00> либо <11> [14].

В системе функционального контроля обнаруживаются любые неисправности (как константные, так и неисправности типа «временная задержка» [15]), которые нарушают соответствие между информационной и контрольной составляющими кодового вектора.

1 Оптимальные коды и коды Бергера

Известно, что классический код с суммированием, или код Бергера ($S(n, m)$-код, где n – длина кодового вектора, m – длина информационного вектора, $n - m = k$ – длина контрольного вектора), не является оптимальным по критерию общего количества необнаруживаемых искажений [16], более того, он не обнаруживает большое количество ошибок малой кратности d [17].

В работе [16] описывается способ построения модифицированного кода Бергера, позволяющий почти вдвое повысить эффективность обнаружения ошибок в информационных разрядах. Там же доказано следующее положение, определяющее так называемый оптимальный код с суммированием при данных значениях m и k.

Теорема. Код с суммированием имеет минимальное общее число необнаруживаемых искажений в информационных разрядах, если все его 2^m информационных вектора распределены в 2^k контрольные группы, каждая из которых содержит 2^{m-k} элементов.

Оптимальный код с суммированием имеет:

$$N_{m,k}^{\min} = 2^m \left(2^{m-k} - 1\right) \qquad (1)$$

необнаруживаемых ошибок в информационных векторах.

Для сравнения любого кода с суммированием с оптимальным кодом при заданных длинах информационных и контрольных векторов используется коэффициент эффективности, определяющий «близость» данного кода к оптимальному:

$$\xi = \frac{N_{m,k}^{\min}}{N_{m,k}}. \qquad (2)$$

Чем ближе значение коэффициента ξ к единице, тем ближе данный код к оптимальному при заданных m и k.

В табл. 1 приводятся характеристики классических и модифицированных кодов Бергера, или $RS(n, m)$-кодов, по обнаружению искажений в информационных векторах. В столбце N_m дано общее количество необнаруживаемых искажений в информационных векторах, в столбце $N_{m,k}$ – число необнаруживаемых искажений, в столбце ξ рассчитан коэффициент эффективности, а в столбце δ – отношение числа необнаруживаемых ошибок в $S(n, m)$-кодах к числу необнаруживаемых ошибок в $RS(n, m)$-кодах. Видно, что $RS(n, m)$-коды более близки к оптимальным, чем $S(n, m)$-коды, однако не являются таковыми.

Оптимальным, например, является код Хэмминга [18], свойства которого по обнаружению ошибок в информационных разрядах изучены в [19]. Но код Хэмминга при некоторых значениях m имеет увеличенное значение числа контрольных разрядов в сравнении с кодом Бергера. Возникает задача построения оптимального кода с суммированием с заданными значениями m и k. Данная задача имеет важное значение для систем функционального контроля и до сих пор не решена. В данной работе мы приводим способы получения оптимального кода с суммированием.

ТАБЛИЦА 1. Характеристики $S(n, m)$ и $RS(n, m)$ кодов

m	k	N_m	$N_{m,k}$		ξ		δ
			$S(n, m)$	$RS(n, m)$	$S(n, m)$	$RS(n, m)$	
2	2	12	2	0	0	1	–
3	2	56	12	8	0,6667	1	1,5
4	3	240	54	24	0,2963	0,6667	2,25
5	3	992	220	112	0,4364	0,8571	1,9643
6	3	4032	860	480	0,5209	0,9333	1,7917
7	3	16256	3304	1984	0,5811	0,9677	1,6653
8	4	65280	12614	6216	0,3044	0,6178	2,0293
9	4	261632	48108	23888	0,3299	0,6644	2,0139
10	4	1047552	183732	91680	0,3511	0,7037	2,0041
11	4	4192256	703384	352480	0,3698	0,7379	1,9955
12	4	16773120	2699984	1359136	0,3868	0,7685	1,9865
13	4	67100672	10392408	5258944	0,4028	0,796	1,9761
14	4	268419072	40100216	20420736	0,418	0,8208	1,9637
15	4	1073709056	155084752	79565952	0,4325	0,843	1,9491
16	5	4294901760	601014854	300481096	0,2232	0,4465	2,0002
17	5	17179738112	2333475148	1166684944	0,23	0,4601	2,0001
18	5	68719214592	9074873156	4537330464	0,2366	0,4732	2
19	5	274877382656	35344739512	17672164704	0,243	0,486	2
20	5	1099510579200	137845480244	68922399792	0,2493	0,4985	2

2 Взвешенные коды с суммированием

Причиной низкого значения коэффициента эффективности у $S(n, m)$-кодов является неравномерность распределения информационных векторов между контрольными векторами [16]. Это, в свою очередь, является следствием того, что каждый информационный вектор с весом r (а их количество определяется величиной C_m^r), имеет одинаковый контрольный вектор. Число информационных векторов в зависимости от значения r меняется и, например, при $r = 0$ и $r = m$ минимально, а при $r = \frac{m}{2}$ для четных m и при $r = \frac{m \pm 1}{2}$ для нечетных m – максимально. Отсюда и различное количество необнаруживаемых искажений для векторов с различными значениями веса.

В табл. 2 задан $S(7,4)$-код, а в табл. 3 дано распределение его информационных векторов на контрольные группы по значению разрядов контрольного вектора: распределение крайне неравномерно, в т. ч. присутствуют пустые группы.

Контрольные группы, которые являются пустыми, заполняются по мере увеличения длины информационного вектора, при этом по достижении величины $k = \lceil \log_2 (m+1) \rceil$, где запись $\lceil \alpha \rceil$ обозначает целое сверху от α, заполняется последняя контрольная группа. Такой код Бергера имеет максимальное значение коэффициента ξ для заданного значения k (табл. 1 строки с $m = 7$ и 15).

Рассмотрим другой класс кодов с суммированием – взвешенные коды с суммированием. Они были впервые предложены в [9]. Во взвешенных кодах с суммированием каждому информационному разряду присва-

ТАБЛИЦА 2. Векторы S (7,4)-кода

Информационные разряды				Контрольные разряды		
x_1	x_2	x_3	x_4	y_1	y_2	y_3
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	1
0	0	1	0	0	0	1
0	0	1	1	0	1	0
0	1	0	0	0	0	1
0	1	0	1	0	1	0
0	1	1	0	0	1	0
0	1	1	1	0	1	1
1	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	1	0
1	0	1	0	0	1	0
1	0	1	1	0	1	1
1	1	0	0	0	1	0
1	1	0	1	0	1	1
1	1	1	0	0	1	1
1	1	1	1	1	0	0

ТАБЛИЦА 3. Распределение информационных векторов S (7,4)-кода

Контрольные группы							
000	001	010	011	100	101	110	111
0000	0001	0011	0111	1111			
	0010	0101	1011				
	0100	1001	1101				
	1000	1001	1110				
		1010					
		1100					

ивается некоторое положительное число, называемое весом разряда w_i, а в контрольный вектор записывается двоичное число, равное сумме весов единичных информационных разрядов:

$$W = \sum_{i=1}^{m} x_i w_i, \qquad (3)$$

где x_i – значение информационного разряда (0 или 1).

Взвешивание информационных разрядов приводит к перераспределению информационных векторов на контрольные группы и, при сохранении числа контрольных разрядов равным $k = \lceil \log_2 (m+1) \rceil$, к увеличению значения ξ. Как показано в [20], это, однако, не дает оптимального варианта кодирования.

Рассмотрим взвешенные коды с суммированием, или $WS(n, m)$-коды, с весовыми коэффициентами, представляющими собой последовательность натуральных чисел: $[w_1, w_2, \ldots, w_m] = [1,2,\ldots, m]$. Назовем данные коды *взвешенными кодами с прямой последовательностью весов*.

Для примера в табл. 4 даны векторы WS (8,4)-кода, а в табл. 5 их распределение на контрольные группы.

Из табл. 4 следует, что распределение информационных векторов в $WS(8,4)$-коде неравномерно, а значит (см. теорему), код не является оптимальным. Данный код имеет 10 необнаруживаемых искажений, что в 5,4 раза меньше, чем у кода Бергера с тем же значением m. Однако $WS(8,4)$-код не является эффективным при своих значениях m и $k - \xi = 0$. Например, код Бауэра с такой же длиной информационного вектора обнаруживает любые искажения в информационных векторах.

Взвешенные коды с суммированием с прямой последовательностью весов при $m > 4$ имеют значение ξ большее, чем у кода Бергера при тех же значениях m. Это объясняется увеличенным числом контрольных разрядов.

Увеличение длины информационного вектора влияет на суммарный вес W информационного вектора, что сказывается на числе контрольных разрядов кода и, соответственно, снижает коэффициент эффективность кода.

Рассмотрим подходы, позволяющие строить оптимальные коды с суммированием. Они основаны на взвешивании информационных разрядов и модификации контрольных векторов по определенным правилам.

3 Модульно-взвешенный код с суммированием

Применим следующий алгоритм для построения кода с суммированием:

1. Подсчитывается суммарный вес единичных информационных разрядов W.

2. Выбирается модуль $M = 2^{\lceil \log_2 (m+1) \rceil}$.

3. Число W берется по выбранному модулю $(W) \, mod M$.

4. Полученное число представляется в двоичном виде и записывается в контрольные разряды.

ТАБЛИЦА 4. Векторы *WS* (8,4) и *WS*8 (7,4) кодов

Информационные разряды				Контрольные разряды						
				WS (8,4)-код				*WS*8 (7,4)-код		
x_1	x_2	x_3	x_4	y_1	y_2	y_3	y_4	y_1	y_2	y_3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1
0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0
0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1
0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1
1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1
1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0
1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0

ТАБЛИЦА 5. Распределение информационных векторов *WS*(8,4)-кода

Контрольные группы															
0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
0000	1000	0100	0010	0001	0110	0101	0011	1011	0111	1111					
			1100	1010	1001	1110	1101								

Полученные таким способом коды назовем *модульно-взвешенными кодами с прямой последовательностью весов* и обозначим как *WSM*(*n*, *m*)-коды. Ясно, что модульно-взвешенные коды будут иметь такое же число контрольных разрядов, как и код Бергера. В табл. 4 дан пример модульно-взвешенного кода с прямой последовательностью весов – *WS*8 (7,4)-кода. Он фактически образован из взвешенного кода путем отбрасывания старшего контрольного разряда. Это делает его оптимальным при своих значениях *m* и *k* (табл. 6).

С использованием специально разработанного программного обеспечения по расчету характеристик взвешенных кодов с суммированием были получены числа необнаруживаемых искажений в *WSM*(*n*, *m*)-кодах при $m = 2 \div 20$. В табл. 7 дается фрагмент таблицы характеристик для значений $m = 2 \div 10$.

ТАБЛИЦА 6. Распределение информационных векторов *WS*8(7,4)-кода

Контрольные группы							
000	001	010	011	100	101	110	111
0000	0111	0100	0010	0001	0110	0101	0011
1011	1000	1111	1100	1010	1001	1110	1101

ТАБЛИЦА 7. Характеристики модульно-взвешенных кодов с суммированием

m	k	Число необнаруживаемых ошибок кратности d										N_m	ξ
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
2	2	0	0									0	–
3	2	0	4	4								8	1
4	3	0	0	12	4							16	1
5	3	0	16	56	24	0						96	1
6	3	0	64	192	144	48	0					448	1
7	3	0	192	704	624	272	96	32				1920	1
8	4	0	0	1088	1408	816	360	136	32			3840	1
9	4	0	256	3200	4608	3680	2512	1296	320	0		15 872	1
10	4	0	1024	8704	14 848	15 680	12 704	7712	3200	640	0	64 512	1

WSM(*n*, *m*)-коды обнаруживают любые однократные искажения в информационных векторах. Кроме того, при значениях длин информационных векторов $m = \{2; 4; 8; \ldots; 2^i\}$ модульно-взвешенные коды обнаруживают все двукратные искажения в информационных векторах. Недостатком *WSM*(*n*, *m*)-кодов можно считать наличие необнаруживаемых искажений нечетных кратностей, в то время как код Бергера обнаруживает любые подобные искажения [9], [17].

Отметим также, что расчеты показывают, что часть необнаруживаемых искажений в *WSM*(*n*, *m*)-кодах является однонаправленными, или монотонными. Эта особенность модульно-взвешенных кодов с суммированием должна учитываться при проектировании контролепригодных дискретных систем. Например, при контроле схем с монотонными и монотонно-независимыми выходами [21], [22] нельзя допускать возникновения необнаруживаемого однонаправленного искажения.

4 Модифицированные взвешенные коды с суммированием

Для построения оптимального кода с суммированием можно применить совместно принцип взвешивания информационных разрядов, описанный в п. 3, и алгоритм модификации, описанный в [16]:

1. Подсчитывается суммарный вес единичных информационных разрядов *W*.

2. Выбирается модуль $M = 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil - 1}$.

3. Число *W* берется по выбранному модулю (*W*) *modM*.

4. Подсчитывается специальный поправочный коэффициент α как сумма по модулю два заранее выбранных информационных разрядов.

5. Подсчитывается результирующий вес информационного слова $V = (r)\ modM + \alpha M$.

6. Число V представляется в двоичном виде.

Коды, получаемые по приведенному алгоритму, назовем *модифицированными взвешенными кодами с суммированием с прямой последовательностью весов*, или *RWS* (n, m)-кодами.

Выбор различных информационных разрядов в линейной сумме поправочного коэффициент α дает большое разнообразие кодов, обладающих различными распределениями необнаруживаемых ошибок по кратностям. Многие из данных кодов являются оптимальными.

Интересно, что существует простое соотношение информационных разрядов в поправочном коэффициенте α, дающее возможность построения кода с суммированием, обнаруживающего любые искажения нечетных кратностей.

Коэффициент α должен вычисляться по формуле:

$$\alpha = x_2 \oplus x_4 \oplus \ldots \oplus x_{m,m-1}. \qquad (4)$$

В табл. 8 приводятся характеристики *RWS* (n, m)-кода по обнаружению ошибок в информационных разрядах при коэффициенте α, вычисляемом по формуле (4).

Отметим недостаток *RWS* (n, m)-кодов. Они, так же как и *WSM* (n, m)-коды, имеют часть однонаправленных искажений в классе необнаруживаемых, что накладывает ограничения на использование их при построении систем контроля монотонных логических устройств [21], [22].

Сравнивая *RWS* (n, m) и *WSM* (n, m) коды между собой, отметим, что любой *RWS* (n, m)-код имеет бóльшее количество необнаруживаемых ошибок четных кратностей, чем *WSM* (n, m)-код. Но при этом *WSM* (n, m)-коды не обнаруживают часть ошибок нечетных кратностей. На рис. 2 для примера дано сравнение распределений необнаруживаемых ошибок в двух оптимальных кодах при $m = 10$ (табл. 6 и 7). *WSM* (14,10)-код не обнаруживает в 3,5 раза меньше двукратных искажений, в 1,96 раза меньше четырехкратных искажений, в 2 раза меньше шести- и восьмикратных искажений в информационных векторах по сравнению с *RWS* (14,10)-кодом.

Заключение

Построение кода с суммированием по методикам, изложенным в данной работе, дает возможность получения оптимальных систематических кодов по критерию минимума общего числа необнаруживаемых

ТАБЛИЦА 8. Характеристики модифицированных кодов с суммированием

m	k	Число необнаруживаемых ошибок кратности d										N_m	ξ
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
2	2	0	0									0	–
3	2	0	8	0								8	1
4	3	0	8	0	8							16	1
5	3	0	48	0	48	0						96	1
6	3	0	160	0	288	0	0					448	1
7	3	0	512	0	1216	0	192	0				1920	1
8	4	0	384	0	2656	0	736	0	64			3840	1
9	4	0	1280	0	8896	0	5056	0	640	0		15 872	1
10	4	0	3584	0	29 056	0	25 472	0	6400	0	0	64 512	1

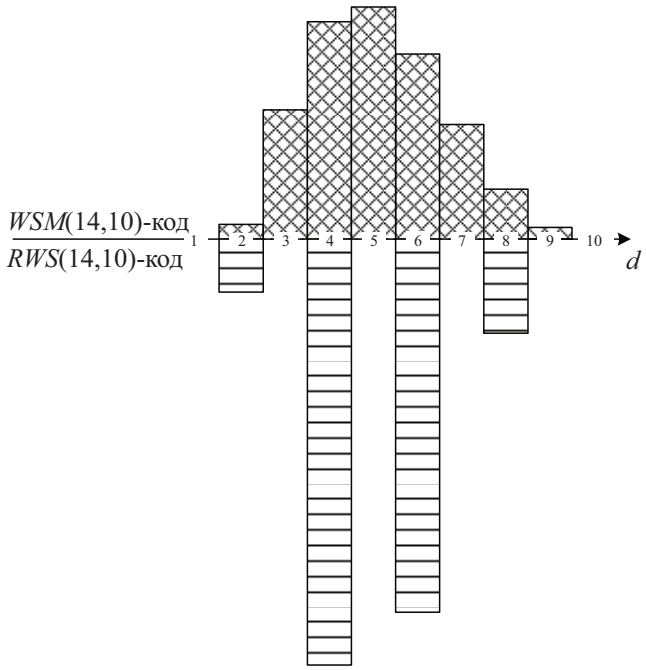


Рис. 2. Сравнение распределений необнаруживаемых ошибок в информационных векторах оптимальных кодов

искажений в информационных векторах с количеством контрольных разрядов, как у кодов Бергера. Возможно построение оптимальных кодов с различными распределениями необнаруживаемых ошибок по кратностям, что представляет интерес для разработчика систем функционального контроля логических устройств, т. к. расширяет поле выбора наилучшего варианта кодирования на этапе проектирования контролепригодной системы.

Библиографический список

1. **Pradhan, D. K.** (1996). *Fault-Tolerant Computer System Design*, New York, 560 p.

2. **Проектирование** и тестирование цифровых систем на кристаллах / В. И. Хаханов, Е. И. Литвинова, О. А. Гузь. – Харьков : ХНУРЭ, 2009. – 484 с.

3. **Ryan, W. E.,** Lin, Shu (2009). *Channel Codes: Classical and Modern*, Cambridge, 708 p.

4. **Touba, N. A.,** McCluskey, E. J. (1997). Logic Synthesis of Multilevel Circuits with Concurrent Error Detection. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, 16, 783–789.

5. **Nicolaidis, M.,** Zorian, Y. (1998). On-Line Testing for VLSI – A Compendium of Approaches. *Journal of Electronic Testing: Theory and Applications*, 12, 7–20.

6. **Piestrak, S. J.** (1995). *Design of Self-Testing Checkers for Unidirectional Error Detecting Codes*, Wroclaw, 111 p.

7. **Kastensmidt, F. L.,** Carro, L., Reis, R. (2006). *Fault-Tolerance Techniques for SRAM-based FPGAs*, Dordrecht, 183 p.

8. **Fujiwara, E.** (2006). *Code Design for Dependable Systems: Theory and Practical Applications*, John Wiley & Sons, 720 p.

9. **Berger, J. M.** (1961). A Note on Error Detection Codes for Asymmetric Channels. *Information and Control*, 4 (3), 68–73.

10. **Bose, B.,** Lin, D. J. (1985). Systematic Unidirectional Error-Detection Codes. *IEEE Transactions on Computers*, C-34, 1026–1032.

11. **Blyudov, A. A.,** Efanov, D. V., Sapozhnikov, V. V., Sapozhnikov, Vl. V. (2013). Summation codes for organization of control of combinational

circuits. *Automation and Remote Control*, 74 (6), 1020–1028.

12. **Das, D.,** Touba, N. A. (1999). Weight-Based Codes and Their Application to Concurrent Error Detection of Multilevel Circuits. *Proceedings of the 17th IEEE Test Symposium*, California, 370–376.

