ISSN 2222-9396

научно-технический информационно-аналитический журнал

Современные проблемы транспортного комплекса России

инфраструктура • логистика • технология • организация
управление • экономика • техника • методология

- энергоэффективность зданий на железнодорожном транспорте
- оптимизация вывоза твёрдых бытовых отходов в Ливии
- АСУ логистического центра припортовой железной дороги часть 1
- управление распределёнными вычислительными средами

www.transcience.ru

2018
Т.8 № 1

Modern Problems of Russian Transport Complex

International Scientific Journal

2018 Vol.8 No.1

Современные проблемы транспортного комплекса России

2018. Т. 8, №1

Журнал идексируется: РИНЦ, Crossref, BASE, ERIH PLUS, EZB, Google Scholar, OAI, OpenAIRE, PKP Index, ResearchBib, ROARMAP, Scilit, WorldCat, ВИНИТИ РАН, Киберленинка

Электронная версия журнала размещается:

- Научная Электронная Библиотека (НЭБ) – elibrary.ru
- сайт журнала – transcience.ru
- сайт научной электронной библиотеки «Киберленинка» – cyberleninka.ru

Издается с 2011 года

Редакционный совет

А.И. Адилходжаев – Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта, Узбекистан
Э. Бабулак – Национальный научный фонд, Алегзандрия, Виргиния, США
В.В. Багинова – Российский университет транспорта, Москва, Россия
Т.П. Воскресенская – Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия
Е.П. Дудкин – Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра-I, Россия
С.Н. Корнилов – Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия
П. Митра – Индийский технологический институт в Харагпуре, Индия
А.Т. Попов – Липецкий государственный технический университет, Россия
В.М. Сай – Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия
А.В. Сладковский – Силезский технический университет, Катовице, Республика Польша
Ж. Стевич – Восточно-Сараевский университет, Лукавица, Босния и Герцеговина
Ш. Фенг – Даляньский университет информатики Neusoft, КНР
К.Ш. Шункеев – Актюбинский региональный государственный университет им.К.Жубанова, Казахстан
Х. Ху – Шанхайский университет транспорта, КНР

Главный редактор

А.Н. Рахмангулов – Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

Зам. главного редактора

Н.А. Осинцев – Магнитогорский государственный тнхнический университет им. Г.И. Носова

Редакционная коллегия

О.В. Фридрихсон
О.А. Копылова
П.Н. Мишкуров
Д.С. Муравьев

© ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2018

Учредитель – Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
(455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38).

16+, в соответствии с Федеральным Законом от 29.12.10. №436-ФЗ.

Адрес редакции:
455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Тел.: (3519) 29-85-16
URL: https://www.transcience.ru
E-mail: editor@transcience.ru

Отпечатан на полиграфическом участке МГТУ им. Г.И. Носова
Выход в свет 03.12.2018.
Заказ 451. Тираж 500 экз. Цена свободная.

Modern Problems of Russian Transport Complex

2018. Vol. 8, no. 1

Indexing: Russian Science Citation Index, Crossref, BASE, ERIH PLUS, EZB, Google Scholar, OAI, OpenAIRE, PKP Index, ResearchBib, ROARMAP, Scilit, WorldCat, Russian VINITI RAS, CyberLeninka

Online versions of the journal can be found in the:

- Scientific Electronic Library – http://elibrary.ru
- Journal web-site – http://www.transience.org
- Scientific Electronic Library "CyberLenica" - cyberleninka.ru

PUBLISHED SINCE 2011

Editorial Board Members

A.I. Adilhodzaev – Tashkent Railway Engineering Institute, Uzbekistan
E. Babulak – National Science Foundation, Alexandria, Virginia, United States
V.V. Baginova – Russian University of Transport, Moscow, Russia
T.P. Voskresenskaya – Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia
E.P. Dudkin – Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia
S.N. Kornilov – Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia
A.T. Popov – Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia
P. Mitra – Indian Institute of Technology Kharagpur, India
V.M. Say – Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg, Russia
A.V. Sładkowski – Silesian University of Technology, Katowice, Poland
Z. Stević – University of East Sarajevo, Lukavica, Bosnia and Herzegovina
S. Feng – Dalian Neusoft University of Information, China
K.S. Shunkeyev – K. Zhubanov Aktobe Regional State University, Kazakhstan
H. Hu – Shanghai Jiao Tong University, China

Editor-in-chief

A.N. Rakhmangulov – Nosov Magnitogorsk State Technical University.

First deputy chief editor

N.A. Osintsev – Nosov Magnitogorsk State Technical University.

Executive editors

O.V. Fridrikhson
O.A. Kopylova
P.N. Mishkurov
D.S. Muravev

© Federal state budgetary institution of higher education «Nosov Magnitogorsk State Technical University», 2018

Founder – Nosov Magnitogorsk State Technical University
(455000, Chelyabinsk Region, Magnitogorsk, Lenin prospect, 38)

16+ in accordance with the Federal Law 29.12.10. №436-FL

Editorship address:
455000, Russia, Magnitogorsk, Lenin prospect, 38
Phone number: +7(3519) 29-85-16.
URL: http://www.transience.org
E-mail: editor@transcience.ru

Printed in the Printing NMSTU Area
Signed for press 2018.12.03.
Order 451. Circulation – 500 items. Free of charge.

СОДЕРЖАНИЕ

Транспортная инфраструктура

Адилходжаев А.И., Шаумаров С.С. К исследованию вопроса повышения энергоэффективности зданий на железнодорожном транспорте..... 4

Логистика

Бади И., Стевич Ж., Абдушахед А., Эрцег Ж. Оптимизация вывоза твёрдых бытовых отходов в Ливии . 12

Тимченко В.С. К вопросу об актуальности разработки и внедрения АСУ логистического центра припортовой железной дороги. Часть 1..... 20

Методология транспортной науки

Ткаченко К.С. Управление распределёнными вычислительными средами с использованием проекционных и беспроекционных алгоритмов 30

CONTENTS

Transport Infrastructure

Adilhodzaev A.I., Shaumarov S.S. A study on increasing the energy efficiency of buildings on rail transport 4

Logistics

Badi I., Stević Ž., Abdulshahed A., Erceg Ž. Optimization of municipal waste management in Libya 12

Timchenko V.S. A study on the relevant development and implementation of automatic control system of the logistics center serving port railway. Part 1 20

A Methodology of Transport Science

Tkachenko K.S. Controlling the distributed computing environment by using projection and non-projection algorithms 30

УДК 692.232.4:656.21 https://doi.org/10.18503/2222-9396-2018-8-1-4-11

К ИССЛЕДОВАНИЮ ВОПРОСА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Адилходжаев А.И.[1], Шаумаров С.С.[1]

[1]Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта, Узбекистан

Аннотация
Рассмотрен вопрос повышения энергоэффективности объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта. Изучены особенности распределения температуры воздуха в фильтруемой трещине и процессы формирования температурного поля на поверхности ограждения. Получено математическое выражение температурного поля на поверхности ограждающих конструкций зданий как функции их износа. Предложен метод оценки теплозащитных свойств наружных стен в зависимости от температурных колебаний внутри помещения.

Ключевые слова: энергоэффективность, железнодорожный транспорт, температурный режим, микроклимат помещений, математическая модель, температурные поля, теплопроводность.

Введение*

На балансе железнодорожных компаний находится значительное количество зданий гражданского и промышленного назначения, расходы энергии которых на создание благоприятного микроклимата помещений существенно превышают нормативные показатели, и, следовательно, снижают эффективность работы отрасли в целом. Решение данной проблемы является достаточно сложным. С одной стороны, необходима реальная оценка ситуации, выявление действительных источников потерь тепла и его неэффективного расходования. С другой – требуются обоснованное принятие решений по повышению энергоэффективности объектов и разработка целесообразных экономически выгодных энергосберегающих мероприятий. Не стоит забывать и о том, что эти мероприятия необходимо грамотно осуществить технологически и в дальнейшем правильно реализовывать.