13. **Das, D.,** Touba, N. A., Seuring, M., Gossel, M. (2006). Low Cost Concurrent Error Detection Based on Modulo Weight-Based Codes. *Proceedings of 6th IEEE International On-Line Testing Workshop (IOLTW),* Palma de Mallorca, 171–176.

14. **Lala, P. K.** (2001). *Self-Checking and Fault-Tolerant Digital Design*, Arkansas, 216 p.

15. **Matrosova, A.,** Lipsky, V., Melnikov, A., Singh, V. (2010). Path Delay Faults and ENF. *Proceedings of 8th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS`2010),* St. Petersburg, 164–167.

16. **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. – № 6 (34). – С. 17–29.

17. **Efanov, D. V.,** Sapozhnikov, V. V., Sapozhnikov, Vl. V. (2010). On summation code properties in functional control circuits. *Automation and Remote Control,* 71 (6), 1117–1123.

18. **Hamming, R. W.** (1950). Error Detecting and Correcting Codes. *Bell System Technical Journal*, 29 (2), 147–160.

19. **Sapozhnikov, V.,** Sapozhnikov, Vl., Efanov, D., Blyudov, A. (2013). Analysis of Error-Detection Possibilities of CED Circuits Based on Hamming and Berger Codes. *Proceedings of 11th IEEE East-West Design &Test Symposium,* Rostov-on-Don, 200–207.

20. **Взвешенные коды с суммированием** для организации контроля логических устройств / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Электронное моделирование. – 2014. – № 1 (38).

21. **Morosov, A.,** Sapozhnikov, V. V., Sapozhnikov, Vl. V., Goessel, M. (1998). Self-Checking Combinational Circuits with Unidirectionally Independent Outputs. *VLSI Design*. 5 (4), 333–345.

22. **Sapozhnikov, V. V.,** Morosov, A., Sapozhnikov, Vl. V., Göessel, M. (1998). A New Design Method for Self-Checking Unidirectional Combinational Circuits. *Journal of Electronic Testing: Theory and Applications,* 12, 41–53.

УДК 624.131

В. Я. Смолак
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ БУРОИНЪЕКЦИОННЫХ НАКЛОННЫХ СВАЙ С УЧЕТОМ РАБОТЫ АРМИРОВАНИЯ

Получивший в настоящее время широкое распространение способ усиления ленточных фундаментов путем устройства наклонных буроинъекционных свай по козловой системе, несмотря на кажущуюся простоту, разработан не до конца. С целью изучения усилий в наклонных сваях в системе «фундамент–основание» и определения несущей способности наклонных свай были проведены полевые испытания. По результатам исследований была сделана оценка моментов, возникающих в наклонных сваях при передаче на них нагрузки, а также был выполнен сравнительный анализ различных методов определения несущей способности свай. В работе представлены результаты испытаний для разных способов изготовления свай.

статическое испытание свай, датчики напряжений, изгибающие моменты, буроинъекционные наклонные сваи, полевой эксперимент.

Введение

В настоящее время на многих объектах Санкт-Петербурга ведутся реставрационные работы, в ходе которых из-за деформации фундаментов, в особенности из-за неравномерных осадок, в стенах и других элементах конструкций надземных частей зданий образуются дефекты.

Широкое распространение получил способ усиления ленточных фундаментов путем устройства наклонных буроинъекционных свай по козловой системе. Несмотря на кажущуюся простоту такого усиления, этот способ не до конца разработан. Благодаря многолетней практике применения наклонных свай были обнаружены многочисленные недостатки технологии, которые требуют как разработки новых, более надежных численных методов расчетов, так и получения экспериментальных данных, позволяющих изучить физические явления, связанные с таким видом усиления фундаментов.

Одним из главных недостатков технологии является отсутствие подтвержденной опытом методики определения моментов, возникающих в наклонных сваях при передаче на них нагрузки. Кроме теоретических работ, основанных на математическом расчете, нет достоверных примеров определения усилий в наклонных сваях в системе «фундамент–основание».

С целью изучения данного вопроса, а также определения несущей способности наклонных свай были проведены полевые эксперименты, результаты которых представлены ниже.

1 Общие принципы усиления фундаментов буроинъекционными наклонными сваями

Для усиления ленточного фундамента бурение скважин для устройства свай выполняется под наклоном через тело фундамента, а сваи располагаются в шахматном порядке. Технология предполагает одновременное бурение скважины с прокачкой обедненного цементного раствора для выноса разрабатываемого объема грунта. Допускается бурение с использованием других буровых промывочных жидкостей. Обычно бурение происходит при помощи расходного металлического элемента, который после окончания нагнетания цементного раствора выполняет роль армирования сваи. По достижении сваей проектной отметки через полость в армирующем элементе в забой сваи закачивается цементный раствор. Смесь тампонирует затрубное пространство между металлической колонной и грунтовым массивом, а в верхней части сваи – между металлической колонной и телом фундамента. После проведения работ по опрессовке такие сваи приобретают неровную боковую поверхность [1].

2 Цель работы и постановка задач

Для обеспечения длительной сохранности и восприятия проектных нагрузок реконструируемых исторических корпусов на объекте культурного наследия Санкт-Петербурга Новая Голландия необходимо выполнить комплексное усиление фундаментов. Для дальнейшей консервации исторических конструкций предполагается устройство наклонных свай через тело ленточных кирпично-бутовых фундаментов [2].

Для определения несущей способности буроинъекционных свай были рассмотрены результаты статического зондирования. С учетом требований конструктивной расстановки и устройства минимального количества свай их расчетная нагрузка должна составлять 45 тс. В этом случае, по результатам статического зондирования, длина сваи должна составлять не менее 29 м от дневной поверхности. При таком условии несущим слоем свайного основания является слой недислоцированных твердых глин венда. В результате проведенного анализа было доказано, что приведенная расчетная нагрузка 45 тс для сваи длиной 29 м от дневной поверхности является минимальной оценкой. В среднем по четырем точкам статического зондирования для данной глубины расчетная нагрузка сваи может быть оценена в 55 тс [3].

Для подтверждения проектных решений были выполнены контрольные испытания на опытных площадках. Целесообразно отметить, что полевые испытания одиночных наклонных свай не достаточно информативны, поэтому в рассматриваемом случае проводилось определение фактической несущей способности на вертикальную нагрузку при помощи двух кустов из четырех свай с железобетонным высоким ростверком. Поскольку особенностью наклонных буроинъекционных свай является функция внутреннего армирования сваи, которая до сих пор недостаточно изучена, в процессе испытания свай вертикальной вдавливающей нагрузкой было проведено измерение напряжений для определения изгибающих моментов в трубах стволов свай.

Перед проведением экспериментов были поставлены следующие задачи:

1. Определить несущую способность свай усиления в грунтовых условиях данной строительной площадки без включения в работу фундамента на естественном основании (ростверка). По нормативному расчету [4], расчетная нагрузка для данного вида свай составляет 41,8 тс.

2. Определить изгибающие моменты в металлических трубах армирования свай при нагрузке.

3. Выявить отличия в работе и несущей способности свай, в зависимости от использованной стали армирования (при сохранении единого диаметра трубы), а также способа бурения скважин, с целью определения наиболее экономически выгодного способа производства свай.

Испытываемая модель (рис. 1) состояла из:

• Четырех буроинъекционных наклонных свай длиной 30 м и проектным диаметром 180 мм с армированной центральной трубой ∅114×7 мм (ростверк Рм2 – ∅114×5 мм). Угол наклона свай к вертикали – 10°. Для проведения измерений напряжений в металлических трубах защитный слой бетона свай непосредственно под ростверком был удален.

• Железобетонного высокого ростверка размером 2200×1000×1000 мм.

Для выявления отличий в работе и несущей способности свай, в зависимости от применяемой стали армирования, а также от способа бурения скважин, внесены изменения в конструкцию свай ростверка Рм-2 (табл. 1).

3 Сведения о грунтовых условиях опытной площадки

Инженерно-геологические условия площадки сложные, с прочными отложениями только на глубине более 21 м. В основании фундаментов расположены насыпные грунты, представленные песками разного состава со строительным мусором, а также супеси пылеватые, пластичные, с прослоями, слабозаторфованные. Ниже, до глубины в среднем 11 м, распространены послеледниковые отложения, представленные супесями пылеватыми, песками пылеватыми и суглинками пы-

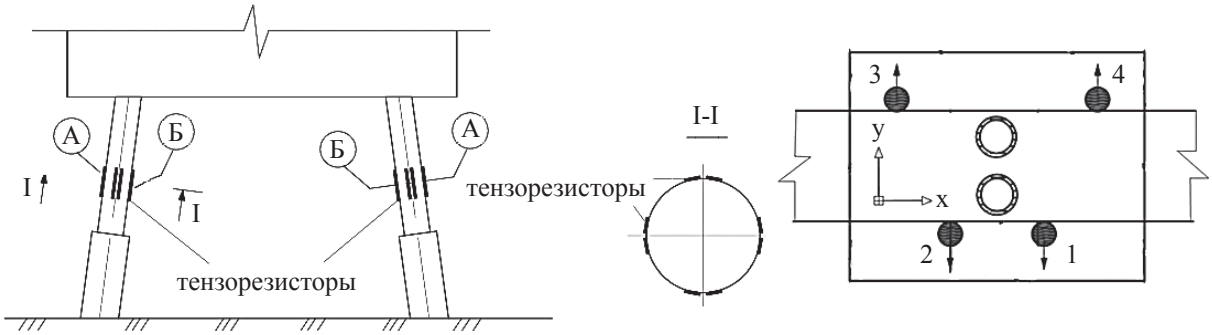


Рис. 1. Схема расположения датчиков (тензорезисторов) для измерения напряжений в сваях и план ростверка с испытуемыми сваями (стрелка указывает наклон сваи)

ТАБЛИЦА 1. Различия в характеристиках свай ростверков Рм-1 и Рм-2

		Ростверк Рм-1	Ростверк Рм-2
Характеристики стальной трубы армирования	марка стали	45	20
	временное сопротивление разрыву [кгс/мм^2]	67	41
	предел текучести [кгс/мм^2]	39	25
	толщина стенки [мм]	7	5
Метод бурения скважины		лопастным долотом с промывкой бентонитовым раствором	лопастным долотом с промывкой водой

леватыми. Под ними залегают неоднородные тиксотропные суглинки озерно-ледникового происхождения, отличающиеся невысокими прочностными показателями и низкой несущей способностью. Общая мощность этих слоев составляет в среднем 9,5 м. Тиксотропные грунты повсеместно подстилаются суглинками пылеватыми тугопластичной консистенции, с гравием и галькой, вскрытыми на глубине 15,0–22,4 м. Отложения четвертичного возраста залегают на коренных породах венда, кровля которых вскрыта на глубине 21,1–29,0 м. Коренные отложения представлены глинами легкими, твердыми, пылеватыми, которые являются несущим слоем для свай усиления (рис. 2).

4 Методика проведения испытаний

Испытания грунтов буроинъекционными сваями в составе свайного ростверка вертикальной статической вдавливающей нагрузкой выполнялись в соответствии с ГОСТ 5686–94, СНиП 2.02.03–85 и ТСН 50-302–2004. Вертикальная нагрузка при испытании свай создавалась при помощи двух гидравлических домкратов грузоподъемностью по 180 тонн. Измерение величины вертикального и горизонтального перемещения фрагмента свайного ростверка от нагрузки проводилось шестью прогибомерами ПАО-6 с ценой деления 0,01 мм. Нагружение ростверка производилось ступенями. При проведении испытания первые три ступени нагружения были равными 400 кН, последние – 250 кН. [3].

Измерения при помощи тензорезисторов проводилось следующим образом. До проведения полевых испытаний в условиях испытательной лаборатории была произведена градуировка тензорезисторов для определения цены деления шкалы измерителя деформации прибора ИДЦ 1. Датчики устанавливались попарно (рис. 1) во взаимно перпендикулярных плоскостях, на расстоянии 100 мм от нижней грани ростверка. Установление датчиков попарно обеспечивает усреднение значения параллельных датчиков, тем самым уменьшая погрешность измерений. Кроме того, в случае выхода из строя одного из датчиков исключается потеря информации. Измерения деформаций для определения изгибающих моментов в трубах стволов наклонных свай проводились при наступлении условной стабилизации осадок на каждой ступени нагружения или разгрузки.

5 Результаты статического испытания свай и измерения деформаций в стальных трубах

По результатам статических испытаний вертикальной вдавливающей нагрузкой для 4-х наклонных буроинъекционных свай, объ-

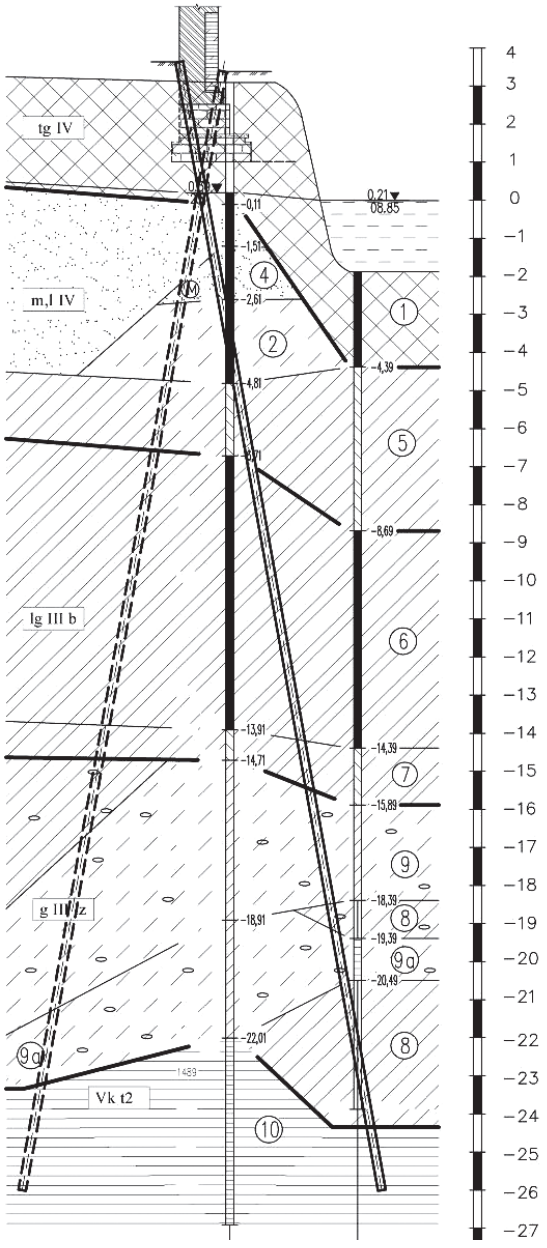


Рис. 2. Общая схема решения усиления ленточного фундамента буроинъекционными наклонными сваями по козловой системе в инженерно-геологических условиях площадки

единенных в свайный ростверк, несущая способность по грунту составляет: испытание № 1 (Рм-1) – 269 тонн; испытание № 2 (Рм-2) – 184 тонны.

В конечной стадии нагружения отмечены постепенное увеличение осадок на каждой ступени нагрузки, а также горизонтальные перемещения. Так как после общей потери устойчивости ростверка принято решение о переходе к стадии разгрузки, в графиках вертикальных перемещений резкое увеличение осадки в конечной стадии нагружения (типичное для вертикальных свай) не отражается.

Измерения деформаций в трубах стволов наклонных свай проводились при наступлении условной стабилизации осадок на каждой ступени нагружения или разгрузки.

Расчеты внутренних усилий в стальных трубах (табл. 2) производились в упругой стадии. Предельная упругая нагрузка определялась для каждой сваи по наименьшему значению (из четырех точек сечения) нагрузки на ростверк, при которой сохранялась зависимость между нагрузкой и относительной деформацией, близкой к линейной.

Изгибающие моменты Мх, действующие в плоскости «У» (рис. 1), вызывали сжатие в большинстве случаев в точках с положительными координатами «У».

Изгибающие моменты Му, действующие в плоскости «Х» (рис. 1), вызывали сжатие в точках с положительными координатами «Х».

На графиках (рис. 3 и 4) представлено развитие осадок и напряжений в трубах аналогичных свай ростверков Рм-1 и Рм-2.

Рассмотрим график Рм-1 (рис. 3), где плавный рост отрицательных напряжений как в точке снаружи ростверка (А), так и в точке под ростверком (Б) совпадает с постепенным развитием осадки сваи. До максимальной нагрузки 294 тс в материале трубы сохраняется упругая работа. Даже в конечной стадии нагружения резкий рост осадки не осуществляется.

В отличие от графика на рис. 3 аналогичный график Рм-2 (рис. 4) отражает, во-первых, переход к пластической деформации в материале трубы. Во-вторых, в диапазоне нагрузок, при которых имеется пластическая деформация, резко увеличивается осадка сваи и, следовательно, наступает потеря несущей способности сваи. Несмотря на тот факт, что развитие пластической деформации в трубе армирования при проектной нагрузке является недопустимым явлением, спорным

ТАБЛИЦА 2. Внутренние усилия в сечениях труб свай при максимальной нагрузке упругой работы

	Номера свай ростверка Рм-1				Номера свай ростверка Рм-2			
	1	2	3	4	1	2	3	4
N, продольная сила (т)	–36,8	–32,1	–43,5	–41,7	24,6	–30,3	–23,7	–24,6
Mx, момент в оси X (т*см)	–53,7	–142,4	–41,7	–50,86	56,1	–107,1	–27,95	–56,12
My, момент в оси Y (т*см)	–7,6	–54,26	–24,26	–68,9	51,39	14,69	–44,46	–51,41
Нагрузка на ростверк (т)	244	294	219	294	154	184	116	154
Правило знаков: +N – растяжение +Mx – растяжение в точках с координатами +y +My – растяжение в точках с координатами +x								

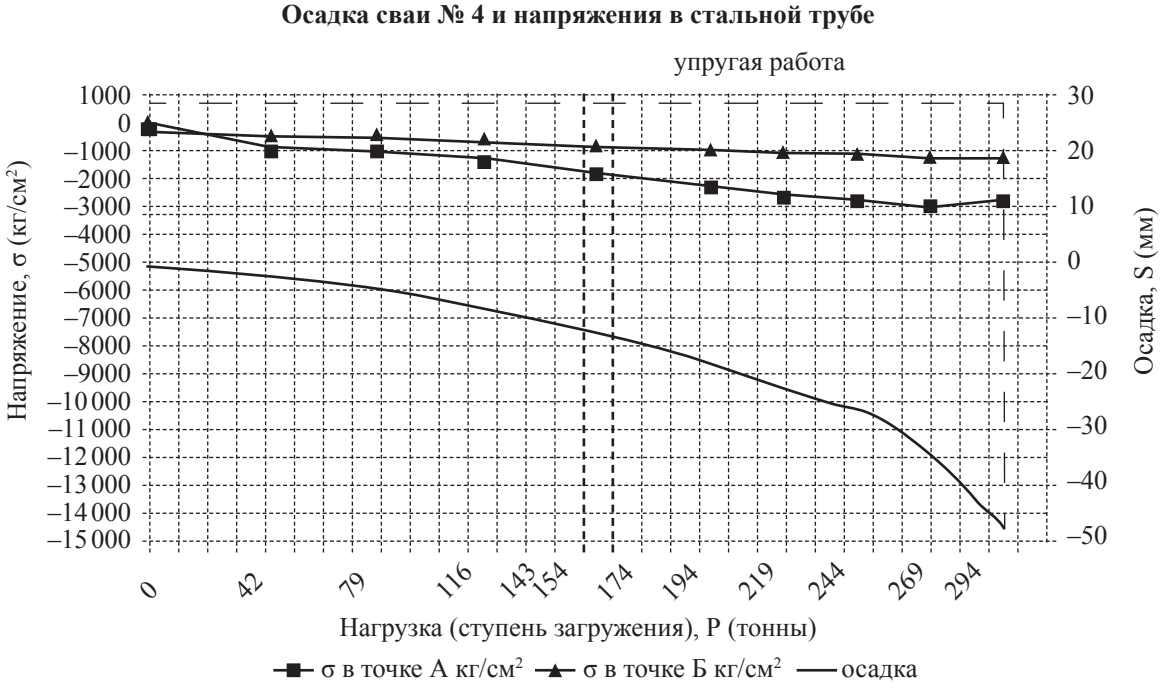


Рис. 3. Ростверк Рм-1. Сравнительный график осадки сваи и напряжений в стальной трубе в точках с координатами «X»