Тому, что существующая проблема не находит быстрого разрешения, есть много причин. Это и недостаточная заинтересованность со стороны руководства железнодорожных компаний, и желание на местах полностью скопировать мировой опыт решения отдельных задач (пусть даже и очень эффективный), не проведя сравнительного анализа схожести климатических, экономических и прочих условий страны-разработчика и внедряющего региона [1–3].

Для научного обоснования принятия энергосберегающих решений необходимо строительство пилотных (экспериментальных) объектов, детальное исследование всех происходящих в них теплофизических процессов, экологическая оценка микроклимата помещений, исследование долговечности и безопасности применяемых материалов. Однако, не следует забывать и о том, что проектирование зданий только методом «проб и ошибок» является «тормозом» для развития строительной науки и проектного дела, не позволяет выявлять оптимальные энергосберегающие и, одновременно, экологические решения [4, 5].

Проведя ряд обследований наружных стен эксплуатируемых зданий железнодорожного транспорта, нами было установлено наличие многочисленных дефектов в ограждающих конструкциях – от мелких сколов до нарушений сплошности материала ограждений (трещин). Такого рода дефекты снижают теплозащитные свойства наружных стен, а, следовательно, ухудшают параметры внутренней среды помещений и приводят к повышенному расходу энергии на поддержание благоприятного микроклимата.

Моделирование распределения температуры воздуха в фильтруемой трещине наружного ограждения

Для осуществления мониторинга технического состояния эксплуатируемых зданий, с точки зрения их соответствия современным требованиям тепловой защиты, в первую очередь необходим анализ формирования температурного поля наружных ограждающих конструкций, имеющих существенные нарушения сплошности структуры материала – сквозные трещины. Исследование данного процесса в натурных условиях сопряжено со значительными трудностями в обеспечении «чистоты» проводимого эксперимента (изменение интенсивности облучения поверхностей солнечными лучами, суточный ход температуры, изменение направления и скорости ветра и т.п.). В связи с этим, для всестороннего изучения динамики температурного поля ограждения со сквозными трещинами целесообразно использовать математическое моделирование данного физического процесса. Однако для того, чтобы перейти к рассмотрению вопроса формирования температурного поля на поверхности ограждения, имеющего фильтруемую трещину, необходимо первоначально также с использованием метода математического моделирования установить особенности распределения температуры воздуха в данной тре-

© Адилходжаев А.И., Шаумаров С.С., 2018.

щине.

Разработке этой математической модели и результатам выполненных на ее основе исследований посвящена настоящая статья.

При построении математической модели нестационарных температур воздуха в фильтруемой трещине (щели) ограждения были приняты следующие допущения:

1. Передача тепла осуществляется теплопроводностью и конвекцией воздуха, а лучистый теплообмен в щели отсутствует.
2. Процесс свободной конвекции будем рассматривать как результат взаимодействия температуры и скорости движения воздуха в трещине, имеющей произвольную ориентацию.
3. Так как ширина раскрытия трещины r значимо меньше ее длины L и глубины δ, принято изменение температуры только вдоль осей X и Y.

Для свободно ориентированной трещины

$$\vec{n} = \vec{i} \cdot \cos\phi + \vec{j} \cdot \sin\phi, \qquad (1)$$

где $\vec{i}, \vec{j}$ – единичные векторы в направлении осей x, y; φ – углы наклона трещины к вектору силы тяжести, учитывающие влияние наклона трещины на профили температуры и скорости среды внутри трещины.

В качестве исходного уравнения рассмотрим уравнение теплопроводности в движущей среде (с учетом приближения (3)) в виде, используемом в [6] при исследовании температурных полей ограждающих конструкций

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + u\frac{\partial t}{\partial x} + \mathrm{v}\frac{\partial t}{\partial y} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2}\right), \tau > 0, \qquad (2)$$

где t – температура воздуха в щели, К; u, v, w – составляющие скорости среды вдоль осей координат x, y, z, м/с; a – температуропроводность воздуха в щели, м^2/с.

Уравнение (1) с помощью соответствующего выбора масштаба представим в безразмерном виде. Для этого положим

$$\theta = \frac{t_н - t}{t_н - t_в}, \qquad (3)$$

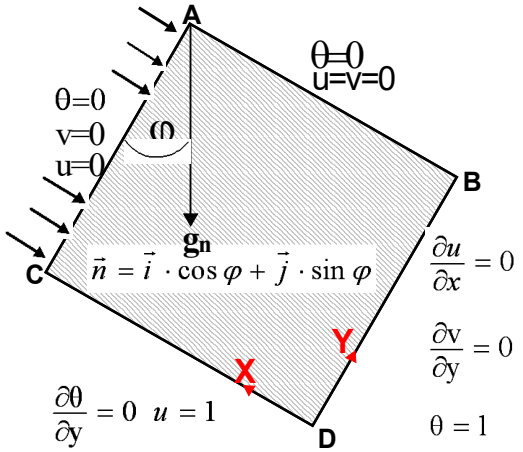
где $t_н$ – наружная температура воздуха, К; $t_в$ – внутренняя температура воздуха, К.

Граничные условия для уравнения (1) с учетом (2) запишем в следующем виде: при x=0 θ=0; при x=δ θ=1. Геометрическая интерпретация граничных условий показана на **рис. 1**.

Для решения (2) воспользуемся проекционным методом Галёркина в виде решения одномерной задачи с некоторыми базисными функциями $\varphi_j(x,y)$, отвечающими заданным граничным условиям

$$\theta_A = \sum_{j=1}^{N} b_j(t) \cdot \phi_j(x, y), \qquad (4)$$

где $b_j(t)$ – искомые коэффициенты в разложении (4). В (4) и ниже t – время, T –температура по шкале Кельвина. В последующих выкладках τ – безразмерное время, θ – безразмерная температура.



AB – поверхность трещины;
CD – центральная линия (линия, проходящая по середине трещины от внутренней поверхности к внешней поверхности ограждения);
AC – наружная поверхность ограждения – граница втекания воздуха;
DB – внутренняя поверхность ограждения;
⟶ направление втекания воздуха;
φ – угол наклона трещины к вектору силы тяжести g_n.

Рис. 1. Схема геометрической интерпретации конвективного теплообмена в трещине с граничными условиями

Для решения задачи (2) используем подход, основанный на испытании так называемых пробных функций, при заданных граничных условиях (метод Петрова – Галёркина [7]). В соответствии с этим методом, коэффициенты b_j определяются из системы уравнений

$$\left(L(\theta_A), \psi_k(x,y)\right) = \iint_D L(\theta_A) \cdot \psi_k(x,y)\,dxdy = 0, \qquad (5)$$
$$k = 1, 2, ..., N,$$

где $L(\theta_A)$ определяется разложением (4); $\psi_k(x,y)$ – пробная функция; (·) – скалярное произведение соответствующих функций.

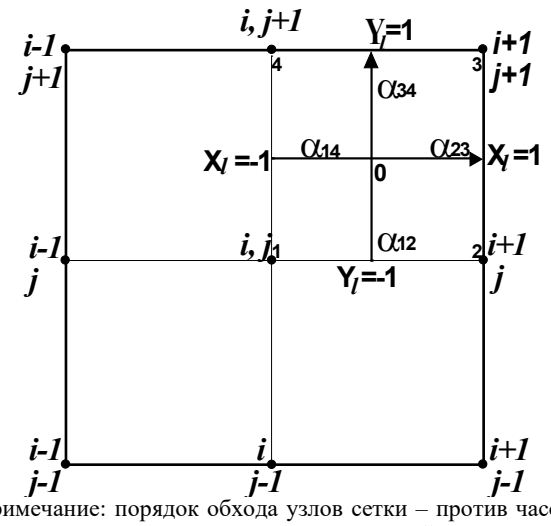
Для понижения размерности старшей производной пробной функции применим теорему Грина [8] к выражению (5). Выполним подстановку разложения (4) в модифицированное выражение (5), меняя порядок суммирования и интегрирования. Получим следующую систему линейных алгебраических уравнений для нахождения коэффициентов $\overline{\xi}_j$ при пробной функции $\psi_k(x,y)$

$$\left(\frac{\partial \xi}{\partial t}, \psi_k\right) + \left(u\frac{\partial \theta_A}{\partial x}, \psi_k\right) + \left(v\frac{\partial \theta_A}{\partial y}, \psi_k\right) + a\left(\frac{\partial \theta_A}{\partial x}, \frac{\partial \psi_k}{\partial x}\right) \qquad (6)$$
$$+ a\left(\frac{\partial \theta_A}{\partial y}, \frac{\partial \psi_k}{\partial y}\right) = 0, k = 1, 2, \ldots, N.$$

С учетом формы граничных условий (**рис. 1**) решаемой задачи, все внутренние произведения в (6) – скалярные произведения, являются поверхностными интегралами, то есть

$$\left(\frac{\partial\theta_A}{\partial x},\frac{\partial\psi_k}{\partial x}\right)=\iint_D\frac{\partial\theta_A}{\partial x}\cdot\frac{\partial\psi_k}{\partial x}dxdy;\ \left(\frac{\partial\theta_A}{\partial y},\frac{\partial\psi_k}{\partial y}\right)= \tag{7}$$
$$=\iint_D\frac{\partial\theta_A}{\partial y}\cdot\frac{\partial\psi_k}{\partial y}dxdy.$$

Для подбора формы функций $\psi_k(x,y)$ воспользовались численным методом на заданной с постоянным шагом h регулярной сетке. Для каждого узла i, j этой сетки вводится локальная система координат X_l, Y_l и независимо строятся пробные решения. На **рис. 2** показан фрагмент такой сетки в локальной системе координат.



Примечание: порядок обхода узлов сетки – против часовой стрелки, начиная с левого нижнего узла ячейки.

Рис. 2. Фрагмент регулярной сетки с лагранжевым элементом (ячейкой) в локальной системе координат X_l, Y_l

Данный подход основан на использовании лагранжевых прямоугольных элементов [9] и позволяет двумерные пробные функции представить в форме произведений одномерных пробных функций

$$\psi_k(x,y)=\phi_k^x(x_l)+\alpha_x\cdot\gamma_k^x(x_l)\cdot\left[\phi_k^y(y_l)+\alpha_y\cdot\gamma_k^y(y_l)\right], \tag{8}$$
$$k=1,2,...,N,$$

где

$$\phi_k^x(x_l)=0.5(1-x_l); \tag{9}$$

$$\phi_k^y(y_l)=0.5(1-y_l); \tag{10}$$

$$\gamma_k^x(x_l)=\begin{cases}-3x_l(1-x_l)\text{ в элементе}[k,k+1];\\ 3x_l(1-x_l)\text{ в элементе}[k-1,k].\end{cases} \tag{11}$$

$$\gamma_k^x(x_l)=\begin{cases}-3y_l(1-y_l)\text{ в элементе}[k,k+1];\\ 3y_l(1-y_l)\text{ в элементе}[k-1,k].\end{cases} \tag{12}$$

Раскрывая выражение (8) с учетом (9)-(12), получаем поверочные функции для соответствующих узлов. Запишем раскрытое выражение для поверочной функции, например, для узлов 1-4, показанных на **рис. 2**.

$$\left.\begin{aligned}
\psi_1^x(x_l)&=0.5(1-x_l)\cdot[1+1.5\cdot\alpha_{12}(1+x_l)]\\
\psi_1^y(y_l)&=0.5(1-y_l)\cdot[1+1.5\cdot\alpha_{14}(1+y_l)]\\
\psi_2^x(x_l)&=0.5(1-x_l)\cdot[1-1.5\cdot\alpha_{12}(1-x_l)]\\
\psi_2^y(y_l)&=0.5(1-y_l)\cdot[1+1.5\cdot\alpha_{23}(1+y_l)]\\
\psi_3^x(x_l)&=0.5(1+x_l)\cdot[1-1.5\cdot\alpha_{34}(1-x_l)]\\
\psi_3^y(y_l)&=0.5(1+y_l)\cdot[1-1.5\cdot\alpha_{23}(1-y_l)]\\
\psi_4^x(x_l)&=0.5(1-x_l)\cdot[1+1.5\cdot\alpha_{34}(1+x_l)]\\
\psi_4^y(y_l)&=0.5(1+y_l)\cdot[1-1.5\cdot\alpha_{14}(1-y_l)]
\end{aligned}\right\} \tag{13}$$

Таким образом, введенные разности (13) в процессе перехода от двумерных к одномерным пробным функциям, при численной реализации определяются для каждой лагранжевой ячейки $\{i,j\}_m$ четырьмя регулируемыми параметрами $[\alpha_{mn}]_{i,j}$ (m – порядковый номер ячейки; n=2, 3, 4). Параметр $[\alpha_{mn}]_{i,j}$ определяется согласно [10] по формуле

$$[\alpha_{mn}]_{i,j}=cth\beta-\frac{1}{\beta}, \tag{14}$$

где

$$\beta=0.25\cdot\frac{h\left(u_{ij}\cdot\cos\phi+\mathrm{v}_{\mathrm{ij}}\cdot\sin\phi\right)}{a}. \tag{15}$$

В формуле (15) u_{ij}, v_{ij} – составляющие вектора скорости среды в узле $m\{i,j\}$, h – шаг регулярной сетки, мм; a – коэффициент температуропроводности, φ – угол между плоскостью трещины и направлением вектора силы тяжести, градус.

В результате, обращаясь к формуле (2), мы соотношением (13) определили выражения для пробных функций $\psi_k(x,y)$. Далее для получения системы алгебраических уравнений необходимо представить уравнение (2) его конечноразностным аналогом. Это осуществляется на регулярной сетке с постоянным шагом h по осям X и Y ($\Delta x=\Delta y=h$) и шагом по времени $\Delta\tau$. Получающиеся громоздкие алгебраические уравнения поддаются удобному представлению с использованием пробных функций при принятых условиях – однородность прямоугольной регулярной сетки. Введем в рассмотрение центрированные разностные операторы первых (δ_x, δ_y, m_x, m_y) и вторых (δ^2_x, δ^2_y) производных [11]:

$$\delta_x(\theta_{i,j})=\frac{\theta_{i+1,j}-\theta_{i-1,j}}{2}, \tag{16}$$

$$\delta_y(\theta_{i,j})=\frac{\theta_{i,j+1}-\theta_{i,j-1}}{2}, \tag{17}$$

$$m_x(\theta_{i,j})=\frac{\theta_{i-1,j}}{6}+\frac{2\theta_{i,j}}{3}+\frac{\theta_{i+1,j}}{6}, \tag{18}$$

$$m_y(f_{i,j})=\frac{f_{i,j-1}}{6}+\frac{2f_{i,j}}{3}+\frac{f_{i,j+1}}{6}, \tag{19}$$

$$\delta_x^2(\theta_{i,j})=\theta_{i-1,j}-2\theta_{i,j}+\theta_{i+1,j}, \tag{20}$$

$$\delta_y^2(\theta_{i,j})=\theta_{i,j-1}-2\theta_{i,j}+\theta_{i,j+1}. \tag{21}$$

С учетом (16)-(21) выпишем по отдельности в виде конечноразностного аналога члены уравнения (2):

$$\frac{\partial\theta}{\partial\tau} \to m_y \otimes m_x \left(\theta^{n+1} - \theta^n\right), \quad (22)$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial x} \to \frac{m_y \otimes \delta_x\theta^n - 0.5\alpha^x m_y \otimes \delta_x^2\theta^n - 0.5\alpha^y \delta_x \otimes \delta_y\theta^n}{h}, \quad (23)$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial y} \to \frac{m_x \otimes \delta_y\theta^n - 0.5\alpha^y m_x \otimes \delta_y^2\theta^n - 0.5\alpha^x \delta_x \otimes \delta_y\theta^n}{h}, \quad (24)$$

$$\left(\frac{\partial^2\theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\theta}{\partial y^2}\right) \to \quad (25)$$

$$\to \frac{m_y \otimes \delta_x^2\theta^n + m_x \otimes \delta_y^2\theta^n - 0.5\alpha^x\delta_x^2 \otimes \delta_y^2\theta^n - 0.5\alpha^y\delta_x^2 \otimes \delta_y^2\theta^n}{h^2},$$

где символ «⊗» – тензорное произведение.