вопросом остается оценка причин развития осадки сваи и потери несущей способности при нагрузке значительно меньше, чем для сваи, подготовленной строго по первоначальному проектному решению. К числу возможных причин следует отнести недостаточную несущую способность сваи, возникающую, вероятно, по боковой поверхности из-за неправильного заполнения затрубного пространства цементным раствором (буре-

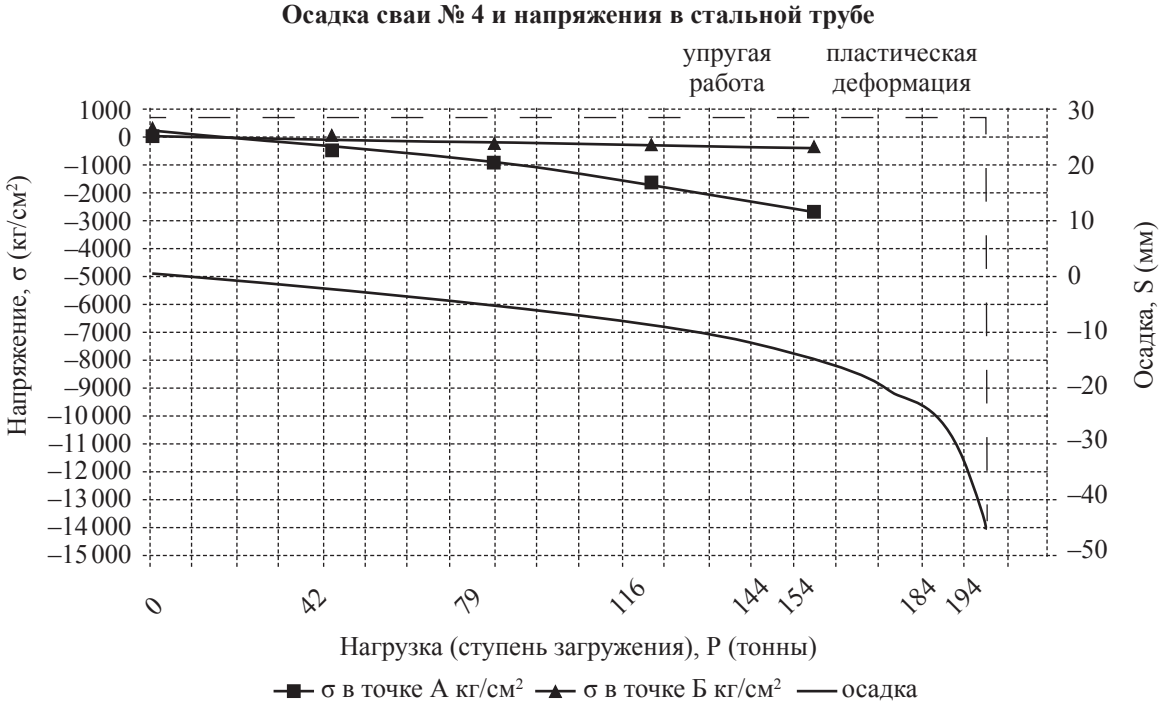


Рис. 4. Ростверк Рм-2. Сравнительный график осадки сваи и напряжений в стальной трубе в точках с координатами «Х»

ние скважины с промывкой водой), а также деформации самих стальных труб из-за продольной силы и возникающих моментов.

Если рассматривать результаты измерений по датчикам, у которых пластические деформации образовались при наименьшем значении нагрузки на ростверк, и за критерии оценки работоспособности свай принять границу упругой работы, можно получить критическую нагрузку на сваю: испытание № 1 (Рм-1) – 54,8 тонны; испытание № 2 (Рм-2) – 29 тонн.

Заключение

1. Результаты проведенных экспериментов позволяют сделать вывод, что стальные трубы свай ∅114×7 работают достаточно надежно в пределах максимальных нагрузок, приложенных к ростверкам при испытаниях.

2. Сравнение результатов испытаний двух ростверков Рм-1 и Рм-2 показывает, что даже незначительные отклонения от проектных решений сильно влияют на несущую способность наклонных буроинъекционных свай. Имеется значительное снижение несущей способности свай ростверка Рм-2 на 31% в сравнении с Рм-1.

3. Расчетная нагрузка, полученная при испытаниях статической нагрузкой, на 28% выше, чем расчетная нагрузка по нормативному расчету СП, что подтверждает, что в этом случае нормативный расчет значительно занижает несущую способность свай.

4. Измерения по датчикам деформации в стальных трубах дают наиболее низкие показатели по несущей способности. Это является предпосылкой для рассмотрения усилия в армирующих элементах как критичного воздействия в системе «основание–фундамент». Следовательно целесообразно провести дальнейшие научные исследования для изучения работы по армированию буроинъекционных наклонных свай.

Библиографический список

1. **Геотехническое** сопровождение реконструкции городов (обследование, расчеты,

ведение работ, мониторинг) / В. М. Улицкий, А. Г. Шашкин. – Москва : Издательство АСВ, 1999. – 327 с., ил.

2. **Геотехническое** обоснование вариантов приспособления объекта культурного наследия «Новая Голландия» для современного использования. Том 2. Общий расчет реконструируемых корпусов № 12 и № 12а (включая разработку численных моделей системы «реконструируемое здание – фундамент – основание – набережная»). 01-2011-98-ГР, ООО «ПИ Георекострукция». – Санкт-Петербург, 2012.

3. **Технический** отчет о результатах испытаний грунтов наклонными буроинъекционными сваями в составе свайного ростверка Рм-1 вертикальной статической вдавливающей нагрузкой на объекте строительства по адресу: Адмиралтейский район, наб. Адмиралтейского канала, д. 2, лит. И, «Новая Голландия», Корп. 12–12а. ОП ООО ФПГ «РОССТРО»-«ПКТИ». – Санкт-Петербург, 2012.

4. **СП 24.13330.2011** Свайные фундаменты. Актуализированная редакция. – Москва, 2011.

5. **Отчет** по результатам измерения напряжений для определения изгибающих моментов в трубах стволов наклонных свай опытного фрагмента свайного фундамента в процессе испытания конструкций вертикальной вдавливающей нагрузкой по адресу: СПб, наб. Адмиралтейского канала, дом № 2, лит. И, «Новая Голландия», Корпус 12–12а. ЗАО «ЭРКОН». – Санкт-Петербург, 2012.

6. **Программа** испытаний статической вертикальной нагрузкой грунтов по адресу: СПб, наб. Адмиралтейского канала, дом № 2, лит. И, «Новая Голландия», Корпус 12–12а. ОП ООО ФПГ «РОССТРО»-«ПКТИ». – Санкт-Петербург, 2012.

UDK 004.056

M. A. Polyanichko, A. A. Kornienko
Petersburg State Transport University

METHOD FOR AUTOMATED DETECTION OF CONFLICTS IN INFORMATION SECURITY COMPLEX*

This paper describes a method for automatic detection of conflicts in complex of information security software, based on the analysis of system performance, finding the conflicts in configuration files, registry keys, and dynamic libraries assessment. Models of conflicting objects of computer system and a method for calculation of a composite indicator value of performance decreasing, based on linguistic rules and discriminant function, are introduced.

information security software, conflict detection.

Introduction

Most modern computer applications have high demands on resources. This particularly applies to the information security software as it interacts intensively with many hardware and software components of computer system and use them during the complex system checks and other operations. Despite the fact that developers are constantly improving the process of interaction between information security software and computer system, as well as other software, the need for system resources continues to increase due to the increased complexity and the increasing number of malicious software [1], [2].

* При поддержке гранта РФФИ 13-07-13105-офи-м-РЖД.

1 Model of conflict interaction

Three models of conflict interaction between computer system and information security software are introduced in this paper (Table):

1. Dynamic Link LibraryDLL.
2. Registry keys of operation system.
3. Configuration files.

System performance decreasing is detected using analysis of ratio set, which is most sensitive for changes of measured resource state. In this paper processor, RAM and hard drive are analyzed [3]. The second step of this procedure forms logical rules, describing potential conditions for a conflict. First logical function (1) describes potential conflict of configuration files. Configuration files are used for storing software parameters. Program paths are often stored in these files [4]. For several programs, working with the same directories, a conflict may occur because of simultaneous interaction with resources or it can affect data integrity.

TABLE. Models of conflicting object

Set	Description
$SZI = \{func_1, \ldots, func_n\}$	$func_i$ – function called from security program
$DLL = \{func_1, \ldots, func_n, size, dest\}$	$func_i$ – storedfunctioncalled from security program
	size – library size
	dest – library destination
$func = \{name, param_1, \ldots, param_n, rettype\}$	$param_i$ – parameters, passed to function
	name – function name
	rettype – return type.
$Param = \{name, type\}$	*name* – parameter name
	type – parameter type
$Type = \{type_1, \ldots, type_n\}$	$type_i$ – type name
$SZI_{DLL} = \{dll_1, \ldots, dll_n\}$	SZI_{REG_i} – registry keys used by security program
	dll – library description
$dll = \{path, name, size, date\}$	*path* – library path
	name – library name
	size – library size
	date – library creation date
$OS_{REG} = \{SZI_{REG_1}, \ldots, SZI_{REG_n}\}$	SZI_{REG_i} – reg key stored in OS
	OS_{REG} – security programs that uses registry
$SZI_{REG} = \{regkey_1, \ldots, regkey_n\}$	SZI_{REG_i} – registry keys used by security program
	regkey – registry key
$regkey = \{path, name, type, data\}$	*path* – key path
	name – key name
	type – key type
	data – key data

For Table continuation see next page

Set	Description
$OS_{INI} = \{SZI_{INI_1}, \ldots, SZI_{INI_n}\}$	SZI_{INI_i} – configuration files, used by security program
	OS_{INI} – all security programs, that use configuration files
$SZI_{INI} = \{section_1, \ldots, section_n\}$	SZI_{INI_i} – configuration file, used by security program
	$section_i$ – section of configuration file
$section = \{name, var_1, \ldots, var_n\}$	var_i – variable in section
$var = \{name, key\}$	*name* – variable name
	key – variable describing key
$key = \{value, type\}$	*value* – variable value
	type – variable type
$type \in \{int, float, string, path, boolean\}$	*int* – integer variable
	float – float variable
	string – string variable
	path – destination variable
	boolean – logical variable

$$IniConflict = \begin{cases} \psi_1, \forall i,j,k \nexists l,n,m: (SZI_{INI_i} \subset OS_{INI} \wedge section_j \subset SZI_{INI_i} \wedge var_k \subset \\ \quad \subset section_j) \equiv \left(SZI_{INI_l} \subset OS_{INI} \wedge section_n \subset SZI_{INI_l} \wedge var_m \subset sect \right. \\ \psi_2, \forall i,j,k,z \exists l,n,m,q: \\ \quad (SZI_{INI_i} \subset OS_{INI} \wedge section_j \subset SZI_{INI_i} \wedge var_k \subset section_j \wedge key_z \subset v \\ \quad = SZI_{INI_l} \subset OS_{INI} \wedge section_n \subset SZI_{INI_l} \wedge var_m \subset section_n \wedge \\ \quad \wedge key_q \subset var_m) \wedge \left(key_z \subset var_k = path \vee key_q \subset var_m = path\right). \end{cases} \quad (1)$$

Logical function for dynamic libraries conflicts (2) describes situations, when the function exists in a program, but is missing in a library, or when parameters or return value of called function are differ from those in a library.

$$DLLConflict = \begin{cases} \psi_1, \forall i \exists j: func_i \subset SZI_{func} \equiv func_j \subset DLL; \\ \psi_2, \exists i,j: (func_i \subset SZI_{func} \wedge rettype \in func_i \neq func_j \subset DLL \wedge \\ \quad \wedge rettype \in func_j) \wedge (func_i \subset SZI_{func} \wedge name \in func_i = \\ \quad = func_j \subset DLL \wedge name \in func_j); \\ \psi_3, \exists i,j,k: (func_i \subset SZI_{func} \wedge param_k \in func_i \neq \\ \quad \neq func_j \subset DLL \wedge param_k \in func_j) \wedge (func_i \subset SZI_{func} \wedge \\ \quad \wedge name \in func_i = name \in func_j \wedge func_j \subset DLL); \\ \psi_4, \exists i,j: func_i \subset SZI_{func} \wedge func_j \not\subset DLL. \end{cases} \quad (2)$$

Conflict in interaction with the operating system registry keys occurs if several programs uses the same keys (3).

$$RegConflict = \begin{cases} \psi_1, \forall i,j \nexists l,k: (SZI_{REG_i} \subset OS_{REG} \wedge regkey_j \subset SZI_{REG_i}) \equiv \\ \quad \equiv (SZI_{REG_k} \subset OS_{REG} \wedge regkey_l \subset SZI_{REG_k}); \\ \psi_2, \forall i,j \exists l,k: (SZI_{REG_i} \subset OS_{REG} \wedge regkey_j \subset SZI_{REG_i} \wedge path \in regkey_j \\ \quad = SZI_{REG_k} \subset OS_{REG} \wedge regkey_l \subset SZI_{REG_k} \wedge path \in regkey_l) \wedge \\ \quad \wedge (SZI_{REG_i} \subset OS_{REG} \wedge regkey_j \subset SZI_{REG_i} \wedge name \in regkey_j = \\ \quad = SZI_{REG_k} \subset OS_{REG} \wedge regkey_l \subset SZI_{REG_k} \wedge name \in regkey_l) \wedge \\ \quad \wedge (SZI_{REG_i} \subset OS_{REG} \wedge regkey_j \subset SZI_{REG_i} \wedge data \in regkey_j = \\ \quad = SZI_{REG_k} \subset OS_{REG} \wedge regkey_l \subset SZI_{REG_k} \wedge data \in regkey_l); \\ \psi_3, \forall i,j \exists l,k: (SZI_{REG_i} \subset OS_{REG} \wedge regkey_j \subset SZI_{REG_i} \wedge path \in regkey_j \\ \quad = SZI_{REG_k} \subset OS_{REG} \wedge regkey_l \subset SZI_{REG_k} \wedge path \in regkey_l) \wedge \\ \quad \wedge (SZI_{REG_i} \subset OS_{REG} \wedge regkey_j \subset SZI_{REG_i} \wedge name \in regkey_j = \\ \quad = SZI_{REG_k} \subset OS_{REG} \wedge regkey_l \subset SZI_{REG_k} \wedge name \in regkey_l) \wedge \\ \quad \wedge (SZI_{REG_i} \subset OS_{REG} \wedge regkey_j \subset SZI_{REG_i} \wedge data \in regkey_j \neq \\ \quad = SZI_{REG_k} \subset OS_{REG} \wedge regkey_l \subset SZI_{REG_k} \wedge data \in regkey_l). \end{cases} \quad (3)$$

2 Linguistic rules

For calculation of the composite indicator value of performance decreasing, fuzzy sets and linguistic variables are used, following the applying of linguistic rules [5]. Figure 1 shows a graph of the indicators of "Processor time", which which consists of four terms:

$$\beta, T, X, G, M, \quad (4)$$

where β = «proct»-linguistic variable name; T = {«Low», «Normal», «High», «Critical»} – basic terms; X = [0,100]; G = {∅} – procedure for generating new terms; M = {"Low" = = $L(x,25,37.5)$; "Normal" = $\pi(x,25,50)$; "High" = = $(x,50,75)$; "Critical" = $S(x,75,87.5,100)$}.

The rule base, sometimes called a linguistic model, is used to form outcome variables based on the input, consists of a set of fuzzy rules $R(k)$, $k = 1,\ldots, N$, where:

$$R^{(k)}: \mathbf{IF}\left(x_1 isA_1^k \mathbf{AND} x_2 isA_2^k \ldots \mathbf{AND} x_n isA_n^k\right) \mathbf{THEN}\left(y_1 isy_1^k \mathbf{AND} y_2 isy_2^k \ldots \mathbf{AND} y_m isB_m^k\right), \quad (5)$$

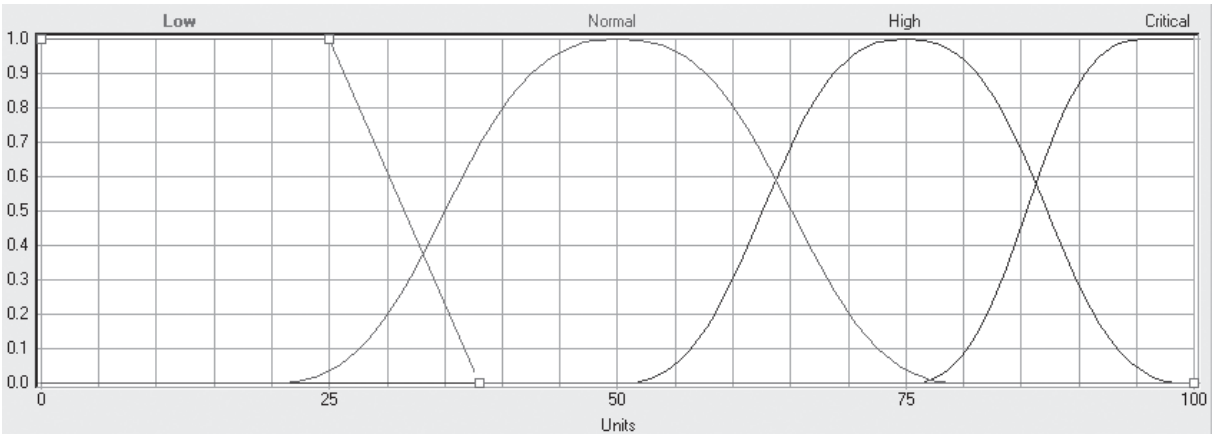


Fig. 1. «Processor time» indicator

where N – number of fuzzy rules; A_i^k – fuzzy sets $A_i^k \subseteq X_i \subset R, i = 1,\ldots,n$; B_i^k – fuzzy sets $B_i^k \subseteq Y_i \subset R, j = 1,\ldots,m$; x_1, x_2, …, x_n – input variables; $(x_1, x_2, \ldots, x_n)^T = x \in X_1 \times X_2 \times \times \ldots \times X_n$; y_1, y_2, …, y_n – output variables; $(y_1, y_2, \ldots, y_m)^T = y \in Y_1 \times Y_2 \times \ldots \times Y_m$.

Figure 2 shows an example of fuzzy inference scheme, the result of which is the vector Λ, representing system state. Further analysis of this vector displays the presence of conflict interaction in computer system security complex.

During the last step of the procedure the classification of the state vector is performed. It is a good practice to use the discriminant analysis for determination of the type of conflict interaction. Discriminant analysis step is divided into two stages. At the first stage it is necessary to identify and formally describe the differences between the observed objects, on the second stage the new objects are classified and assigned to one of the several groups. Signs, used to distinguish one subset from another, are called discriminant variables.