Таким образом, уравнение (2), эквивалентное выражениям (22) - (25), после соответствующих преобразований представляется в окончательном аналоговом виде

$$\frac{\delta_x\delta_y\left(\theta^{n+1} - \theta^n\right)}{\Delta\tau} + u\frac{\delta_x\theta^n - 0.5\alpha^x\delta_x^2\theta^n}{h} + \quad (26)$$

$$+\mathrm{v}\frac{\delta_y\theta^n - 0.5\alpha^y\delta_y^2\theta^n}{h} - a\frac{\delta_x^2\theta^n - \delta_y^2\theta^n}{h^2} = 0.$$

Процедура численного решения задачи нестационарной теплопередачи в трещине на основании формулы (26) предполагает выполнение расчетов с заданным шагом по времени. Расчеты выполняются при фиксированных значениях *j* для всего диапазона изменений индекса *i* регулярной сетки – направление по оси *X* (аналогично – для направления по оси *Y*). Тогда, при реализации такого численного алгоритма, например, на *n+1* шаге «интегрирования» по времени, уравнение (26) для направления вдоль оси *X* запишется в виде

$$m_y \otimes m_x(\theta^{n-1} - \theta^n) + 0.5\lambda m_y \otimes \delta_x(u\theta)^{n-1} + \quad (27)$$

$$+0.5\lambda m_x \otimes \delta_y(\mathrm{v}\theta)^n = 0.5\vartheta m_y \otimes \delta_x^2\theta^{n-1} + 0.5\vartheta m_x \otimes \delta_y^2\theta^n,$$

а для направления вдоль оси *Y* в виде

$$m_y \otimes m_x(\theta^{n+1} - \theta^{n-1}) + 0.5\lambda m_y \otimes \delta_x(\mathrm{v}\theta)^{n-1} + \quad (28)$$

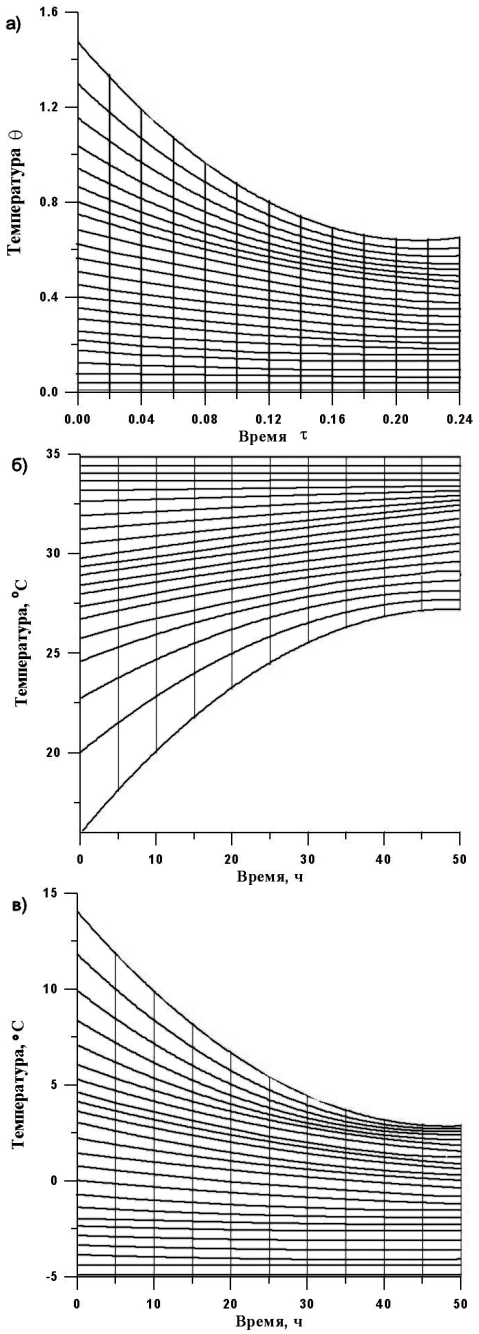
$$+0.5\lambda m_x \otimes \delta_y(\mathrm{v}\theta)^{n+1} = 0.5\vartheta m_y \otimes \delta_x^2\theta^{n-1} + 0.5\vartheta m_x \otimes \delta_y^2\theta^{n+1},$$

где $\vartheta = a\frac{\Delta\tau}{\Delta h^2}$, $\lambda = \frac{\Delta\tau}{h}$.

На **рис. 3** представлены результаты численных расчетов нестационарной теплопередачи в трещине в течение пятидесяти часов для точки, соответствующей её середине. Как видно из **рис. 3а**, при увеличении безразмерного времени *τ,* возмущения безразмерной температуры *θ* затухают таким образом, что через некоторый интервал времени распределение температуры становится практически линейным и стационарным. Эта весьма существенный факт, так как уравнение (2), на основании выявленной динамики температуры в трещине, проявляющейся в переходе от нестационарного состояния в стационарное состояние, можно записать как для установившейся конвективной диффузии

$$\frac{u\left(\delta_x\theta - 0.5\alpha^x\delta_x^2\theta\right)}{h} + \frac{\mathrm{v}\left(\delta_y\theta - 0.5\alpha^y\delta_y^2\theta\right)}{h} - \frac{\delta_x^2\theta - \delta_y^2\theta}{h^2} = 0 \quad (29)$$

$$\alpha^x \equiv \alpha_{i,j=const}, \alpha^y \equiv \alpha_{i=const,j}.$$



Примечания:

1. Шаг по времени в безразмерной системе координат $\Delta\tau$=0.02, что соответствует 4.16 часам при рассмотренном максимальном периоде, равном 50 часам;
2. Для летнего сезона принято: наружная температура $t_н$=35 °С; внутренняя $t_в$=22 °С. Для зимнего сезона, соответственно: $t_н$= –5 °С; $t_в$=15°С.
3. Расчеты выполнены для диапазона температур в безразмерной шкале от 0 до 1.5. Из соображений компактности графического представления результатов, шаг по безразмерной температуре (начальные условия) выбирался переменным.

Рис. 3. Графики изменения температуры воздуха в трещине в безразмерной системе координат
а) в точке, соответствующей её середине;
б) в размерной системе координат – в летний период;
в) в зимний период

Теперь мы можем выполнить решение уравнения (29) в узлах регулярной сетки с заданным шагом по осям X и Y обычным численным методом. Для этого аппроксимируем исследуемую трещину прямоугольной областью, задав на ней регулярную сетку, в узлах которой производится поиск решения (**рис. 4**).

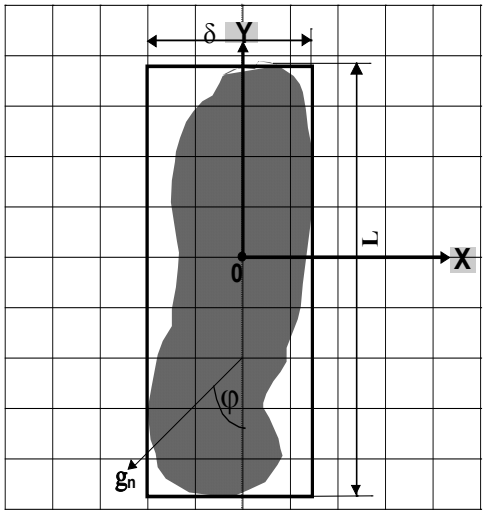


Рис. 4. Схема аппроксимации прямоугольной областью поверхности трещины

На **рис. 5** приведены результаты численного решения уравнения (29) при фиксированном значении X=δ/2 (j=const) для всех Y в диапазоне i'^{*} = 0, …, 1 с шагом h=0.05. В качестве входных данных принято $u = v = \chi$, где χ/a $[c^{-1}] = 5\cdot10^{2}\cdot2^{-0.5}$, $t_н$=35 °C, $t_в$=22 °C (лето), $t_н$= −5 °C; $t_в$=15°C (зима); значения угла φ, равные 20, 60 и 90 градусов. Распределение температуры, как функции расстояния от наружной поверхности ограждения к внутренней вдоль длины трещины при заданном угле φ ее наклона к вектору силы тяжести, приведено по шкале Цельсия. Длина трещины приводится в безразмерных единицах.