For differentiation of conflict states discriminant functions are used:

$$f_i(X) = a_{0i} + a_{1i}x_1 + a_{2i}x_2 + \ldots + a_{mi}x_m. \quad (6)$$

Discriminant function coefficients (a_i) are determined so that $f_i(X)$ are separate as much as possible.

Vector of the function coefficients a_{ij} ($j = \overline{0,m}$) is calculated using the following formula:

$$a_{ij} = \overline{X}_i \cdot S_*^{-1}. \quad (7)$$

Constant term:

$$a_{0i} = -\frac{1}{2}\overline{X}_i \cdot S_*^{-1}\overline{X}_i. \quad (8)$$

The discriminant function for each object are calculated by substituting the obtained values of the coefficients to the formula (7). The boundary that separates the set is called the discrimination constant and its value equidistant from the averages of functions [6]. For example:

$$c = \frac{1}{2}\left(\overline{f}_2 - \overline{f}_2\right). \quad (9)$$

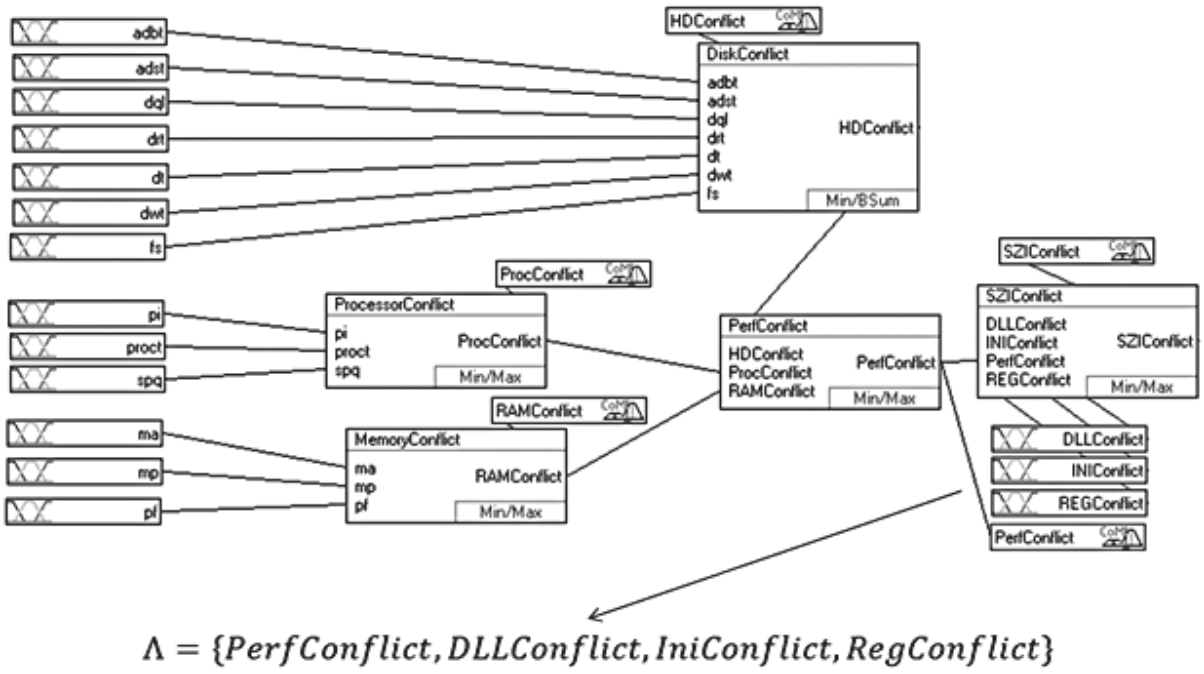


Fig. 2. Fuzzy inference scheme

Conflict state with variable $Y_1 = PerfConflict$, $Y_2 = DLLConflict$, $Y_3 = IniConflict$, $Y_4 = RegConflict$ will be attributed to the variety of M_i, for which the value $f_i = c_i + a_{1i}Y_1 + a_{2i}Y_2 + a_{3i}Y_3 + a_{4i}Y_4$ will be maximum.

Conclusion

Application of conflict detection method will improve the efficiency of system administration and will reduce the time, required for detection of conflict interaction existence. A rough estimate of the time, required to find the conflict, shows that the application of the proposed method can save up to 30 % of the time, by providing a clear indication of the conflict.

Referenses

1. **Zaitsev**, O. V. *Adaptive configuration of conflicting applications*. US Patent 7925874 B1, November 30, 2010.

2. **Ding**, Y., Guo, X., Su, H., Wang, Z., Zhao, S. *Method and system for avoidance of software conflict.* US Patent 20070180441 A1, December 22, 2006.

3. **Mcmillan**, J. J., Chirhart, G. D. *Method and system of managing software conflicts in computer system that receive, processing change information to determine which files and shared resources conflict with one another.* US Patent 7028019 B2, November 11, 1998.

4. ***Introduction*** *to Monitoring Performance Thresholds*, available at: http://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/bd20x32d (v=vs.90).aspx

5. **Rutkovskaya**, D., Pilinskiy, M., Rutkovskiy, L. (2006). Neural networks, generic algorithms and fuzzy systems. Trans. from Pol. [*Neyronnyye seti, geneticheskiye algoritmy i nechetkiye sistemy*], Moscow, 452 p.

6. **Lectures** – Mathematical statistics. Applied mathematics chapters [*Lektsii – Matematicheskaya statistika. Spetsialnyye glavy prikladnoy matematiki*], available at: http://gendocs.ru/v25963/?cc=2

СОЦИАЛЬНО–ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

УДК 347.214.2:656

С. В. Коланьков
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕНЫ РЕВЕРСИИ ПРИ ОЦЕНКЕ РЫНОЧНОЙ СТОИМОСТИ НЕДВИЖИМОСТИ

Рассмотрены методы оценки реверсии при определении рыночной стоимости объектов недвижимости, уточнена область их применения. Также показана необходимость применения для оценки реверсии всех известных подходов: сравнительного, затратного, доходного. В ходе исследования доказано, что при применении пропорционального метода оценки реверсии (в долях от оцениваемой рыночной стоимости недвижимости) необходимо осуществлять контроль получаемого результата из-за возможности возникновения абсурдной ситуации. Дана математическая интерпретация области применения пропорционального метода оценки реверсии.

доходный подход к оценке недвижимости, чистый операционный доход, капитализация дохода, реверсия, модель Гордона.

Введение

Законодательство Российской Федерации [1] установило, что одним из подходов к оценке рыночной стоимости недвижимости является доходный подход, включающий четыре метода [2]. В двух из них: методе дисконтирования денежного потока (ДДП) и ипотечно-инвестиционного анализа (ИИА) – требуется прогнозирование вероятной цены продажи объекта оценки в конце расчетного периода – реверсии (Rev). Учет данного ценообразующего показателя существенно важен в случае, если прогнозируется, что к концу расчетного периода объект не утратит своей ценности, т. е. сохранит свою стоимость хотя бы частично, а также что риск его реализации на рынке в конце расчетного периода не будет слишком большим. Последнее важно в связи с тем, что использование достаточно больших норм дисконта при дисконтировании к текущему моменту времени – дате оценки – ведет к получению ничтожных значений приведенных показателей, существенно не влияющих на итоговый результат оценки недвижимости. В практике оценочной деятельности используются три способа определения величины Rev, однако в современных публикациях [3], [6], [7] отсутствует ряд важных методических положений.

1 Метод экспертной оценки

Данный метод оценки цены продажи объекта в конце расчетного периода основан на опросе специалистов рынка недвижимости, основывающих свои мнения на знаниях рыночных тенденций, мнениях коллег, аналитических материалах, публикуемых в специализированных изданиях.

Данный способ обладает низкой надежностью из-за неопределенности ситуации на рынке в достаточно длительной перспективе (5–10 лет и более). Кроме того, опросить в

короткие сроки, определяемые договором на оценку, значительное число экспертов на практике не представляется возможным. Следовательно, как правило, нет возможности создать достаточно большой массив экспертных оценок величины Rev, позволяющий взаимно исключить ошибки различных экспертов, а использовать оценки, полученные относительно других объектов, зачастую необоснованно из-за индивидуальности рынка.

Поскольку такой прогноз обладает меньшей степенью достоверности, по сравнению с оценкой текущей стоимости и влияющих на нее ценообразующих факторов, целесообразно при дисконтировании Rev использовать повышенную норму дисконта [4], [5]. На практике величину превышения этой нормы дисконта обосновать достоверно, как правило, не представляется возможным [8], поэтому нами рекомендуется в этих целях применять интервальный метод расчета (метод граничных оценок). Его суть заключается в определении наиболее вероятных минимального и максимального значений нормы дисконта для цены предполагаемой продажи объекта. Однако если применить этот же метод для оценки значения нормы дисконта, использующейся для приведения остальных элементов денежного потока, то в результате будут получены 4 значения рыночной стоимости объекта (табл.). Это может затруднить согласование окончательного результата оценки в случае, если выполненные расчеты будут существенно различаться.

2 Метод прямой капитализации

Данный метод основан на капитализации постпрогнозных чистых операционных доходов ($ЧОД_{пост}$).

Здесь возможны несколько вариантов расчета Rev (рис. 1). Во-первых, в случае когда объект оценки на дату окончания расчетного периода не обременен кредитом: либо он приобретался без использования заемных средств (Кр = 0), либо их погашение уже было завершено ($Т_{кр} \le Т_{расч}$). Во-вторых, в случае когда на дату завершения расчетного периода остается непогашенный остаток кредита (Кр ≠ 0) или, другими словами, погашение кредита завершается после окончания расчетного периода ($Т_{кр} > Т_{расч}$). В первом случае предполагаемая цена продажи объекта равна капитализированной величине постпрогнозных ЧОД при условии, что коэффициент капитализации равен норме дисконта для постпрогнозного периода ($E_{пост}$):

$$\text{Re}v = \text{ЧОД}_{\text{пост}} / E_{\text{пост}}, \qquad (1)$$

где $ЧОД_{пост}$ – годовая величина ЧОД в первый год постпрогнозного периода, руб./год.

Во втором случае величина Rev должна быть уменьшена на дисконтированную к дате окончания прогнозного периода величину

ТАБЛИЦА. Варианты итога расчета рыночной стоимости недвижимости в зависимости от использованных норм дисконта

		Rev	
		E_{1min}	E_{1max}
Иные элементы денежного потока	E_{2min}	C_1	C_3
	E_{2max}	C_2	C_4

Примечания: E_{1min}, E_{1max}, E_{2min}, E_{2max}, – минимальные и максимальные значения норм дисконта, используемые для дисконтирования соответственно Rev и иных элементов денежного потока; C_1, C_2, C_3, C_4 – значения рыночной стоимости недвижимости, полученные при различных нормах дисконта.

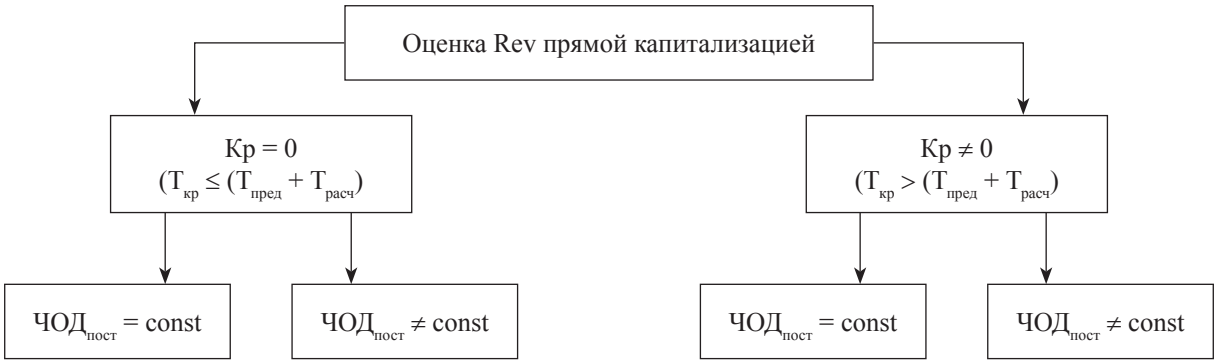


Рис. 1. Способы оценки Rev прямой капитализацией постпрогнозных ЧОД:
$Т_{кр}$ – продолжительность кредитного соглашения, годы;
$Т_{пред}$ – период, прошедший от даты выдачи кредита до даты начала расчетного периода, годы;
$Т_{расч}$ – продолжительность расчетного периода, годы

ежегодных платежей по погашению кредита. Тогда формула (1) примет вид:

$$\mathrm{Re}v = \mathrm{ЧОД}_{\mathrm{ПОСТ}} / E_{\mathrm{ПОСТ}} - \mathrm{PMT} \cdot \mathrm{K}_{\Phi 5}, \quad (2)$$

где PMT – ежегодный платеж по погашению кредита, руб./год; $К_{ф5}$ – множитель пятой функции сложных процентов (PV/PMT), рассчитываемый при $E_{пост}$ и сроке $Т_{ок}$, равном продолжительности в годах от даты окончания расчетного периода до даты завершения погашения кредита.

Данный срок может быть определен как:

$$T_{\mathrm{ОК}} = T_{\mathrm{КР}} - \left(T_{\mathrm{ПРЕД}} + T_{\mathrm{РАСЧ}}\right), \quad (3)$$

где $Т_{ок}$ – срок окончательного погашения кредита после завершения расчетного периода, годы.

Поскольку текущая стоимость ЧОД оценивается при ежегодном дисконтировании, то и текущая стоимость PMT также должна оцениваться путем их приведения на годовой основе. Данное положение введено для обеспечения сопоставимости результатов капитализации ЧОД и PMT.

В каждом из названных случаев может предусматриваться неизменность ЧОД в течение постпрогнозного периода или, наоборот, его изменение с постоянным темпом.

Приведенные выше выражения (1), (2) используются в случае, если планируется неизменность чистого операционного дохода.

В случае, если выдвигается обоснованное предположение о вероятном регулярном изменении чистого операционного дохода в течение постпрогнозного периода, может быть применена модель Гордона, при которой знаменатель формул (1), (2) уменьшается на величину p, характеризующую темп изменения (увеличения или уменьшения) $ЧОД_{пост}$. Так, например, по модели Гордона формула (1) примет вид:

$$\mathrm{Re}v = \frac{\mathrm{ЧОД}_{\mathrm{пост}}}{E - p}, \quad (4)$$

где p – прогнозируемый темп изменения ЧОД в постпрогнозный период, %/год.

Для применения модели Гордона необходимо выполнение следующих ограничений: постоянство темпов изменения ЧОД по годам постпрогнозного периода, условие непревышения этих темпов по сравнению со ставкой дисконта ($E > p$) в случае прогнозирования роста доходов в постпрогнозный период, а также отсутствие равенства ставки дисконта и темпов изменения ЧОД:

$$E \ne p. \quad (5)$$

3 Пропорциональный метод

Данным методом цена продажи объекта в конце расчетного периода определяется в

долях от оцениваемой рыночной стоимости недвижимости. Например, если предполагается, что в течение расчетного периода стоимость объекта увеличится по сравнению с сегодняшней стоимостью на 25 %, то цена продажи представляется как:

$$\mathrm{Re}\,v = (1+\Delta)\cdot \mathrm{C}_{\text{ДП}} = 1,25\cdot \mathrm{C}_{\text{ДП}}, \qquad (6)$$

где $\mathrm{C}_{\text{дп}}$ – оцениваемая доходным подходом рыночная стоимость объекта, руб.; Δ – прогнозируемое изменение цены объекта в течение расчетного периода, доли единицы.

В этом случае в расчетной формуле метода ДДП или традиционной техники ИИА будет содержаться одно неизвестное – $\mathrm{C}_{\text{дп}}$, которое дважды встречается в расчетных уравнениях. Например, формула традиционной техники ИИА для случая, когда на дату завершения расчетного периода кредит еще не будет погашен [2, с. 115], будет иметь следующий вид:

$$\mathrm{C}_{\text{ДП}} = \mathrm{K}_{\Phi 5}\cdot(\text{ЧОД} - \text{РМТ}) + \\ + \mathrm{K}_{\Phi 4}\cdot\left[\mathrm{C}_{\text{ДП}}(1+\Delta) - BAL_2\right] + BAL_1, \qquad (7)$$

где $\mathrm{C}_{\text{дп}}$ – рыночная стоимость недвижимости на дату оценки, руб.; $\mathrm{K}_{\text{ф5}}$ и $\mathrm{K}_{\text{ф4}}$ – соответственно коэффициенты пятой (PV/PMT) и четвертой (PV/FV) функций сложных процентов, определяемые за прогнозный период при заданной норме дохода на собственный капитал с учетом ежегодной капитализации, доли единицы; ЧОД – чистый операционный доход от объекта, руб./год; РМТ – ежегодные платежи по погашению кредита, руб./год; BAL_2 – баланс (невыплаченный остаток) по кредиту на дату продажи, руб.; BAL_1 – то же на дату оценки, руб.

После некоторых алгебраических преобразований получаем следующее выражение для оценки рыночной стоимости объекта:

$$\mathrm{C}_{\text{ДП}} = [\mathrm{K}_{\Phi 5}\cdot(\text{ЧОД} - \text{РМТ}) - \mathrm{K}_{\Phi 4}\times \\ \times BAL_2 + BAL_1]/[1 - \mathrm{K}_{\Phi 4}(1+\Delta)]. \qquad (8)$$

Обращает на себя внимание тот факт, что параметр Δ находится в знаменателе выражения (8). Можно предположить возникновение ситуации, когда знаменатель будет равен нулю. Следовательно, функция будет иметь разрыв при некотором значении Δ, при котором знаменатель выражения (8) близок к нулю, а величина рыночной стоимости $\mathrm{C}_{\text{дп}}$ равна плюс/минус бесконечность. Указанное значение Δ можно именовать критическим значением данного параметра – $\Delta_{\text{крит}}$.

Из графика (рис. 2) видно, что критическим значением Δ можно назвать такое, при котором результат оценки меняет свой знак с положительного на отрицательный. Величина предельного значения Δ зависит от соотношения ЧОД с BAL_1; BAL_2; РМТ. Данный график смещается вправо при увеличении продолжительности расчетного периода и при увеличении нормы дисконта E.

Следует также отметить возможность возникновения абсурдной ситуации, при которой дальнейшее планирование роста цены продажи по сравнению с оцениваемой стоимостью приведет к смене знака с «плюс» на «минус» итога расчетов. По графику (рис. 2) можно определить область применения метода ИИА в случае использования третьего варианта определения цены продажи объекта в конце расчетного периода:

$$-\infty < \Delta < \Delta_{\text{крит}}. \qquad (9)$$

При этом для величины рыночной стоимости $\mathrm{C}_{\text{дп}}$ справедливы соотношения:

$$\lim_{\Delta\to\Delta_{\text{крит}}-0} \mathrm{C}_{\text{ДП}}(\Delta) = +\infty,$$

$$\lim_{\Delta\to\Delta_{\text{крит}}+0} \mathrm{C}_{\text{ДП}}(\Delta) = -\infty. \qquad (10)$$

В любом из названных выше случаев величина реверсии должна определяться без учета налога на добавленную стоимость, за вычетом комиссионных, выплачиваемых посреднику (риэлтеру) при совершении сделки с объектами данного типа, по норме, сложившейся на рынке на дату оценки, и налогу на прибыль (доход), уплачиваемому продавцом при совершении сделки с объектом недвижимости в соответствии с действующим на дату оценки законодательством.

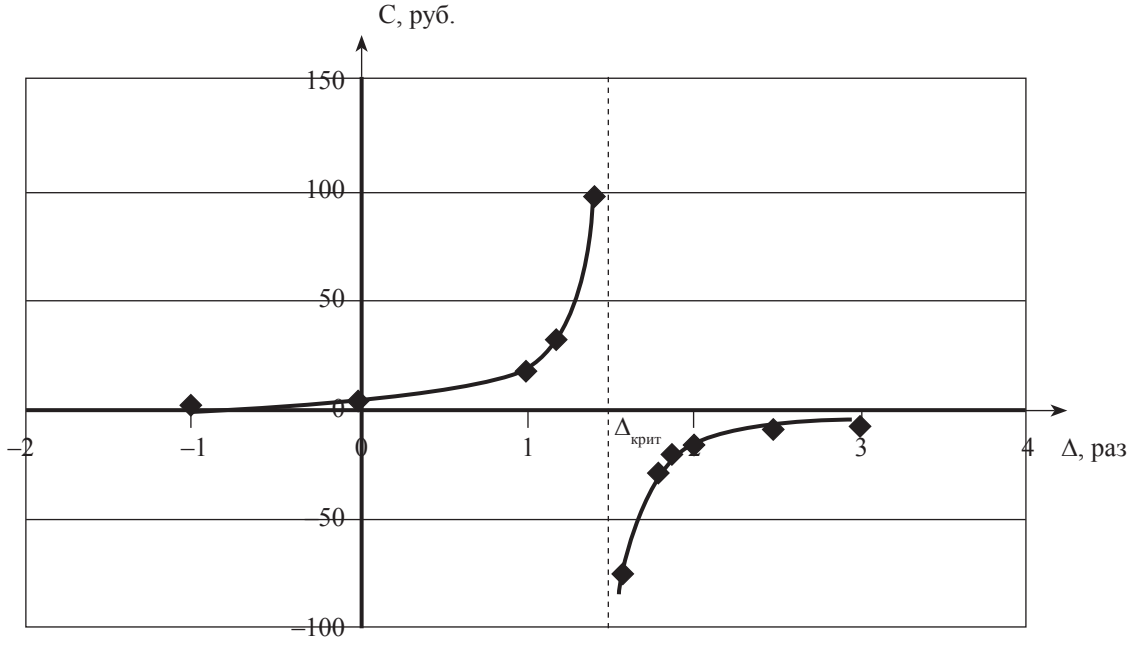


Рис. 2. График изменения рыночной стоимости объекта оценки при третьем способе определения Rev

Заключение

В опубликованных работах [3], [6], [7] не уточняются некоторые вопросы оценки величины Rev, что может оказать существенное влияние на вывод о наиболее вероятной цене продажи недвижимости в сложившихся типичных рыночных условиях. Предложенные в настоящей работе методические положения позволяют более обоснованно определять значение Rev, повышая тем самым доказательность отчета независимого оценщика.

Библиографический список

1. **Приказ** Минэкономразвития РФ от 20 июля 2007 г. № 256 «Об утверждении федерального стандарта оценки „Общие понятия оценки, подходы к оценке и требования к проведению оценки (ФСО № 1)“».

2. **Экономика** недвижимости : учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и доп. / С. В. Коланьков. – Москва : УМЦ ЖДТ, 2013. – 478 с.

3. **Распоряжение** губернатора Санкт-Петербурга от 01.08.96 № 113-р «О порядке оценки недвижимого имущества, находящегося в государственной собственности, и прав на него».

4. **Методические** рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов : 2-я ред. / В. В. Коссов, В. Н. Лившиц, А. Г. Шахназаров. – Москва : НПО «Экономика», 2000. – 421 с.

5. **Финансовая** математика : теория и практика финансово-банковских расчетов / Е. Кочович ; пер. с серб. – Москва : Финансы и статистика, 1994. – 268 с.

6. **Анализ** и оценка приносящей доход недвижимости / Дж. Фридман, Н. Ордуэй ; пер. с англ. – Москва : Дело, 1997. – 480 с.

7. **Методы** капитализации доходов : курс лекций / С. В. Грибовский. – Санкт-Петербург : РОССТРО-ПРЕСС, 1997. – 172 с.

8. **Оценка** эффективности инвестиций в транспортное строительство с учетом неопределенности и риска / С. Г. Опарин // Научно-технические ведомости СПб ГТУ. – 2010. – № 4 (102). – С. 60–65.

УДК 656.2:338.47

Б. Р. Рахимжонов
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

КВАНТИФИЦИРОВАННЫЙ SWOT–АНАЛИЗ В ОБОСНОВАНИИ ПРИЕМЛЕМОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Изложена методика оценки и обоснования приемлемости инвестиционных проектов по созданию, модернизации и техническому перевооружению объектов железнодорожного транспорта. Предложена процедура квантификации условий реализации соответствующего проекта для их количественной оценки и отражения в инвестиционном предложении сторонним инвесторам. В результате исследования показано, что методика квантифицированного SWOT-анализа в сочетании с традиционными динамическими методами может быть использована для оценки приемлемости инвестиционных проектов с учетом условий их реализации.

железнодорожный транспорт, инвестиционные проекты, методика экспертной оценки.

Введение

Сегодня транспортная система – важнейший фактор экономического развития, качества жизни населения и уровня национальной безопасности каждого государства. Поскольку Узбекистан не имеет прямого выхода к морям, уровень его внешнеэкономических связей во многом определяется развитием транспортной системы страны как части инфраструктуры международных перевозок в Центральной Азии. Таким образом, само географическое положение Республики Узбекистан определяет ключевую роль ее железных дорог в перевозке транзитных и экспортно-импортных грузов. При этом перспективы развития железнодорожных перевозок во многом связаны с восстановлением Великого шелкового пути, который обеспечит прямое железнодорожное сообщение между странами Европы и Азии.

В Узбекистане монопольной организацией, имеющей доступ к инфраструктуре, является Государственно-акционерная железнодорожная компания «Узбекистон темир йуллари» (далее – ГАЖК «УТЙ»). Нынешняя пропускная способность ее инфраструктуры является недостаточной для увеличения объемов перевозок. ГАЖК «УТЙ» должна устранять «узкие места», принимать стратегически важные решения по модернизации и техническому перевооружению объектов железнодорожного транспорта.

В развитии инфраструктурной составляющей ведущим игроком продолжает оставаться государство. Но средств, выделяемых из республиканского бюджета, и собственных средств компании не хватает для реализации даже самых необходимых инвестиционных проектов по наращиванию и модернизации железнодорожной инфраструктуры. Дальнейшее развитие железнодорожного транспорта возможно только с участием сторонних инвесторов [1]. В такой ситуации перед ГАЖК «УТЙ» встают следующие задачи:

- переход к поэтапному финансированию уже реализуемых и планируемых инфраструктурных проектов;
- повышение инвестиционного потенциала путем привлечения сторонних средств для реализации важнейших проектов;
- разработка методологии оценки и инструментов анализа инвестиционной привлекательности инфраструктурных проектов с учетом специфики железнодорожного транспорта.

В рамках данной статьи предполагается осуществить поиск путей решения отдельных составляющих третьей из перечисленных задач.

1 Характеристика проектов строительства и технического перевооружения компании ГАЖК «УТЙ»

Для увеличения пропускной способности ГАЖК «УТЙ» планирует и осуществляет ряд проектов модернизации и технического перевооружения [2].

1. *Закупка* грузовых и пассажирских электровозов. Проект стартовал в 1999 г. и осуществляется в целях обновления локомотивного парка компании [2]. На первом этапе компания закупила 12 электровозов стоимостью 40 млн долларов (кредит ЕБРР в 2004 г). На втором этапе, в 2009–2011 гг., закуплено 15 локомотивов (кредит КНР 73,8 млн долларов). Сегодня в процессе реализации находится третий этап проекта – закупка еще 11 локомотивов (кредит КНР 44,39 млн долларов).

2. *Приобретение* высокоскоростных электропоездов. В 2010 г. ГАЖК «УТЙ» и испанская компания «Talgo» договорились о реализации совместного проекта высокоскоростного железнодорожного движения на участке Ташкент–Самарканд, где был запущен первый в Центральной Азии высокоскоростной поезд «Тальго-250». В целом же проект предполагает и технические работы по модернизации ряда объектов инфраструктуры.

Финансирование проекта осуществляется за счет собственных средств ГАЖК «УТЙ».

3. *Электрификация* железнодорожных участков. Данный проект предусматривает электрификацию железнодорожных участков в южных регионах страны. ГАЖК «УТЙ» планирует привлечь кредит в размере 520 млн долларов, который будет направлен на электрификацию железнодорожных участков Мараканд – Карши, Карши – Термез и Мараканд – Навои – Бухара [2].

4. *Строительство* новой железнодорожной линии. Этот проект предполагает соединение Кашкадарьинской и Сурхандарьинской областей линией протяженностью 223 км. Он включает южную часть страны в единую транспортную систему. Новая дорога идет в обход Туркменистана и сокращает расстояние перевозок на 170 км. Ликвидация транзитных платежей обеспечит возврат кредита.

ГАЖК «УТЙ», как и другие предприятия, привлекающие капитал со стороны, стремится убедить потенциального инвестора в надежности и доходности намечаемых мероприятий. Лучшим доказательством является ознакомление инвестора с подготовленным как инвестиционный проект сценарием освоения и возврата капитальных вложений. Чтобы быть убедительным, проект должен быть насыщен информацией, доказывающей его коммерческую и общую состоятельность. Этот факт и требует адекватной оценки инвестиционной привлекательности проектов ГАЖК «УТЙ». Проиллюстрируем возможности такой оценки в рамках процедуры квантифицированного SWOT-анализа [4] описанных выше проектов.

2 Процедура квантифицированного SWOT-анализа для инвестиционного проекта

Наиболее часто в качестве критериев принятия решения при оценке эффективности проекта теория рекомендует показатели чистого дисконтированного дохода (NPV), внутреннюю ставку доходности (IRR) и срок окупаемости (PP). В ряде случаев для оценки проекта прибегают к функционально-стоимостному анализу и расчету коэффициента эффективности инвестиций [3]. Однако получить полноценную информацию для функционально-стоимостного анализа потенциальному инвестору не всегда удается, а ставшие традиционными динамические методы оценки на практике использовать сложно, поскольку необходим достоверный прогноз денежных потоков. Поэтому наряду с использованием динамических методов

следует использовать другие инструменты для оценки привлекательности и состоятельности инвестиционного проекта. Необходимо учитывать не только коммерческие показатели, но и экономико-социальные условия проекта и способность команды его реализовать.

В стратегическом менеджменте методом, позволяющим решать подобные задачи, является SWOT-анализ (аббревиатура по начальным буквам английских слов: «силы», «слабости», «возможности», «угрозы») [4]. Его можно применить и для оценки привлекательности проектов, в том числе проектов модернизации и технического перевооружения ГАЖК «УТЙ», если осуществить квантификацию рассматриваемых в SWOT-анализе показателей.

Сильные и слабые стороны, а также угрозы и возможности, определенные специалистами ГАЖК «УТЙ» и независимыми экспертами для каждого из перечисленных инвестиционных проектов, представлены в табл. 1.

Опишем вариант проведения экспертного опроса, обеспечивающий объективность диагностики каждого инвестиционного проекта компании.

Расположим индикаторы из табл. 1 на порядковой шкале, позволяющей устанавливать их равноценность или доминирование путем назначения рангов в стандартизированной интервальной шкале, образуемой по среднеквадратическим отклонениям выборки оценок экспертов. Этот элемент расчетов обязателен, поскольку оценки, выставленные без предварительной стандартизации, не обеспечивают объективность при определении рационального распределения средств и усилий компании на проекты, формирующие потенциал ее развития.

Корректность получения каждой количественной оценки подтверждается путем проверки принадлежности анкетных данных экспертов к нормальной совокупности и путем расчета коэффициента конкордации [4]. Затем для каждого проекта рассчитывается усредненная суммарная оценка сил, слабостей, угроз и возможностей. Полученные результаты иллюстрируют графически (рис.) в координатах: «силы, слабости» и «угрозы, возможности».

Выполненный в ходе исследования анализ рассмотренных четырех проектов позволил получить количественную оценку условий их реализации, представленную в табл. 2.

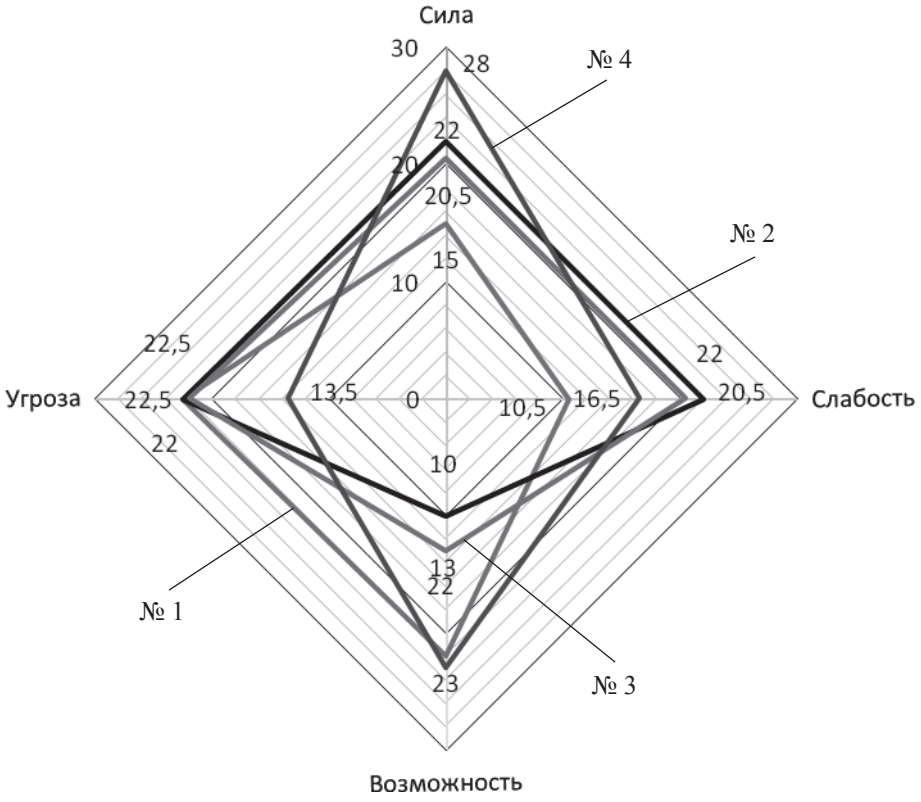
Из рис. и табл. 2 следует, что в условиях недостатка средств ГАЖК «УТЙ» целесообразно в первую очередь сосредоточиться на реализации проекта «Строительство новой железнодорожной линии» (№ 4 на рис.), поскольку именно этот проект имеет большие силы и характеризуется значительными воз-

ТАБЛИЦА 1. Сильные и слабые стороны инвестиционных проектов ГАЖК «УТЙ» (по результатам экспертного опроса)

Закупка грузовых и пассажирских электровозов		Приобретение высокоскоростных электропоездов	
Силы	Наличие иностранных и собственных средств в проекте	Силы	Полное финансирование за счет собственных средств
	Ориентация на закупку новых локомотивов со сниженными эксплуатационными показателями		Организация высокоскоростного движения
	Короткие сроки реализации проекта		Приобретение современных передовых технологий
	Государственная поддержка (налоговые и таможенные льготы)		Соответственная модернизация контактных сетей и объектов инфраструктуры

Окончание табл. 1

Закупка грузовых и пассажирских электровозов		Приобретение высокоскоростных электропоездов	
Слабости	Изношенность существующих объектов инфраструктуры	Слабости	Негативное влияние на окружающую среду
	Отсутствие запасных частей и комплектующих в местном производстве		Необходимость строительства мостов и параллельных участков, реконструкции путей и станций
	Невозможность развития собственной сети сервиса и ремонта подвижного состава		Невозможность развития собственной сети сервиса и ремонта подвижного состава
Возможности	Модернизация устройств телекоммуникации	Возможности	Подготовка персонала новой квалификации и уровня
	Снижение себестоимости перевозок за счет уменьшения количества локомотивов		Повышение комфортабельности пассажирских перевозок
Угрозы	Неполная готовность путей для локомотивов	Угрозы	Неготовность объектов инфраструктуры к эксплуатации
Электрификация железнодорожных участков		Строительство новой железнодорожной линии	
Силы	Внедрение передовых и энергосберегающих технологий	Силы	Сокращение расстояния между пунктами отправления и назначения
	Модернизация соответствующих объектов инфраструктуры		Ликвидация таможенных затрат на транзит через соседние страны
	Присутствие в проекте иностранных инвестиций		Присутствие зарубежных и собственных источников финансирования
Слабости	Сложные природно-климатические условия для электрификации		Создание единой транспортной системы и появление нового транспортного коридора
	Потребность в большом объеме инвестиций	Слабости	Необходимость строительства мостов и тоннелей
	Значительные сроки реализации проекта		Потребность в большом объеме инвестиций
Возможности	Создание новых рабочих мест в процессе реализации проекта	Возможности	Создание логистических центров, увеличение транзитного потенциала
	Развитие сети железных дорог, повышение эффективности перевозок		Модернизация транспортной системы и внедрение передовых технологий
	Улучшение социально-экономического состояния региона		Улучшение социально-экономического состояния региона
Угрозы	Неготовность новых и изношенность старых объектов инфраструктуры	Угрозы	Труднодоступная местность для строительства



Геометрическая иллюстрация квантифицированного SWOT-анализа инвестиционных проектов ГАЖК «УТЙ»

ТАБЛИЦА 2. Количественная оценка условий реализации инвестиционных проектов ГАЖК «УТЙ» (по результатам экспертной оценки)

№	Наименование проекта	Силы	Слабости	Возможности	Угрозы
1	Закупка грузовых и пассажирских электровозов	15	10,5	22	22,5
2	Приобретение высокоскоростных электропоездов	22	22	10	22,5
3	Электрификация железнодорожных участков	20,5	20,5	13	22
4	Строительство новой ж/д линии	28	16,5	23	13,5

можностями. Реализация данного проекта стратегически важна, допускает государственно-частное партнерство, что приведет к созданию логистических центров и обеспечит социально-экономическое развитие южных регионов Узбекистана.

Также выполненный SWOT-анализ подтвердил, что проект приобретения высокоскоростных электропоездов (№ 2 на рис.) является выигрышным, но наиболее рискованным, поскольку потребует электрификации и модернизации существующих железнодорожных линий. Проект же электрификации новых железнодорожных участков (№ 3 на рис.) следует реализовывать в последнюю очередь, поскольку изношенность объектов

инфраструктуры и сложные природно-климатические условия потребуют значительных капиталовложений и длительных сроков строительства. Вместе с тем этот проект и проект «Приобретение высокоскоростных электропоездов» крайне необходимы для развития компании.

Заключение

Таким образом, квантифицированный SWOT-анализ показал, что при сохранении тенденций во внешней среде ГАЖК «УТЙ» необходимо в первую очередь реализовывать проект «Строительство новой железнодорожной линии». Одновременно показано, что методика квантифицированного SWOT-анализа в сочетании с традиционными динамическими методами может быть использована для оценки приемлемости инвестиционных проектов с учетом условий их реализации.

Библиографический список

1. **О финансировании** объектов железнодорожного транспорта в рамках государственно-частного партнерства / А. Н. Мардас, Б. Р. Рахимжонов // Материалы конференции «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте». – Ташкент, 2012. – С. 208–210.

2. **Об ускорении** развития инфраструктуры, транспортного и коммуникационного строительства в 2011–2015 годах. : утв. постановлением Президента Республики Узбекистан 21.12.2010 № ПП-1446. – Ташкент, 2010.