Как видно из **рис. 5**, распределение температуры воздуха по длине трещины существенно нелинейно и лишь вблизи границ поверхности (с обоих концов ограждения) можно видеть ее квазилинейное изменение. В значительной степени кривая распределения температуры зависит от угла наклона трещины: чем больше угол наклона, тем быстрее происходит изменение температуры от границ к середине трещины по ее длине. Кривые распределения температуры независимо от угла наклона трещины имеют очень близкую форму. Данное свойство позволяет аппроксимировать полученные кривые, например, полиномом n-ой степени, а затем, путем осреднения коэффициентов полинома, получить некоторую кривую, описывающую среднее распределение температуры воздуха в трещине, независимо от угла ее наклона, т.е. некоторое среднестатистическое распределение температуры воздуха в трещине. Для этого каждую из кривых безразмерной температуры для соответствующего угла наклона трещины аппроксимируем полиномом пятой степени

$$\left.\begin{aligned}\theta(y)_{\phi=20^\circ} &= -0.009+0.984x-8.311x^2+30.934x^3-35.649x^4+13.044x^5\\ \theta(y)_{\phi=60^\circ} &= -0.014+1.328x-12.248x^2+43.273x^3-51.162x^4+19.832x^5\\ \theta(y)_{\phi=90^\circ} &= -0.012+0.946x-9.322x^2+35.125x^3-42.239x^4+16.514x^5\end{aligned}\right\} \quad (30)$$

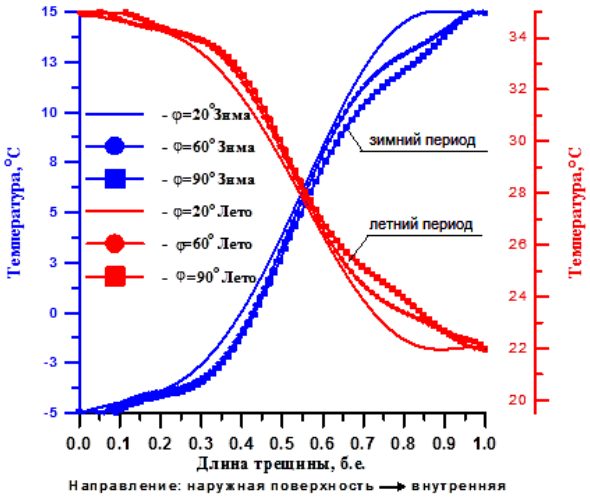


Рис. 5. График распределения температуры воздуха вдоль длины трещины по ее середине в летний и зимний периоды при различных углах φ

В формуле (30) x – независимая переменная (безразмерная длина трещины). Далее, усредняя коэффициенты полиномов при соответствующих степенях, получаем полином, описывающий среднестатистическую по углу наклона трещины кривую распределения безразмерной температуры воздуха в трещине

$$\bar{\theta}(y) = -0.012+1.086x-9.960x^2+ +36.444x^3-43.017x^4+16.463x^5. \quad (31)$$

Ошибку аппроксимации определяем исходя из граничных условий ($\theta(0)$=0, $\theta(1)$=1), которая составляет $|\Delta|$=0.012. Результаты выполненной процедуры представлены на **рис. 6.**

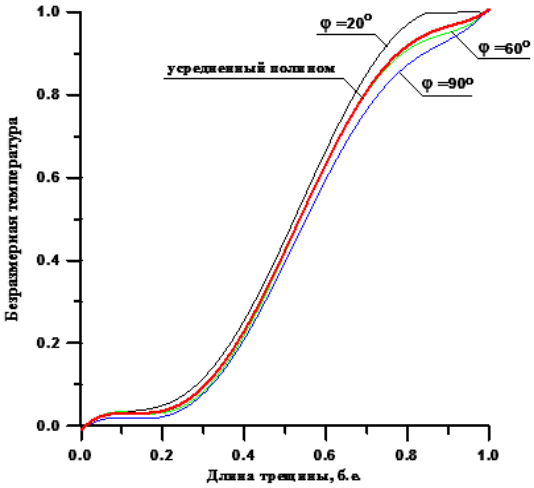


Рис. 6. Результат аппроксимации безразмерной температуры полиномами пятой степени и распределение среднестатистической температуры воздуха в трещине по углу φ

* При численных расчетах начало координат перемещено из точки {i=0,j=0} в точку {i'=i-0.5, j'=j}

Полученная математическая модель позволила перейти к рассмотрению вопроса формирования температурного поля на поверхности ограждения, имеющего сквозную фильтруемую трещину – щель. При решении были приняты следующие допущения:

- на границах рассматриваемой области поддерживается заданным образом распределение температуры, являющейся функцией времени;
- по материалам ограждения теплота передается кондуктивным переносом; охлаждение (нагревание) поверхностей щели происходит в результате теплообмена с воздухом щели, температура $T_{тр}$ которого определяется по выведенному ранее уравнению [12];
- рассматривается двумерная задача в координатной системе XY с началом координат, помещенным на наружной стороне ограждения.

Уравнение, описывающее рассматриваемую задачу, является уравнением конвективной диффузии. В соответствии с поставленными условиями, запишем его в виде двумерной задачи

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right), \tau > 0, 0 \le x \le \delta, 0 \le y < \infty, \quad (32)$$

где $T=T(x,y,\tau)$ – температура, как функция плоских координат x, y и времени τ. По условию постановки задачи, в начальный момент времени τ_o распределение температуры задано известной функцией

$$T(x,y,0) = t_н + \xi\Delta t = \Phi, \quad (33)$$

где ξ – безразмерный коэффициент термического сопротивления, равный отношению термического сопротивления слоя R (м²·К/Вт) к термическому сопротивлению ограждения R_o (м²·К/Вт); $\Delta t = t_в - t_н$, $t_в$ – температура внутреннего воздуха, К; $t_н$ – температура наружного воздуха, К.

На основании перечисленных выше, и в соответствии с тремя существующими возможными граничными условиями для диффузионных задач [13], запишем для уравнения (32) граничные условия первого рода при

$$\begin{cases} y = 0 \to T = T_{тр}; \\ x = 0 \to T = t_н; \\ x = \delta \to T = t_в. \end{cases} \quad (34)$$

Для решения данного уравнения нами были использованы метод интегрального преобразования Лапласа [13] по временной координате и метод Фурье – по пространственной координате X.

Для замены независимой переменной x введем переменную z, определенную на промежутке $[0, \pi]$

$$z = \frac{\pi x}{\delta}, \; z = \overline{0, \pi}. \quad (35)$$

Прямое и обратное синус-преобразования Фурье записываются, соответственно, в виде [13]

$$F_s(n) = \int_0^{\pi} f(z)\sin(nz)\,dz \text{ – прямое преобразование, } (36)$$

$$f(z) = \frac{1}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\sin(nz)F_s(n) \text{ – обратное преобразование. } (37)$$

Запишем уравнение (32) с учетом (35)

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a\left(\frac{\pi}{\delta}\right)^2\left(\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right), \tau > 0, 0 \le z \le \pi, 0 \le y < \infty. \quad (38)$$

К уравнению (38) применим прямое преобразование (36)

$$F_s\left[\frac{\partial T}{\partial \tau}\right] = F_s\left[a\left(\frac{\pi}{\delta}\right)^2\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right] + F_s\left[a\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right]. \quad (39)$$

Раскроем уравнение (39), выполнив соответствующие подстановки со взятием интегралов

$$\frac{\partial T_s}{\partial \tau} = -n\kappa\cos(nz)\cdot T\Big|_{z=0}^{z=\pi} + \\ +n\kappa\sin(nz)\frac{\partial T}{\partial z}\Big|_{z=0}^{z=\pi} - \int_0^{\pi} n^2\cdot\kappa\sin(nz)\cdot T dz + a\frac{\partial^2 T_s}{\partial y^2}, \quad (40)$$

где $\kappa = a\left(\frac{\pi}{\delta}\right)^2$.

С учетом граничных условий ($z = 0 \to T = t_н$ и $z = \pi \to T = t_в$), подставив пределы интегрирования в уравнение (40), получим

$$\frac{\partial T_s}{\partial \tau} = -n\kappa(t_в - t_н) - n^2\kappa T_s + a\frac{\partial^2 T_s}{\partial y^2}. \quad (41)$$

К уравнению (41) применим преобразование Лапласа, разрешив его относительно T_s. Предварительно обозначим выражение преобразования Лапласа как*

$$L\left[\frac{\partial T}{\partial \tau}\right] = ST_L - T_o. \quad (42)$$

Выражение (42) следует читать так: «искомая производная равна произведению изображения T_L на оператор S, минус значение функции в начальный момент времени τ_o, т.е. $T_o=\Phi$». Тогда

$$L\left[\frac{\partial T}{\partial \tau}\right] = L\left[-n\kappa(t_в - t_н) - n^2\kappa T + a\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right] \quad (43)$$

и, с учетом (42), получим

$$\frac{d^2 T_L}{dy^2} = \left[\frac{S}{a} + \frac{\kappa\cdot n^2}{a}\right]T_L - \frac{\Phi}{a} + \frac{n\cdot\kappa}{a}(t_в - t_н). \quad (44)$$

Преобразование Лапласа для оригинала функции T переводит дифференциальное уравнение в частных производных (41) в обыкновенное дифференциальное уравнение (44) для изображения T_L. Обыкновенное дифференциальное уравнение получено вследствие того, что изображение T_L уже не зависит от времени τ. Задача упростилась, поскольку можно сразу записать общее решение уравнения (44) для изображения T_L, полученное, например, в [13]

$$T_L(y,S) - \frac{\Phi - n\cdot\kappa(t_в - t_н)}{S + n^2\kappa} = \\ = \Re_1\cdot\exp\left[\sqrt{\frac{S+n^2\kappa}{a}}\cdot y\right] + \Re_2\exp\left[-\sqrt{\frac{S+n^2\kappa}{a}}\cdot y\right]. \quad (45)$$

Выполним анализ полученного решения (45) на границах заданной области. Для этого применим пре-

*Здесь и далее символ «L» – обозначает прямое преобразование Лапласа, а символ «L^{-1}» – обратного.

образование Лапласа к граничным условиям

$$L\left[\frac{\partial T(\infty,\tau}{\partial y}\right]=0, T_L(\infty,S)=0, \quad (46)$$

$$L\left[T(0,\tau)\right]=L\left[T_{\text{тр}}\right], T_L(0,S)=\frac{T_{\text{тр}}}{\mathrm{S}+\mathrm{n}^2\cdot\kappa}. \quad (47)$$

Из условия (46) следует, что $\Re_1$=0, так как в (45) член при $\Re_1$ неограниченно возрастает при $y\to\infty$.

Для определения $\Re_2$ воспользуемся условием (47)

$$\frac{T_{\text{тр}}}{S+n^2\cdot\kappa}-\frac{\Phi-n\cdot\kappa(t_в-t_н)}{S+n^2\cdot\kappa}=\Re_2\exp\left[-\sqrt{\frac{S+n^2\kappa}{a}}\cdot y\right],$$

однако с учётом того, что при y→ ∞ член $\exp\left[-\sqrt{\frac{S+n^2\kappa}{a}}\cdot y\right]=1$, получим

$$\Re_2=\frac{T_{\text{тр}}}{S+n^2\cdot\kappa}-\frac{\Phi-n\cdot\kappa(t_в-t_н)}{S+n^2\cdot\kappa}. \quad (48)$$

Следующий шаг – это переход от полученного для изображения решения (45) к оригиналу. Для этого воспользуемся таблицей изображений функций [13]

$$L^{-1}\left\{\frac{1}{S+\kappa\cdot n^2}\right\}=\exp\left(-k\cdot n^2\cdot\tau\right), \quad (49)$$

и

$$L^{-1}\left\{\frac{1}{S+\kappa\cdot n^2}\cdot\exp\left(-\sqrt{\frac{S+n^2\kappa}{a}}y\right)\right\}= \quad (50)$$

$$=1-erf\frac{y}{2\sqrt{a\tau}}=erfc\frac{y}{2\sqrt{a\tau}},$$

где *erf*(Z) (в нашем случае $Z=\frac{y}{\sqrt{a\tau}}$) – интеграл вероятностей [14]

$$erf(Z)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^z e^{-\xi^2}d\xi, \quad (51)$$

а функция *erfc*(Z) = 1-*erf(Z)* – дополнительная к интегралу вероятностей [14]

$$erfc(Z)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_z^\infty e^{-\xi^2}d\xi. \quad (52)$$

Таким образом, решение уравнения (40) запишется в виде

$$T_s=\left(\Phi-n\cdot\kappa\cdot(t_в-t_н)\right)\cdot\exp(-n^2\cdot\kappa\cdot\tau+ \quad (53)$$

$$+\left(T_{\text{тр}}-\Phi+n\cdot\kappa(t_в-t_н)\right)\cdot erfc\frac{y}{2\sqrt{a\tau}}.$$

И, наконец, подставляя исходные (первоначальные) переменные получаем окончательное решение задачи в виде [15]

$$T=\frac{2}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\sin\left[\frac{n\cdot\pi\cdot x}{\delta}\right]\cdot\left(\Phi-n\cdot a\frac{\pi^2}{\delta^2}(t_в-t_н)\right)\cdot\exp(-n^2\cdot\pi^2\cdot\frac{ar}{\delta^2})+ \quad (54)$$

$$+\frac{2}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\sin\left[\frac{n\cdot\pi\cdot x}{\delta}\right]\cdot\left(T_{\text{тр}}-\Phi+n\cdot a\frac{\pi^2}{\delta^2}(t_в-t_н)\right)\cdot erfc\frac{y}{2\sqrt{a\tau}}.$$

Заключение

На основании выполненных исследований нами был разработан методологический подход к проблеме термообновления наружных стеновых панелей эксплуатируемых зданий, основанный на получении объективных данных об остаточных теплозащитных свойствах ограждений, а также предложена методика оценки степени снижения теплозащитных свойств стеновых панелей по характеру температурных полей на внутренней поверхности ограждающих конструкций. Итогом явилась разработанная система комплексного мониторинга технического состояния наружных ограждений, позволяющая планомерно и корректно осуществлять контроль изменения теплотехнических свойств ограждающих конструкций и управление технической эксплуатацией объектов.

Метод математического моделирования, безусловно, открывает широкие перспективы для всестороннего исследования энергоэффективности в сфере эксплуатации железнодорожных зданий. Полученные математические зависимости, апробированные на пилотных объектах, позволят адаптировать зарубежные инженерные решения к условиям Узбекистана, а также разрабатывать новые эффективные энергосберегающие способы.

Список литературы

1. Borodinecs A., Zemitis J., Sorokins J., Baranova D. V., Sovetnikov D. O. Renovation need for apartment buildings in Latvia // Magazine of Civil Engineering. 2017. Т. 68. № 08. С. 58-64. doi: 10.5862/MCE.68.6.
2. Wong J. M., Glasser F. P., Imbabi M. S. Evaluation of thermal conductivity in air permeable concrete for dynamic breathing wall construction // Cement and Concrete Composites. 2007. Т. 29. № 9. С. 647-655. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2007.04.008.
3. Cheng Y., Niu J., Gao N. Thermal comfort models: A review and numerical investigation // Building and Environment. 2012. Т. 47. С. 13-22. doi: 10.1016/j.buildenv.2011.05.011.
4. Becker R. Air permeability and thermal performance of concrete block wall specimens // Journal of Building Physics. 2010. Т. 34. № 2. С. 163-177. doi: 10.1177/1744259110370856.
5. Tenpierik M., van der Spoel W., Cauberg H. An Analytical Model for Calculating Thermal Bridge Effects in High Performance Building Enclosure // Journal of Building Physics. 2008. Т. 31. № 4. С. 361-387. doi: 10.1177/1744259107088008.
6. Табунщиков Ю.А. Выученные и невыученные уроки энергосбережения // Энергосбережение. 2009. № 1. С. 10-13.
7. Щипачева Е.В. Основы тепловой защиты гражданских зданий в условиях сухого жаркого климата: дис. … д-ра техн. наук. Ташкент. 2008. 273 с.
8. Флетчер К. Численные методы на основе метода Галеркина. М.: Мир, 1988. 352 с.
9. Маделунг Э. Математический аппарат физики. М.: Наука, 1968. 620 с.
10. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: Стройиздат, 1973. 287 с.
11. Huyakorn P.S. Solution of steady-state, convective transport equation using an upwind finite element scheme // Applied Mathematical Modelling. 1977. Т. 1. № 4. С. 187-195.
12. Щипачева Е.В., Шаумаров С.С. Моделирование формирования температуры воздуха в сквозной трещине наружного ограждения здания // Ресурсосберегающие технологии в строительстве: межвуз. сб. науч. тр. Ташкент: ТашИИТ, 2009. Т.4. С. 60-71.
13. Фарлоу С. Уравнения с частными производными для научных работников и инженеров. М.: Мир, 1985. 384 с.
14. Абрамовиц М., Стиган И. Справочник по специальным функциям. М.: Наука, 1979. 832 с.
15. Шаумаров С.С. Совершенствование тепловой защиты стен эксплуатируемых жилых зданий: дис. … канд. техн. наук. Ташкент. 2011. 162 с.