3. **Некоторые** аспекты управления инвестиционной деятельностью на железнодорожном транспорте / Б. Р. Рахимжонов // Интернет-журнал «Науковедение». – 2013. – № 1 (14) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: naukovedenie.ru/PDF/83evn113.pdf.

4. **Курс лекций** по стратегическому менеджменту / А. Н. Мардас, О. А. Гуляева. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 2007. – 246 с.

→ ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НАУКИ И ТЕХНИКИ

УДК 625.1(09)

С. В. Критский
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

САНКТ–ПЕТЕРБУРГСКИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ УЗЕЛ: ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ

Рассмотрены этапы развития Санкт-Петербургского железнодорожного узла, зародившегося в середине XIX в. и формировавшегося в соответствии с требованиями конкретного исторического периода. В ходе исследования сделан вывод о том, что в условиях необходимости решения постоянно усложняющихся транспортных задач Петербургский железнодорожный узел не до конца восстановил даже того потенциала, который имел до Великой Отечественной войны, и нуждается в реконструкции, которая должна повысить эффективность его работы и конкурентоспособность железнодорожных перевозок в этом регионе.

Петербург, Ленинград, железная дорога, железнодорожный узел.

Введение

На Северо-Западе России, в Санкт-Петербурге, расположен железнодорожный узел, являющийся одним из крупнейших в нашей стране. Он занимает второе место после Московского по разветвленности сети и объему перерабатываемых грузо- и пассажиропотоков. По характеру перевозок узел является транзитно-местным, с преобладанием выгрузки прибывающих грузов.

1 Зарождение и развитие

Существующая сегодня в Петербурге железнодорожная сеть (рис.), формировавшаяся с середины XIX в., впоследствии расширялась, многократно перестраивалась и реконструировалась с учетом потребностей конкретного исторического периода. Постепенно образовался узел полукольцевого типа, из которого в разных направлениях протянулись более десяти магистральных железнодорожных линий.

Река Нева разделяет Санкт-Петербург на левобережную и правобережную части; эти районы города развивались различными темпами. Формирование железнодорожной сети в левобережной и правобережной частях города также происходило с разной интенсивностью и имело свои особенности. Кроме того, во все времена большое влияние на формирование Петербургского железнодорожного узла оказывал расположенный в городе морской порт. В 1880-х гг., после сооружения Морского канала, по которому суда с глубокой осадкой смогли заходить в новый Петербургский порт, к нему была подведена железнодорожная линия – Портовая (Путиловская) ветвь, существующая и сегодня, – так называемое Северное полукольцо [1]. В годы Первой мировой войны из-за потери Россией прибалтийских портов и перераспределения грузопотоков (вместо английского угля, доставляемого морским путем через Петербург, Ревель и Ригу, промышленность перешла на донецкий уголь, доставляемый по железной дороге), узел стал «задыхаться» [2].

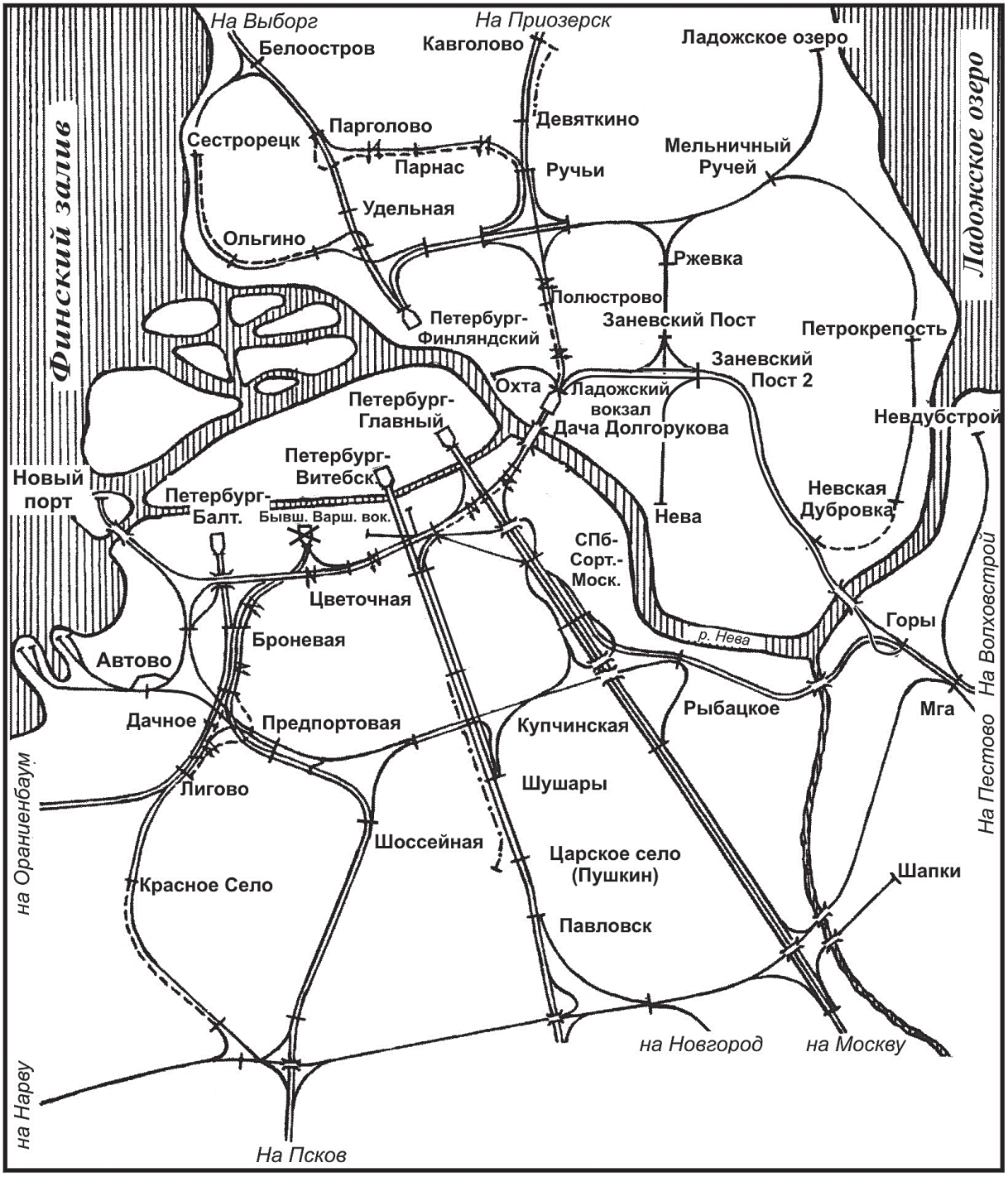


Схема Санкт-Петербургского железнодорожного узла
и некоторые его перспективные линии [6]

В 1915–1916 гг. был разработан первый комплексный план развития Петроградского узла. До этого вопросы реконструкции решались каждой из входивших в узел железных дорог (Николаевской, Московско-Виндаво-Рыбинской и т. д.) самостоятельно, без учета общих интересов. Проект предусматривал, в частности, строительство новой, второй портовой линии, проходившей значительно южнее существующей. Из-за революционных потрясений 1917 г. в России и последовавшей вслед за ними Гражданской войны этот план не был осуществлен в полном объеме.

2 Советский и постсоветский периоды

В годы советской власти была достроена новая портовая линия (Южное полукольцо) Рыбацкое – Автово (1929–1930 гг.) с сооружением новой сортировочной станции Предпортовая. Интенсивно развивался Ленинградский узел и в последние предвоенные годы; в 1940 г. была построена еще одна сортировочная станция – Шушары. Для разгрузки узла, на основании опыта перевозок в период войны с Финляндией, в 1940–1941 гг. были введены в эксплуатацию линии Заневский Пост – Горы и Ручьи – Парнас – Парголово [3]. Перед Великой Отечественной войной на отдаленных подступах к Ленинградскому узлу началось грандиозное, ныне почти забытое «Строительство № 75» – сооружение трехсоткилометрового Южного обхода узла (Тихвин – Будогощь – Чудово – Веймарн – Усть-Луга), – прерванное войной при достаточно высокой степени готовности, но в послевоенное время так и не завершенное.

В послевоенные годы какого-либо масштабного железнодорожного строительства в Ленинграде не велось. Узел развивался скорее качественно: электрифицировались отдельные линии и целые направления, на перегонах внедрялась автоблокировка, на станциях – электрическая централизация стрелок и сигналов, строились путепроводные развязки с городскими улицами и магистралями [4]. В связи с отсутствием прямых маршрутных поездов в Ленинградский порт долгое время использовались лишь отдельные участки Южного полукольца (для внутриузловых передач), а сортировочная система на ст. Предпортовая так и не была восстановлена. В полном, предвоенном, объеме Южное полукольцо было воссоздано только в 2002 г., после восстановления перегона Предпортовая – Автово.

В 1967 г. был разобран участок трассы Варшавского направления до ст. Шоссейная, дублировавший в пределах города через ст. Броневая Балтийский ход; последним звеном этой цепи стало закрытие совсем недавно, в конце 2012 г., станции Санкт-Петербург-Варшавский, что планировалось осуществить еще в предвоенные годы.

В 1983–1987 гг. рядом с существующим в пределах города железнодорожным мостом через Неву был построен еще один, в результате чего перегон Глухоозерская – Дача Долгорукова стал двухпутным.

В конце XX в. по ряду причин (в основном из-за закрытия многих промышленных предприятий в черте Петербурга и усиленного развития автотранспорта) значительно сократилась протяженность промышленных подъездных путей в пределах города.

В начале XXI в. развитие Петербургского узла определялось преимущественно внедрением на главном ходу Октябрьской дороги скоростного движения с одновременным переносом всего грузопотока на Северное направление (через Бабаево). В связи с этим в 2003–2004 гг. была осуществлена реконструкция южной части главной станции узла – Санкт-Петербург-Сортировочный-Московский. В 2003 г. был открыт новый Ладожский вокзал и одновременно произведена реконструкция участка Дача Долгорукова – Горы (построена новая станция Заневский Пост-2).

В настоящее время ведутся работы по развитию подходов к Петербургскому узлу. В связи со строительством нового морского порта в районе Усть-Луги осуществляется реконструкция участка Мга – Гатчина – Веймарн – Котлы и сооружение Усть-Лужского железнодорожного узла, состоящего из ше-

сти станций. В связи с планируемым переводом всего грузопотока с магистрали Петербург – Выборг, используемой для скоростного движения, ведется строительство новой железнодорожной магистрали Лосево – Каменногорск и реконструкция существующего, смежного с ней участка Каменногорск – Выборг; кроме того, в отдаленном будущем возможно строительство Северо-Восточного обхода узла Манушкино – Токсово [5].

3 Проблемы развития узла

В настоящее время в Петербургском железнодорожном узле существуют «узкие места», создающие трудности в его эксплуатационной работе. К их числу можно отнести, например, однопутный чрезвычайно загруженный перегон Дача Долгорукова – Полюстрово Финляндской соединительной линии, вынуждающий направлять грузовые поезда обходными, более дальними маршрутами через Заневский Пост и Ржевку; или отсутствие путепроводных развязок в начальных пунктах соединительной линии Ручьи – Парнас – Парголово, из-за чего при отправлении-прибытии поездов на нее режущим маршрутом часто происходят задержки других поездов у входных сигналов главных направлений.

Необходимо отметить также отсутствие некоторых прямых соединительных ветвей в узле или не слишком удачное расположение таковых. Так, конфигурация примыкания линии со ст. Нева к ст. Заневский Пост-2 делает возможным заезд поезда с узла на ст. Нева только с изменением направления движения и обгоном тепловоза на ст. Заневский Пост-2. Отсутствие прямого соединительного пути между станциями Санкт-Петербург-Сортировочный-Московский и Купчинская ведет к тому, что маршруты грузовых передач между станциями Шушары и Санкт-Петербург-Сортировочный-Московский и обратно пропускаются по единственному пути (3-й путь Обухово), развязываясь в разных уровнях с магистралью Петербург – Москва, но одновременно пересекая в одном уровне все движение по направлению Петербург – Волховстрой. Частично решавший эту проблему ранее существовавший здесь так называемый 1-й Купчинский путь был разобран в ходе реконструкции 2003–2004 гг. Отсутствие прямой соединительной ветви между станциями Санкт-Петербург-Главный и Глухоозерская вынуждает осуществлять пропуск локомотивов резервом или с пассажирскими вагонами на Ладожский вокзал с обязательным изменением направления движения на ст. Санкт-Петербург-Товарный-Московский или с протяженным объездом по так называемой гитаре (хитросплетению путей особой конфигурации) в Обухово. Из-за отсутствия прямой соединительной линии от ст. Санкт-Петербург-Балтийский к Северному полукольцу грузовые поезда, следующие на эту станцию со стороны Волковской, должны менять направление движения с обгоном тепловоза по ст. Нарвская, где не хватает приемо-отправочных путей.

Из-за неудачного путевого развития ст. Санкт-Петербург-Товарный-Витебский нельзя осуществлять прямой заезд локомотивов со ст. Санкт-Петербург Пассажирский-Витебский в расположенное на станции локомотивное депо – он производится с двумя сменами кабин управления. Также невозможен пропуск грузовых поездов, следующих со ст. Волковская, на главные пути Витебского направления сразу по нечетной горловине: проходные поезда приходится пропускать через парк станции, также имеющий ограниченное количество приемо-отправочных путей. Дополнительные трудности создает отсутствие отдельного главного пути для грузовых поездов на участке Шушары – Царское (Детское) Село при интенсивном движении пригородных электропоездов по этой линии; такой путь существовал в 1934–1941 гг., но после войны не был восстановлен. По причине недостаточного путевого развития технического парка ст. Санкт-Петербург-Пассажирский-Витебский составы пассажирских поездов нередко вынуждены отстаиваться на других станциях узла.

Наконец, до настоящего времени остается открытым вопрос о сооружении отдельной

сортировочной станции в правобережной части Петербургского узла: несмотря на то, что в 1960-х гг. было завершено строительство первой очереди сортировочной системы на станции Ручьи, она так и не была введена в эксплуатацию до настоящего времени.

Заключение

Развитие экономики Санкт-Петербурга, Ленинградской области и Северо-Западного региона в целом, расширение существующих и строительство новых морских портов в этой части России ставят в число первоочередных проблему необходимости реконструкции Санкт-Петербургского железнодорожного узла, с учетом восстановления ряда существовавших ранее соединительных линий и развязок, что должно повысить эффективность его работы и улучшить конкурентоспособность железнодорожных перевозок в этом регионе по сравнению с автомобильными.

Библиографический список

1. **История** железнодорожного транспорта России. Т. 1 : 1836–1917. – Санкт-Петербург : Академия, 1994. – С. 119.

2. **Образование** и развитие Петербургского железнодорожного узла / С. И. Логинов, М. М. Уздин // Интенсификация эксплуатационной работы на железных дорогах. – Ленинград, 1987. – С. 93–104.

3. **История** железнодорожного транспорта России и Советского Союза. Т. 2 : 1917–1945. – Санкт-Петербург, 1997. – С. 181.

4. **Магистраль** имени Октября / В. М. Юрасов, Б. В. Януш, М. И. Воронин и др. – Москва : Транспорт, 1990. – С. 195–249.

5. **Узловые** перспективы (интервью с зам. начальника отдела узлов и станций ОАО «Ленгипротранс» С. Ивановым) // Строительство и городское хозяйство в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. – 2012. – № 8 (138). – С. 136–138.

6. **Скоростной** и высокоскоростной железнодорожный транспорт. – 2003. – Т. 2. – С. 393.

ABSTRACTS

Belyankin, A. V., Dmitriev, S. V., Kumpiak, D. E., Bogdanov, V. P. (2014). Method of basis sensor response orthogonal projection to vector space for experimental determination of stress factors, affecting the car structures. Proceedings of Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 1 (38), 5–10.

Abstract

This article describes in general terms the method of indirect recording of stress factors combination, that affect the compliance structures in linear elasticity area. It also includes a detailed theoretical justification of the method: its mathematical aspects and physical interpretation. The description includes the definition of mathematical terms for physically sufficient selection of stress factors, affecting the structure. It also includes prior estimate, that show the influence of input data error to the precision of estimated values of stress factors.

References

Forsythe, G. E., Malcolm, M. A., Moler, C. B. (1980). Computer methods for mathematical computations. Trans. from. Eng. [*Mashinnyye metody matematicheskikh vychisleniy*], Moscow, 280 p.

Horn, R. A., Johnson, C. R. (1989). Matrix Analysis. Trans. from. Eng. [*Matrichnyy analiz*], Moscow, 656 p.

Magnus, J. R., Neudecker, H. (2002). Matrix differential calculus with applications in statistics and econometrics. Trans. from. Eng. [*Matrichnoye differentsialnoye ischisleniye s prilozheniyami k statistike i ekonometrike*], Moscow, 496 p.

Regulatory documents 24.050.37–95 (1995). Freight and passenger-carrying cars. Test methods for strength and riding performance [*Vagony gruzovyye i passazhirskiye. Metody ispytaniy na prochnost i khodovyye kachestva*], Moscow, 104 p.

Sharipov, R. A. (1996). Course of linear algebra and multidimensional geometry [*Kurs lineynoy algebry i mnogomernoy geometrii*], Ufa, 148 p.

Vuchetich, I. I., Derkach, B. A., Porshnev, P. V., Lyapshin, K. N. (2011). Experimental determination of interaction forces of bogie frame and journal-box of vehicle, while riding the railway track. Proceedings of the 7th scientific and technical conference «Rolling stock of XXI century: concepts, requirements, plans» [*Sbornik tezisov dokladov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proyekty»*], St. Petersburg, 21–22.

Lizunov, N. Yu. (2014). Heat losses and heat insulation of methane-tank for mobile bio-gas complex for environmental conditions of Kazakhstan. Proceedings of Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 1 (38), 11–16.

Abstract

The article describes horizontal mobile methane-tank for waste recycling and digester gas production. The fermentation process has two phases, each of them takes place in the separate compartment of the tank. Based on the results of heat losses analysis the article describes the introduction of the algorithm of its determination, calculation of heat insulation efficiency for 4 types of insulation and demonstration of the usefulness of its application in summer and winter season. As the result of the study, an effective heat insulation for methane-tank was selected based on the cost analysis per 1 m^2 and summary heat losses data.

References

Chebotareva, O. V., Serbin, V. A., Kolosova, N. V. (2010). Methane-tank heat transfer with the environment for biomass fermentation. Bulletin of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture [*Visnik Donbaskoï natsionalnoï akademiï budivnitstva i arkhitekturi*], 6, p. 86.

Izover VentFasad Optima, available at: http://linspb.ru/Изовер-ВентФасад-Оптима.html

Kiselev, I. G. (2008). Heat engineering at the railway rolling stock [*Teplotekhnika na podvizhnom sostave zheleznykh dorog*], Moscow, 278 p.

Kitayev, B. N. (1984). Heat transfer processes in car operation [*Teploobmennyye protsessy pri ekspluatatsii vagonov*], Moscow, 184 p.

Patent RU2250878. *Methane tank*, available at: http://www.shram.kiev.ua/top/patents_gas/gas_3/gas_60.shtml

Stiched mat tekhnonikol, available at: http://spb.pulscen.ru/products/tekhnonikol_4000kh-1200kh100_7570706

URSA GLASSWOOL M-15, available at: http://linspb.ru/URSA-GLASSWOOL–M-15-URSA-GEO-M-15.html

Marikin, A. N. Miroshchenko, V. A. (2014). Adaptive device for traverse reactive power compensation in alternative current traction power supply. Proceedings of Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 1 (38), 16–21.

Abstract

The article describes one of the problem of AC traction energy, namely the presence of inductive power component in the circuit. An advanced method

of compensation was proposed on the base of controlled transformer-type shunt reactor. The article includes the description of operating principle for compensator and shows its electrical diagram, following the mathematical model of the device, enabled in MATLAB Simulink.

Modeling results presented in terms of current-voltage graphic charts and bar diagrams for overhead system. Based on these graphics the article shows the conclusions about the efficiency of device operation in traction power supply circuits. The option for improvement of compensator design, using the high-harmonics filters in the model for increasing energy efficiency.

References

Aleksandrov, G. N., Lunin, V. P. (2005). Controlled reactors [*Upravlyayemyye reaktory*], St. Petersburg, 200 p.

German, L. A., Serebryakov, A. S. (2012). Controlled capacity compensation device in the railway traction power supply systems [*Reguliruyemyye ustanovki yemkostnoy kompensatsii v sistemakh tyagovogo elektrosnabzheniya zheleznykh dorog*], Moscow, 211 p.

GOST 13109–97 (2002). *Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in public electrical systems*, Moscow, 64 p.

Korolev, A. A. (2013). Development of methods and facilities for symmetrization of electrical loads in the AC traction power supply system [*Razrabotka metodov i sredstv po simmetrirovaniyu elektricheskikh nagruzok v sisteme tyagovogo elektrosnabzheniya peremennogo toka. Avtoref. diss. kand. tehn. nauk*], Moscow, 24 p.

Romen, Yu. S., Savoskin, A. N., Akishin, A. A. (2014). Analysis of random process for geometrical imperfection of rails. Proceedings of Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 1 (38), 22–32.

Abstract

External disturbance affects significantly the motion of railway vehicles. Such disturbances are the geometrical imperfection of rails. Previous studies do not pay suitable attention to the correlation of horizontal and vertical disturbances of rails. This article shows this type of correlations as well as detailed disturbance characteristics.

By way of disturbance the four-dimensional random process of vertical and horizontal imperfections of rails is considered. The study includes the spectral correlation analysis of this disturbance, following the fit of correlation function graphic charts and spectral densities by analytic expressions.

Using the result analytical expressions it would be possible to solve the problem of geometrical imperfection generation within time domain for examination of oscillations of railway vehicles with non-linear characteristics of swing suspension.

References

Bendat, J. S., Piersol, A. G. (1971). *Random Data: Analysis and Measurement Procedures*, New York, 407 p.

Garg, V. K., Dukkipati, R. V. (1984). *Dynamics of Railway Vehicle Systems,* Toronto, 407 p.

Himmelblau, D. M. (1972). *Applied Nonlinear Programming*, Mcgraw-Hill, 416 p.

Jenkins, G. M., Watts, D. G. (1968). *Spectral Analysis and Its Applications*, San Francisco, 525 p.

Kreynis, Z. L. (1982). Spectral analysis of rails contour. Railway Research Institute bulletin [*Vestnik VNIIZHT*], 4, 48–51.

Romen, Iu. S., Kudriavtcev, N. N., Belousov, V. N. (1990). Once again about the measuring of vertical imperfections of rails. Railway Research Institute bulletin [*Vestnik VNIIZHT*], 1, 29–31.

Savoskin, A. N., Goykhman, L. V., Kharin, D. A. (1968). Results of wheel vertical trajectory study. Proceedings of Moscow State University of Railway Engineering [*Trudy MIIT*], 296, 143–157.

Savoskin, A. N., Kochergin, V. V., Poliakov, A. I. (2005). Vertical and horizontal disturbances at rails. World of transport [*Mir transporta*], 4, 4–14.

Sobol, I. M., Statnikov, R. B. (2006). Selection of the optimum parameters within the multicriteria tasks [*Vybor optimalnykh parametrov v zadachakh so mnogimi kriteriyami*], Moscow, 175 p.

Sveshnikov, A. A. (1968). Applied methods of the random function theory [*Prikladnyye metody teorii sluchaynykh funktsiy*], Moscow, 449 p.

Tarasov, A. V. (2014). Safe operation at the open railway crossings. Proceedings of Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 1 (38), 33–40.

Abstract

The article examine the statistics of accident conditions at the railway and motorway crossings for open railway crossings at the 1st decade of XXI century. It describes established provisions as well as innovative engineering solutions for traffic safety at the open crossings. The system of optical infrared sensors is proposed as the best for the automatic control of locomotive traffic in case of motor vehicles at the open crossing area.

References

Aidan, N. (2010). Breaking Down the Barriers to Safer Crossings. *International Railway Journal*, 5, 45–47.

Ananeva, N. G. (2009). Development of the automated railway crossing occupancy control system. Scientific problems of transport of Siberia and the Far East [*Nauchnyye problemy transporta Sibiri i Dalnego Vostoka*], 2, 35–38.

Epifantcev, S. N., Suprun, V. N. (2011). Safety measures at railway crossings. Railway transport [*Zheleznodorozhnyy transport*], 9, 26–31.

Godiaev, A. I. (2005). Classification of railway crossings. Automation, communication, informatics [*Avtomatika, svyaz, informatika*], 1, 35–39.

Gorkanova, T. N. (2012). Performance review of the safety of train traffic at the track facilities of JSC RZD in 2011. Track and Track Facilities [*Put i putevoye khozyaystvo*], 5, 2–9.

Poliakov, N. M. (2011). Measures for decreasing the number of collisions at the crossings. Track and Track Facilities [*Put i putevoye khozyaystvo*], 7, 17–18.

Sobolev, S. A. (2005). Traffic safety at the railway crossings. Bulletin of Rostov State Transport University [*Vestnik RGUPS*], 2, 100–104.

Tarasov, A. V. (2011). Envelope control system of the vehicle, entering the crossovers. Proceedings of Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 4, 15–22.

Tarasov, A. V. (2012). Devices for detection of falling objects at the railways. Proceedings of the 2nd international scientific-practical conference «Intelligent systems for transport» [*Vtoraya mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Intellektualnyye sistemy na transporte»*], St. Petersburg, 15–17.

Chetvergov, V. A., Bocharov, V. M., Mishin, A. I., Siryak, P. A., Melnichenko, V. A. (2014). Levenberg–Marquardt method application for data analysis of locomotive on-board diagnostic system. Proceedings of Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 1 (38), 41–48.

Abstract

It is necessary for creation of automated information systems the formation of streams of information and the development of methods and algorithms for processing of these data. The article describes the proposed method, based on the results of the study, for approximation of diagnostic parameters, measured by APK «Bort» on-board system, through the example of traction generator in acceleration mode of diesel-powered locomotive by the method of least-squares, using non-linear models. Described method is focused on application in diagnostic of traction rolling stock, based on the results of data analysis, obtained from on-board systems.

References

Aivazian, S. A., Enyukov, I. S., Meshalkin, L. D. (1985). Practical statistic [*Prikladnaya statistika*], Moscow, 487 p.

Chetvergov, V. A., Bocharov, V. M., Mishin, A. I., Gateliuk, O. V., Siryak, P. A. (2013). Mathematical description of experimental control data for locomotive performance. Modern problems of science and education [*Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*], 4, available at: http://www.science-education.ru/110–9767

Dennis, J. E., Schnabel, R. B. (1988). Numerical Methods for Unconstrained Optimization and Nonlinear Equations. Trans. from. Eng. [*Chislennyye metody bezuslovnoy optimizatsii i resheniya nelineynykh uravneniy*], Moscow, 440 p.

Gauss-Jordan method, available at: http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D0%93%D0%B0%D1%83%D1%81%D1%81%D0%B0_%E2%80%94_%D0%96%D0%BE%D1%80%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B0

Gill, P. E., Murray, W., Wright, M. H. (1985). Practical Optimization. Trans. from. Eng. [*Prakticheskaya optimizatsiya*], Moscow, 509 p.

Levenberg-Marquardt method, available at: http://alglib.sources.ru/optimization/levenbergmarquardt.php

Mudrov, V. I., Kushko, V. L. (1971). Least absolute deviation method [*Metod naimenshikh moduley*], Moscow, 61 p.

Turchak, L. I. (1987). Basics of numerical methods [*Osnovy chislennykh metodov*], Moscow, 320 p.

Churkov, N. A. (2014). Advanced freight car. Proceedings of Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 1 (38), 48–55.

Abstract

Economics transition to the market relations formed new conditions of economy management, and railway transport system should also meet them. The model of freight cars, stated in the 1920s, and unchanged since than, went out of date, so the article raises the question about the necessity of new strategy. The article shows the usefulness of special containers, inspired by high-capacity ISO containers. It is proposed to organize the shipping of goods using freight non-disengageable trains, run at the particular directions and schedules, as passenger trains. As an example of advanced freight car the platform for special containers are proposed.

References

Churkov, N. A., Estling, A. A. (1997). General structure of cars and its interaction with the railway

technical facilities [*Obshcheye ustroystvo vagonov i ikh vzaimodeystviye s tekhnicheskimi sredstvami zheleznykh dorog*], St. Petersburg, 120 p.

Churkov, N. A., Sokolov, M. M., Morcheladze, I. G. (2013). Genesis of railway car building [*Genezis vagonostroyeniya*], Moscow, 280 p.

Czurkow, N. A. Maszyny, I. (1991). Transport charges [*Urzadzenia Ladunkowe w Transporcie*], Radom, 168 p.

Belash, T. A., Nikonova, N. V., Yermoshin, A. A., Uzdin, A. M. (2014). Kvasnikov asymptotic method application for equation analysis of oscillations with nonlinear resistance. Proceedings of Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 1 (38), 56–63.

Abstract

The article presents using of the asymptotic method of Prof. Kvasnikov B. N. for analysis of differential equations of nonlinear oscillation for systems with hydraulic damper. According to this method every member of differential equation the order assigned, that determines its value in differential equation. Then the system of order linear algebraic equation is composed and on the base of its analysis the possibility of elimination of any members of the system and deriving adequate short equation is considered. The article shows all the options of short oscillation equations, that applies to the nonlinear seismic oscillation of the bridge with seismic isolation. Also it includes the asymptotic portrait of nonlinear equation under study.

References

Kvasnikov, B. N. (1957). About the application of cubic parabola equation as an easy curve for railway tracks 1524 and 750 mm [*O primenimosti uravneniya kubicheskoy paraboly v kachestve perekhodnoy krivoy na zheleznykh dorogakh kolei 1524 i 750 mm*], Leningrad, 17 p.

Kvasnikov, B. N. (1981). Asymptotic method of derivation and solution of short slice equations. Vibrations and stability of mechanical systems [*Kolebaniya i ustoychivost mekhanicheskikh sistem*], 5, 187–218.

Kvasnikov, B. N. (2003). Approximation and existence theorems in slice theory. Proceedings of the International Conference on Mechanics «The Third Polyakhov Readings» [*Treti Polyakhovskiye chteniya. Izbrannyye trudy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii po mekhanike*], St. Petersburg, 261–266.

Kvasnikov, B. N., Kouzakh, S. N. (1996). Application of asymptotic method of composing the short equations of seismic oscillations of structures with kinematic foundations. Alerting service of Voronezh Science Research Institute of Communications. Antiseismic construction [*Ekspress-informatsiya VNIIS. Seysmostoykoye stroitelstvo*], 14 (4), 50–55.

Verkholin, V. V., Kvasnikov, B. N., Rulevich, E. A., Uzdin, A. M. (2004). Asymptotic analysis of oscillation equation of seismic-isolated system with dry friction damper and its application. Antiseismic construction [*Seysmostoykoye stroitelstvo. Bezopasnost sooruzheniy*], 1, 32–36.

Zakharchenko, S. S. (2014). Approach for quantitative estimation of the results of vulnerabilities search in parallel software systems using the model test method. Proceedings of Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 1 (38), 64–69.

Abstract

Model test helps to show up whether the specified formal requirements are met using the model of system tested. It is necessary to develop the quantitative parameters of the model test results to check the security of the system.

As an example of parallel software system a transition system was taken, and on its basis the definition of path and critical path were made. The article shows the parameters for obtained results estimation, based on the paths of reaching the conditions of vulnerability materialization. Obtained results are shown on the base of software system, that implements the mutual exclusion principle.

References

Dijkstra, E. W. (2002). Cooperating Sequential Processes. The Origin of Concurrent Programming, New York, 65–138.

Idika, N., Bhargava, B. (2012). Extending Attack Graph-Based Security Metrics and Aggregating Their Application. IEEE Transactions on dependable and secure computing, 9 (1), 75–85.

Krautsevich, L., Martinelli, F., Yautsiukhin, A. (2010). Formal approach to security metrics. What does «more secure» mean for you? Proceedings of the Fourth European Conference on Software Architecture: Companion Volume, Copenhagen, 162–169.

Kwiatkowska, M., Norman, G., Parker, D. (2010). Advances and Challenges of Probabilistic Model Checking. Proceedings of 48th Annual Allerton Conference on Communication, Control and Computing, Urbana–Champaign, 1691–1698.

Manna, Z., Pnueli, A. (1981). Verification of Concurrent Programs. Part I: The Temporal Framework. Stanford, 62 p.

Sheyner, O., Wing, J. M., Jha, S., Lippmann, R., Haines, J. (2002). Automated Generation and Analysis of Attack Graphs. Proceedings of the 2002 IEEE Symposium on Security and Privacy, Berkley, 273–284.

Zakharchenko, S. S. (2012). Model test complexity of parallel software systems. Software programs and systems [*Programmnye produkty i sistemy*], 98 (2), 39–42.

Ignatov, N. A. (2014). The statement of a problem for optimization of virtual resource allocation in data processing centers, based on cloud technologies. Proceedings of Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 1 (38), 69–74.

Abstract

The article considers the problem of calculation the adequate level of virtual resources, necessary to support the applications, launched by data processing center, that is built using cloud technology. An adequate level of virtual resources is understood as a combination of such parameters as processor, main memory and data storage devices capacity and network bandwidth. End users can obtain them by launching of a certain number of virtual machines for minimum price under the terms of meeting the requirements to the quality of system support. The problem of virtual resource allocation process optimization (that related to the problem of linear programming class) is developed and solved during the study, using the simplex-method.

References

Ahmed, T., Singh, Y. (2012). Analytic Study of Load Balancing Techniques Using Tool Cloud Analyst. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 1027–1030.

Amazon EC2 hosting*, available at: http://www.kushnerov.com*

Amazon EC2 instances*, available at: http://aws.amazon.com*

Calheiros, R. N., Ranjan, R., Buyya, R. (2011). Virtual Machine Provisioning Based on Analytical Performance and QoS in Cloud Computing Environments. *Proceedings of the 2011 International Conference on Parallel Processing*, Taipei, 295–304.

Korneyenko, V. P. (2007). Optimization methods. [*Metody optimizatsii*], Moscow, 664 p.

Vasilyev, F. P. (2011). Optimization methods. Vol. 1–2. [*Metody optimizatsii*], Moscow.

Vishnevskiy, V. M. (2003). Theoretical foundation of computer network design [*Teoreticheskiye osnovy proyektirovaniya kompyuternykh setey*], Moscow, 512 p.

Kazanskaya, L. F., Grigoryev, D. S., Makarov, Yu. I. (2014). Strength and durability of multicomponent mineral binders on the base of technology-related raw materials. Proceedings of Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 1 (38), 75–81.

Abstract

The article includes the analysis of possibility of using the technology-related formations in the composition of multicomponent binders and also the study results of the stone porosity of the similar binders as a factor, that determines the structure and strength characteristics of hydrated cement stone.

For determination of voids volume fraction the methods of small-angel X-ray diffraction (SAXD), paramagnetic resonance (PR) and secant method were used. The studies give the quantitative analysis of dispersed-porous structure of sulphate-slag compositions and note its higher sulphate resistance in forming sound stone structure in comparison with the classic binders. This is an evidence of long-range application of complex approach for the examination of multicomponent binder structure and the characteristics of cements, based on them.

References

Babkov, V. V., Komokhov, P. G., Mirsayev, R.N., Chuykin, A. E. (1998). Volume changes in hydration and recrystallization of mineral binder compounds. Cement and its applications [*Tsement i yego primeneniye*], 4, 16–19.

Babkov, V. V., Komokhov, P. G., Shatov, A. A., Mirsayev, R. N., Oratovskaya, A. A., Nedoseko, I. V., Chuykin, A. Ye., Yamaltdinova, L. F. (1998). Activated slag binders on the base of industrial waste of Ural and Bashkiria region companies. Cement and its applications [*Tsement i yego primeneniye*], 2, 37–40.

Bondarenko, G. V., Gryzlov, V. S., Kaptyushina, A. G. (2012). Methodological aspects of multicomponent binder production on the base of technology related industrial waste. Construction Materials [*Stroitelnyye materialy*], 3, 26–29.

Cheremskoy, P. G. (1985). Examination methods for porosity of solids [*Metody issledovaniya poristosti tverdykh tel*], Moscow, 67–70.

Komokhov, P. G., Gryzlov, V. S. (1992). Structure mechanics and thermal physics of light-weight concrete [*Strukturnaya mekhanika i teplofizika legkogo betona*], Vologda, 319 p.

Vulkov, V., Delchev, N., Nikonova, N. (1992). Chemical captivating of metallurgical slag in the conditions of granulating. *Proceedings or the 9th International Congress on the Chemistry of Cement*, New Delhi, 3, 115–119.

Yamaltdinova L. F. (2000). Sulphate-slag binders and concretes, based on it: dissertation [*Sulfatno-shlakovyye vyazhushchiye i betony na ikh osnove*], St. Petersburg, 326 p.

Sapozhnikov, V. V., Sapozhnikov, Vl. V., Efanov, D. V., Nikitin, D. A. (38). Procedures of producing

the sum codes with minimum total number of undetectable errors in data vectors. Proceedings of Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 1 (2014), 82–91.

Abstract

The article describes the solution of the problem of producing the sum code, that is the best from the point of error detection in data vector. Such sum code has a uniform distribution of all data vectors between all check vectors. The problem of producing the optimal code is solved using several methods, that give different distributions of undetectable errors in data bits by multiplicity. In addition, this work also determines the conditions under which a new sum code will detect any errors of odd multiplicity.

References

Berger, J. M. (1961). A Note on Error Detection Codes for Asymmetric Channels. *Information and Control*, 4 (3), 68–73.

Blyudov, A. A., Efanov, D. V., Sapozhnikov, V. V., Sapozhnikov, Vl. V. (2013). Summation codes for organization of control of combinational circuits. *Automation and Remote Control*, 74 (6), 1020–1028.

Blyudov, A. A., Efanov, D. V., Sapozhnikov, V. V., Sapozhnikov, Vl. V. (2012). Development of modified Berger code with the minimum undetectable errors of data bits. Electronic simulation [*Elektronnoye modelirovaniye*], 34 (6), 17–29.

Bose, B., Lin, D. J. (1985). Systematic Unidirectional Error-Detection Codes. *IEEE Transactions on Computers*, C-34, 1026–1032.

Das, D., Touba, N. A. (1999). Weight-Based Codes and Their Application to Concurrent Error Detection of Multilevel Circuits. *Proceedings of the 17th IEEE Test Symposium*, California, 370–376.

Das, D., Touba, N. A., Seuring, M., Gossel, M. (2006). Low Cost Concurrent Error Detection Based on Modulo Weight-Based Codes. *Proceedings of 6th IEEE International On-Line Testing Workshop (IOLTW),* Palma de Mallorca, 171–176.

Efanov, D. V., Sapozhnikov, V. V., Sapozhnikov, Vl. V. (2010). On summation code properties in functional control circuits. *Automation and Remote Control,* 71 (6), 1117–1123.