Материал поступил в редакцию 28.04.2018

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

A STUDY ON INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS ON RAIL TRANSPORT

Adilhodzaev Anvar Ishanovich – Vice Rector for Science, D.Sc. (Eng.), Professor
Tashkent Railway Engineering Institute, Uzbekistan. Phone: +99871-299-00-06. E-mail: anvar_1950@mail.ru

Shaumarov Said Sanatovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor
Tashkent Railway Engineering Institute, Uzbekistan. Phone: +99897-420-50-70. E-mail: shoumarovss@gmail.com

Abstract
The study on increasing the energy efficiency of buildings on rail transport is carried out. The features of distributing the air temperature in filterable crack and processes of forming the temperature field on the surface of the enclosure have been studied. The mathematical formulation of temperature field of building envelope as a function of its deterioration is obtained. Authors propose the evaluation method of heat-shielding properties of external walls depending on temperature fluctuations indoors.

Keywords: energy efficiency, rail transport, temperature, indoor climate, mathematical model, temperature field, thermal conductivity.

References

1. Borodinecs A., Zemitis J., Sorokins J., Baranova D.V., Sovetnikov D.O. Renovation need for apartment buildings in Latvia] // Magazine of Civil Engineering. 2017, vol. 68, no. 08, pp. 58–64. doi: 10.5862/MCE.68.6.
2. ong J. M., Glasser F. P., Imbabi M. S. Evaluation of thermal conductivity in air permeable concrete for dynamic breathing wall construction] // Cement and Concrete Composites. 2007, vol. 29, no. 9, pp. 647–655. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2007.04.008.
3. Cheng Y., Niu J., Gao N. Thermal comfort models] // Building and Environment. 2012, vol. 47, pp. 13–22. doi: 10.1016/j.buildenv.2011.05.011.
4. Becker R. Air permeability and thermal performance of concrete block wall specimens] // Journal of Building Physics. 2010, vol. 34, no. 2, pp. 163–177. doi: 10.1177/1744259110370856.
5. Tenpierik M., van der Spoel W., Cauberg H. An analytical model for calculating thermal bridge effects in high performance building enclosure] // Journal of Building Physics. 2008, vol. 31, no. 4, pp. 361–387. doi: 10.1177/1744259107088008.
6. Tabunshchikov IU.A. Vyuchennye i nevyuchennye uroki energosberezheniia [Learned and unlearned lessons of Energy Saving] // Energosberezhenie [Energy Saving Journal]. 2009, no. 1, pp. 10–13. (In Russ.).
7. Shchipacheva E.V. Osnovy teplovoi zashchity grazhdanskikh zdanii v usloviiakh sukhogo zharkogo klimata [Basics of thermal protection of civil buildings in the conditions of a dry hot climate]: doctoral dissertation]. Tashkent: Tashkent Railway Engineering Institute. 2008. 273 p. (In Russ.).
8. Fletcher K. Chislennye metody na osnove metoda Galerkina [Numerical methods based on Galerkin method]. Moscow: Mir. 1988. 352 p. (In Russ.).
9. Madelung E. Matematicheskii apparat fiziki [Mathematical Apparatus of Physics]. Moscow: Nauka. 1968. 620 p. (In Russ.).
10. Fokin K.F. Stroitelnaya teplotexnika ograjdayuzhix chastey zdaniy [Building heat engineering of the enclosing parts of buildings]. Moscow: Stroyizdat. 1973. 287 p. (In Russ.).
11. Huyakorn P.S. Solution of steady-state, convective transport equation using an upwind finite element scheme] // Applied Mathematical Modelling. 1977, vol. 1, no. 4, pp. 187–195.
12. Shchipacheva E.V., Shaumarov S.S. Modelirovanie formirovaniia temperatury vozdukha v skvoznoi treshchine naruzhnogo ograzhdeniia zdaniia [Modeling the formation of air temperature in the through crack of the outer fence of the building] Resursosberegaiushchie tekhnologii v stroitelstve: mezhvuz. sb. nauch. tr. [Resource saving technologies in construction: Proceedings]. 2009, Tashkent: Tashkent Railway Engineering Institute. vol. 4, pp. 60–71. (In Russ.).
13. Farlou S. Uravneniia s chastnymi proizvodnymi [Partial differential equations]. Moscow: Mir. 1985. 384 p. (In Russ.).
14. Abramovitc M., Stigan I. Spravochnik po spetcialnym funktciiam [Guidebook on special functions]. Moscow: Nauka. 1979. 832 p.
15. Shaumarov S.S. Sovershenstvovanie teplovoi zashchity sten ekspluatiruemykh zhilykh zdanii [Improvement of thermal protection of panel walls of operated residential buildings]: PhD thesis]. Tashkent: Tashkent Railway Engineering Institute. 2011. 162 p. (In Russ.).

Received 28/04/2018

Адилходжаев А.И., Шаумаров С.С. К исследованию вопроса повышения энергоэффективности зданий на железнодорожном транспорте // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2018. Т.8. №1. С. 4-11

Adilhodzaev A.I., Shaumarov S.S. A study on increasing the energy efficiency of buildings on rail transport //*Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern Problems of Russian Transport Complex]. 2018, vol.8, no.1, pp. 4-11

УДК 628.465.3(612) https://doi.org/10.18503/2222-9396-2018-8-1-12-19

OPTIMIZATION OF MUNICIPAL WASTE MANAGEMENT IN LIBYA

Ibrahim Badi [1], Željko Stević [2], Ali Abdulshahed [1], Živko Erceg [2]

[1] Misurata University, Libya
[2] University of East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

Abstract
As in many developing countries, Libya is still managing the solid waste improperly. This fact has led to increase the amount of solid wastes accumulated in the country. With low fuel costs, the companies make low consideration to the transportation cost. The research in municipal solid waste in Libya is rare and focused on waste classification area. The objective of this paper is to evaluate the municipal solid waste management system in Misurata city, Libya, and to suggest a model which minimizes the total cost of waste management by adding a collection stations. The paper evalutes two models: in the first model only collection vehicles are used, and the waste transfered directly to the dumping site. In the second model collection sites are tested, and the best one is selected according to the total cost. ADD algorithm used in the second model. The second model showed that there is a reduction in the total distance travelled by the trucks up to 45%.

Key words: Municipal solid waste, Libya, collection station, ADD algorithm.

1. Introduction*

In developing countries, the urbanisation increased concentration of people which implies an accumulation of waste that needs to be properly disposed. Developing an adequate plan for waste management in these countries is still a real challenge. Recent studies have shown that the selection of an adequate solid waste management (SWM) strategy in underdeveloped and developing countries contributes to its optimization [1]. The implementation of the so-called 3R strategy (which are reduce, reuse and recycle) is growing, as it is necessary to reduce the wastes at the place of production, then to reuse it, and the last option is to recycle [2].