Fujiwara, E. (2006). *Code Design for Dependable Systems: Theory and Practical Applications*, John Wiley & Sons, 720 p.

Hamming, R. W. (1950). Error Detecting and Correcting Codes. *Bell System Technical Journal*, 29 (2), 147–160.

Kastensmidt, F. L., Carro, L., Reis, R. (2006). *Fault-Tolerance Techniques for SRAM-based FPGAs*, Dordrecht, 183 p.

Khakhanov, V. I., Litvinova, Ye. I., Guz, O. A. (2009). Design and testing of on-chip digital systems [*Proyektirovaniye i testirovaniye tsifrovykh sistem na kristallakh*], Kharkiv, 484 p.

Lala, P. K. (2001). *Self-Checking and Fault-Tolerant Digital Design*, Arkansas, 216 p.

Matrosova, A., Lipsky, V., Melnikov, A., Singh, V. (2010). Path Delay Faults and ENF. *Proceedings of 8th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS`2010),* St. Petersburg, 164–167.

Morosov, A., Sapozhnikov, V. V., Sapozhnikov, Vl. V., Goessel, M. (1998). Self-Checking Combinational Circuits with Unidirectionally Independent Outputs. *VLSI Design*. 5 (4), 333–345.

Nicolaidis, M., Zorian, Y. (1998). On-Line Testing for VLSI – A Compendium of Approaches. *Journal of Electronic Testing: Theory and Applications*, 12, 7–20.

Piestrak, S. J. (1995). *Design of Self-Testing Checkers for Unidirectional Error Detecting Codes*, Wroclaw, 111 p.

Pradhan, D. K. (1996). *Fault-Tolerant Computer System Design*, New York, 560 p.

Ryan, W. E., Lin, Shu (2009). *Channel Codes: Classical and Modern*, Cambridge, 708 p.

Sapozhnikov, V. V., Morosov, A., Sapozhnikov, Vl. V., Göessel, M. (1998). A New Design Method for Self-Checking Unidirectional Combinational Circuits. *Journal of Electronic Testing: Theory and Applications,* 12, 41–53.

Sapozhnikov, V., Sapozhnikov, Vl., Efanov, D. (2014). Weight-based sum codes for control organization of logical units. Electronic simulation [*Elektronnoye modelirovaniye*], 36 (1). Forthcoming.

Sapozhnikov, V., Sapozhnikov, Vl., Efanov, D., Blyudov, A. (2013). Analysis of Error-Detection Possibilities of CED Circuits Based on Hamming and Berger Codes. *Proceedings of 11th IEEE East-West Design &Test Symposium,* Rostov-on-Don, 200–207.

Touba, N. A., McCluskey, E. J. (1997). Logic Synthesis of Multilevel Circuits with Concurrent Error Detection. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, 16, 783–789.

Smolak, W. Ya. (2014). Experimental test of augercast inclined piles, considering anchoring behavior. Proceedings of Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 1 (38), 91–98.

Abstract

The way of enforcement of strip foundation using augercast inclined piles with trestle system, that is widely used today, is not fully developed despite of apparent simplicity. The field study was carried on to examine the forces in inclined piles in "foundation-basement" system and to determine load-carrying capacity of inclined piles. Based on the results

of the study the estimation of the moments in the inclined piles during load transmission was made, as well as comparative analysis of different methods for pile load-carrying capacity determination. The article presents study results for different processes of pile manufacturing.

References

Code of practice 24.13330.2011 (2011). Pile foundations [*Svaynyye fundamenty*], Moscow, 86 p.

Geotechnical foundation for the options of adaptation of culture heritage site «New Holland Island» for modern uses, vol. 2, General calculation for reconstructed facilities № 12 and № 12a (including the development of numerical models of "reconstructed building-foundation-basement-embankment" systems) of OOO «PI Georekonstrukcia». (2012). [*Geotekhnicheskoye obosnovaniye variantov prisposobleniya obyekta kulturnogo naslediya «Novaya Gollandiya» dlya sovremennogo ispolzovaniya*], St. Petersburg.

Program of soil testing by static vertical loads: Saint Petersburg, Admiralteisky channel embankment, b. 2, lit. I, «New Holland Island», 12–12a. OP OOO FPG «ROSSTRO»-«PKTI». (2012). [*Programma ispytaniy staticheskoy vertikalnoy nagruzkoy gruntov*], St. Petersburg.

Report of the results of stress measuring for determination of bending moments in pile shaft tubes of inclined piles for experimental section of pile foundation within the testing of the construction by vertical pressing loads: Saint Petersburg, Admiralteisky channel embankment, b. 2, lit. I, «New Holland Island», 12–12a. ZAO «AiRKON». (2012). [*Otchet po rezultatam izmereniya napryazheniy dlya opredeleniya izgibayushchikh momentov v trubakh stvolov naklonnykh svay opytnogo fragmenta svaynogo fundamenta v protsesse ispytaniya konstruktsiy vertikalnoy vdavlivayushchey nagruzkoy*], St. Petersburg.

Technical report about the test results of soil by augercast inclined piles included into the pilework Rm-1 using the vertical static pressing loads at the construction object: Admiralteisky district, Admiralteisky channel embankment, b. 2, lit. I, «New Holland Island», 12–12a. OP OOO FPG «ROSSTRO»-«PKTI». (2012). [*Tekhnicheskiy otchet o rezultatakh ispytaniy gruntov naklonnymi buroinyetsionnymi svayami v sostave svaynogo rostverka Rm-1 vertikalnoy staticheskoy vdavlivayushchey nagruzkoy na obyekte stroitelstva*], St. Petersburg.

Ulitskiy, V. M., Shashkin, A. G. (1999). Geotechnical support of city reconstruction (examination, calculations, operations, monitoring) [*Geotekhnicheskoye soprovozhdeniye rekonstruktsii gorodov (obsledovaniye, raschety, vedeniye rabot, monitoring)],* Moscow, 327 p.

Polyanichko, M. A., Kornienko, A. A. (2014). Method for automated detection of conflicts in information security complex. Proceedings of Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 1 (38), 99–103.

Abstract

This paper describes a method for automatic detection of conflicts in complex of information security software, based on the analysis of system performance, finding the conflicts in configuration files, registry keys, and dynamic libraries assessment. Models of conflicting objects of computer system and a method for calculation of a composite indicator value of performance decreasing, based on linguistic rules and discriminant function, are introduced.

References

Ding, Y., Guo, X.. Su, H., Wang, Z., Zhao, S. *Method and system for avoidance of software conflict.* US Patent 20070180441 A1, December 22, 2006.

Introduction to Monitoring Performance Thresholds, available at: http://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/bd20x32d (v=vs.90).aspx

Lectures – Mathematical statistics. Applied mathematics chapters [*Lektsii – Matematicheskaya statistika. Spetsialnyye glavy prikladnoy matematiki*], available at: http://gendocs.ru/v25963/?cc=2

Mcmillan, J. J., Chirhart, G. D. *Method and system of managing software conflicts in computer system that receive, processing change information to determine which files and shared resources conflict with one another.* US Patent 7028019 B2, November 11, 1998.

Rutkovskaya, D., Pilinskiy, M., Rutkovskiy, L. (2006). Neural networks, generic algorithms and fuzzy systems. Trans. from Pol. [*Neyronnyye seti, geneticheskiye algoritmy i nechetkiye sistemy*], Moscow, 452 p.

Zaitsev, O. V. *Adaptive configuration of conflicting applications*. US Patent 7925874 B1, November 30, 2010.

Kolankov, S. V. (2014). Substantiation of reversion value within assessment of real estate market value. Proceedings of Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 1 (38), 104–108.

Abstract

The article deals with the methods of reversion value assessment during the determination of market value of real estate objects, and specifies its scope of application. Is also shows the necessity of all approaches for reversion estimation: comparative, cost and income approaches. Within the study it is proved that while application of proportional method of reversion evaluation (in fractions of real estate marked value that is estimated) it is necessary to control the result because of the possibility of senseless situation.

The article also includes the mathematical interpretation of the scope of application for proportional method of reversion evaluation.

References

Friedman, J. P., Ordway, N. (1997). Income property appraisal and analysis. Trans. from Eng. [*Analiz i otsenka prinosyashchey dokhod nedvizhimosti*], Moscow, 480 p.

Gribovskiy, S. V. (1997). Capitalization of income methods [*Metody kapitalizatsii dokhodov*], St. Petersburg, 172 p.

Kochovich, E. (1994). Financial mathematics: theory and practice of financial-bank case. Trans. from Serb. [*Finansovaya matematika: teoriya i praktika finansovo-bankovskikh raschetov*], Moscow, 268 p.

Kolankov, S. V. (2013). Real estate economics [*Ekonomika nedvizhimosti*], Moscow, 478 p.

Kossov, V. V., Livshits, V. N., Shakhnazarov, A. G. (2000). Methodological recommendations for efficiency analysis of investment projects [*Metodicheskiye rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsionnykh proyektov*], Moscow, 421 p.

Ministry of Economic Development and Trade Order dd. 20/072007 № 256 "About the approval of federal evaluation standard «General terms of assessment, approaches and requirement for evaluation (FSO № 1)» [*Prikaz Minekonomrazvitiya RF ot 20 iyulya 2007 g. № 256 «Ob utverzhdenii federalnogo standarta otsenki "Obshchiye ponyatiya otsenki, podkhody k otsenke i trebovaniya k provedeniyu otsenki (FSO № 1)»*].

Oparin, S. G. (2010). Efficiency assessment of investments into transport construction, considering uncertainty and risks. St. Petersburg State Polytechnical University Journal, Economics [*Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU, Ekonomicheskiye nauki*] 4, 60–65.

Saint Petersburg Governor order dd. 01.08.96 № 113-p «About the assessment procedure of real estate in state ownership and rights for it» [*Rasporyazheniye gubernatora Sankt-Peterburga ot 01.08.96 g. № 113-r «O poryadke otsenki nedvizhimogo imushchestva, nakhodyashchegosya v gosudarstvennoy sobstvennosti, i prav na nego»*].

Rakhimjonov, B. R. (2014). Quantified SWOT-analysis for justification of acceptability of investment projects for railway transport. Proceedings of Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 1 (38), 109–114.

Abstract

The article presents the method of evaluation and justification of acceptability of investment projects for creation, modernization and technical upgrading of the railway transport objects. It proposes the procedure of quantification of realization conditions of the project for its quantitative evaluation and representation in investment offers for the third-party investors. The results of the study show that the method of quantified SWOT-analysis, combined with convenient dynamic methods, can be used for acceptability evaluation of investment projects, considering the conditions of its realization.

References

About the acceleration of infrastructure development and transport and communication construction works in 2011–2015: approved by the directive of the President of Uzbekistan Republic. (2010). № ПП-1446. [*Ob uskorenii razvitiya infrastruktury, transportnogo i kommunikatsionnogo stroitelstva v 2011–2015 godakh.: utv. postanovleniyem Prezidenta Respubliki Uzbekistan*], Tashkent.

Mardas, A. N., Gulyaeva, O. A. (2007). Course of lectures for strategic management [*Kurs lektsiy po strategicheskomu menedzhmentu*], St. Petersburg, 246 p.

Mardas, A. N., Rakhimjonov, B. R. (2012). About the financing of railway transport facilities within the framework of public private partnership. «Resource-saving technologies in railway transport» [*O finansirovanii obyektov zheleznodorozhnogo transporta v ramkakh gosudarstvenno-chastnogo partnerstva. Materialy konferentsii «Resursosberegayushchiye tekhnologii na zheleznodorozhnom transporte»*], Tashkent.

Rakhimjonov, B. R. (2013). Several aspects of investment activity management in railway transport. Science studies [*Naukovedeniye*], 1 (14), available at: http://naukovedenie.ru/PDF/83evn113.pdf

Kritsky, S. V. (2014). Saint Petersburg railway junction: history and modern challenges. Proceedings of Petersburg Transport University [*Izvestiya PGUPS*], 1 (38), 115–119.

Abstract

The article describes the stages of development of Saint Petersburg railway junction, that was founded in the middle of XIX century, and that was formed according to the requirements of the certain historical period. During the study the conclusion was made about the necessity to solve grow increasingly complex transport problems and that fact that Saint Petersburg railway junction didn't regain even the potential it had before the World War II, and required the reconstruction that should increase its operational efficiency and the competitive ability of railway transportation of the region.

References

History of rail transport in Russia. (1994). [*Istoriya zheleznodorozhnogo transporta Rossii*], Vol. 1: 1836–1917, St. Petersburg, 336 p.

History of railroad transport in Russia and the Soviet Union. (1997). [*Istoriya zheleznodorozhnogo transporta Rossii i Sovetskogo Soyuza*], Vol. 2: 1917–1945, St. Petersburg, 416 p.

Future of railway junction (interview with Ivanov S., Deputy Head of railway junctions and stations of JSC «Lengiprotrans»). Saint Petersburg and Leningrad region construction and municipal engineering. (2012). [*Stroitelstvo i gorodskoye khozyaystvo v Sankt-Peterburge i Leningradskoy oblasti*], 8 (138), 136–138.

Loginov, S. I., Uzdin, M. M. (1987). St. Petersburg railway junction development. Intensification of field operations at railways. [*Intensifikatsiya ekspluatatsionnoy raboty na zheleznykh dorogakh*], Leningrad, 93–104.

Yurasov, V. M., Yanush, B. V., Voronin, M. I. (1990). October main railway [*Magistral imeni Oktyabrya*], Moscow, 343 p.

Rapid and high-speed railway transport. (2003). [*Skorostnoy i vysokoskorostnoy zheleznodorozhnyy transport*]. Vol. 2., St. Petersburg, 448 p.

АВТОРЫ СТАТЕЙ

Акишин Александр Александрович
аспирант кафедры «Электрическая тяга» Института транспортной техники и систем управления ФГБОУ ВПО МИИТ, г. Москва, Elmechtrans@mail.ru

Белаш Татьяна Александровна
доктор технических наук, профессор кафедры «Здания» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, Kzdaniya@pgups.edu

Белянкин Алексей Владимирович
ведущий специалист по испытаниям ЗАО «ИЦ ТСЖТ», г. Тверь, alex_belaz@mail.ru, belyankin@ic-tsgt.ru

Богданов Виталий Петрович
кандидат технических наук, г. Тверь

Бочаров Вячеслав Михайлович
директор ООО «ПКТП «Транспорт», г. Омск, bocharov1953@gmail.com

Григорьев Даниил Сергеевич
аспирант кафедры «Технологии строительных материалов и метрологии» ФГБОУ ВПО СПбГАСУ, руководитель проекта ООО «АЖИО», г. Санкт-Петербург, grigoriev@agioproekt.ru

Дмитриев Сергей Владимирович
генеральный директор ЗАО «Испытательный центр технических средств железнодорожного транспорта», руководитель ИЛ ЗАО «ИЦ ТСЖТ», г. Тверь, dmitriev@ic-tsgt.ru

Ермошин Алексей Александрович
кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая механика» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург

Ефанов Дмитрий Викторович
кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, TrES-4b@yandex.ru

Захарченко Сергей Сергеевич
ассистент кафедры «Информатика и информационная безопасность» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, ss.zahar@gmail.com

Игнатов Николай Александрович
аспирант кафедры «Вычислительные системы и сети» ФГБОУ ВПО МИИТ, г. Москва, proterian2000@yandex.ru

Казанская Лилия Фаатовна
доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные материалы и технологии» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, yalifa@inbox.ru

Коланьков Сергей Вячеславович
доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры «Экономика и менеджмент в строительстве» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, kolankov@mail.ru

Корниенко Анатолий Адамович
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информатика и информационная безопасность» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург

Критский Сергей Валерьевич
аспирант кафедры «История» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, coleopterous@yandex.ru

Кумпяк Дмитрий Евгеньевич
кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий инженер по испытаниям ЗАО «ИЦ ТСЖТ», г. Тверь, Kumpjak@ic-tsgt.ru

Лизунов Николай Юрьевич
аспирант кафедры «Теплотехника и теплосиловые установки» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, lizunoff.nikolaj@yandex.ru

Макаров Юрий Иванович
ассистент кафедры «Строительные материалы и технологии» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, lord-517@yandex.ru

Марикин Александр Николаевич
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроснабжение железных дорог» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, marikin_s@mail.ru

Мельниченко Виталий Александрович
инженер ООО «ПКТП «Транспорт», г. Омск, globalonevital@gmail.com

Мирощенко Василий Анатольевич
аспирант кафедры «Электроснабжение железных дорог» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, vasilymir@yahoo.com

Мишин Анатолий Иванович
кандидат технических наук, начальник отдела ООО «ПКТП «Транспорт», г. Омск, ai_mishin@mail.ru

Никитин Дмитрий Александрович
студент ФГБОУ ВПО СПбГПУ, г. Санкт-Петербург

Никонова Наталия Вячеславовна
аспирант кафедры «Теоретическая механика» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, lovelynataxa@inbox.ru

Поляничко Марк Александрович
кандидат технических наук, доцент кафедры «Информатика и информационная безопасность» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, mark.polyanichko@gmail.com

Рахимжонов Бекзод Раимжон Угли
аспирант кафедры «Менеджмент и маркетинг» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, bek.mc@mail.ru

Ромен Юрий Семёнович
доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ОАО «ВНИИЖТ», г. Москва, uromen@mail.ru

Савоськин Анатолий Николаевич
доктор технических наук, профессор кафедры «Электрическая тяга» Института транспортной техники и систем управления ФГБОУ ВПО МИИТ, г. Москва, Elmechtrans@mail.ru

Сапожников Валерий Владимирович
доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, kat@pgups.edu

Сапожников Владимир Владимирович
доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, kat@pgups.edu

Сиряк Павел Анатольевич
ведущий инженер-конструктор ООО «ПКТП «Транспорт», г. Омск, alkid1984@gmail.com

Смолак Вавжинец Ян
аспирант кафедры «Основания и фундаменты» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, wsmolak@hotmail.com

Тарасов Андрей Владимирович
аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, deljuvetav@yandex.ru

Уздин Александр Михайлович
доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретическая механика» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, uzdin@mail.ru

Четвергов Виталий Алексеевич
доктор технических наук, профессор кафедры «Локомотивы» ФБГУ ВПО ОмГУПС, ChetvergovVA@mail.ru

Чурков Николай Александрович
доктор технических наук, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ФГБОУ ВПО ПГУПС, г. Санкт-Петербург, churkoff@pgups.ru

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Акишин А. А. **22**
Белаш Т. А. **56**
Белянкин А. В. **5**
Богданов В. П. **5**
Бочаров В. М. **41**
Григорьев Д. С. **75**
Дмитриев С. В. **5**
Ермошин А. А. **56**
Ефанов Д. В. **82**
Захарченко С. С. **64**
Игнатов Н. А. **69**
Казанская Л. Ф. **75**
Коланьков С. В. **104**
Корниенко А. А. **99**
Критский С. В. **115**
Кумпяк Д. Е. **5**
Лизунов Н. Ю. **11**
Макаров Ю. И. **75**
Марикин А. Н. **16**
Мельниченко В. А. **41**
Мирощенко В. А. **16**
Мишин А. И. **41**
Никитин Д. А. **82**
Никонова Н. В. **56**
Поляничко М. А. **99**
Рахимжонов Б. Р. **109**
Ромен Ю. С. **22**
Савоськин А. Н. **22**
Сапожников В. В. **82**
Сапожников Вл. В. **82**
Сиряк П. А. **41**
Смолак В. Я. **91**
Тарасов А. В. **33**
Уздин А. М. **56**
Четвергов В. А. **41**
Чурков Н. А. **48**