Unsuitable waste management practices may cause degradation of valuable land resources and create long-term environmental and human health problems. An efficient waste management plan is needed to obtain the quality of life and environment. Waste management requires many emerging technologies related to waste generation, collection and classification, transportation, and final disposal.

Awareness to waste can affect all stages in the waste management process [3]. This has an impact on all waste management systems include: waste segregation, recycling, collection, willingness to pay for services, and the level and type of opposition to waste remedy and disposal services [4].

Waste collection stations play a significant role in a resident's total waste management system, serving as the link between a resident's waste collection schedule and a final disposal site. [5]. Badran and El-Haggar used mixed integer programming to find the best locations of the collection sites in Port Said [6]. Pérez-Salazar et al. [7] used a mixed integer programming model for facility location from pre-identified locations in Mexico. Asase et al. [8] reviewed the integrated waste management systems in the city of London, Ontario-Canada and Kumasi, Ghana. Das and Bhattachayya [9] used mixed integer programming and heuristic algorithm to optimize the collection and routing in the waste management system to minimize the total cost. Economic considerations play an important role when the waste is to be transported at a distant site [10]. Kirca et al. [11] introduced that a integer model for determining the best locations of the collection stations. The model developed is a location-allocation model where the objective function training to optain a minimum cost trade-off between the sum of fixed and operating costs of the collection stations. [12] used a model which determines the optimal locations of the landfill sites as well as the locations of the collection stations in North Greece. They implement a number of models to a number of district problems. In their approach described, various population growth patterns are considered, and multi-period decisions are made. However, most of the above-mentioned studies for the collection station problem try to identify the optimal location and number of collection stations for a given waste management task. Novarlić et al. Suggested innovative way of transport in organizing transport routes to improve waste management in cities [13].

Undoubtedly, sizes, and services offered very important for collection stations; they all serve the same basic goal (transfer waste from a number of collection vehicles into larger vehicles for more economical service to dumping sites. In this form, a collection station is used to receive waste in the areas which designed to receive waste from small vehicles. The waste is normally compacted, then loaded into larger vehicles (e.g., usually transfer trailers, containers, railcars, and barges). On the other hand, long-haul were shipment to a final site; typically, a landfill, damping sites or a composting facility. No long-term storage of waste takes place at a collection station; waste is quickly combined and loaded into a larger vehicle and

© Badi I., Stević Ž., Abdulshahed A., Erceg Ž., 2018.

transferred, usually in a short period.

Depending on its characteristics, the MSW can be preferentially processed by different approaches. The present waste management methods in Libya are highly dependent on dumping sites as only 3% of the MSW is recycled and composted, while the remaining 97% of MSW is eliminated through open dumping sites [14]. Waste recycling is mainly performed by garbage scavengers at the dumping sites. To date, SWM in Libya is at the stage of transition and planning towards sustainable and effective approaches. Sustainable and more efficient waste management strategies are needed to reduce the heavy reliance on dumping sites.

Rapid urbanisation, population growth and industrialisation contribute towards a large-scale increase of MSW in Libya. These factors have changed the characteristics and composition of the solid waste generated. For instance, the majority of the residents in the central part of Libya are dissatisfied with the current existing solid waste management program, and the current SWM services are inefficient [15].

It is found that optimization of solid waste management has not yet been used in any of the Libyan cities. All research regarding municipal solid waste in Libya conducted in the field of waste classification [16-19].

2. Municipal waste in Misurata city

The waste management system in Misurata city, as the other Libyan cities, led to piling up of mountains of waste in the different sites. The waste accumulated even in the streets (see **figure 1**). The City Council (CC) controls the whole system of the MSW, starting from the collection, transportation process, and ending by damping sites. Furthermore, the CC has some equipment and the infrastructures such as trucks and final dumping site. Currently, and for many years, these services provided freely. Like the other Libyan cities, waste is mostly dumped in the damping sites and burned it in open areas [20]. Consequently, the resulting pollutions can cause much health and environmentally problems. The processes of collection and disposal of the waste are the responsibility of the CC which has limited equipment, and therefore, provide unreliable services. When the dumping sites are filled with wastes, the only solution for CC is to burn it. This inappropriate management of wastes can lead to serious health and environmental problems as a result of fires, explosions, and contamination of air, and might affect water as well. Undoubtedly, wastes polluting the environment and threaten human health requires the public education and awareness.

The quantity of MSW generated in Misurata is estimated to be more than 400 tons/day. About 85% of the produced waste is throwing in open dumps and about (15%) is composted. Even some of the waste is burned in the open areas, there are more than 2.300 open dumps in the country with an area of approximately 3.500 ha [14]. Most of these dumps are nearly saturated and no monitoring nor evaluation procedure to the MSW activities. Therefore, there is almost no performance or target that should be achieved by the MSW management.

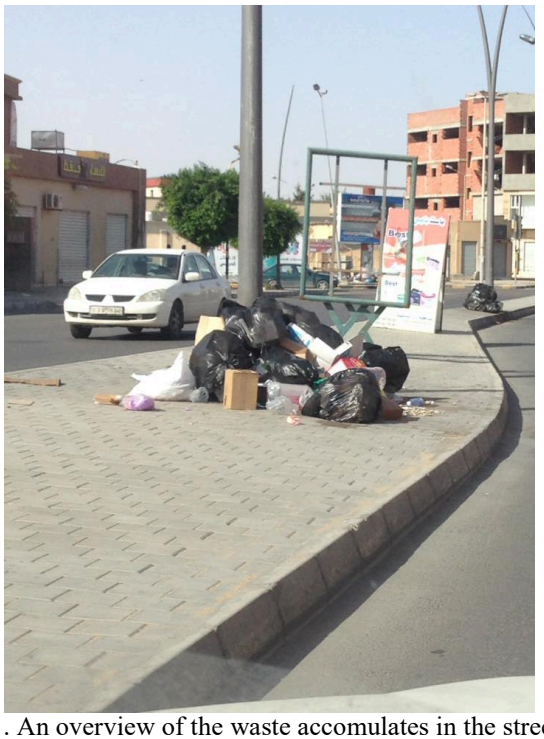


Fig. 1. An overview of the waste accomulates in the street

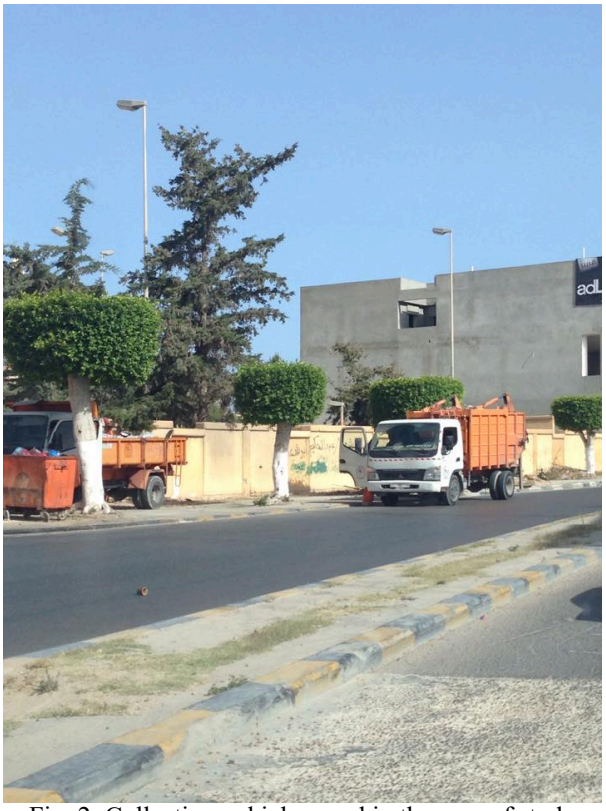


Fig. 2. Collection vehicles used in the area of study

Except the composting plant, there is no treatment provided to the waste after collection. The old trucks used, shortage of technical skills, improper bin collection, and route planning are among the issues resulting in poor

collection and transportation of MSW. There are different types of vehicles used to collect the wastes such as ordinary trucks, tractor-trailers, dumper-placers, and tippers. The commonly used vehicle is the open-body trucks of 1-5-tonne capacity. Tractor-trailers are used in smaller areas even if they were noisy and inefficient. **Figure 2** shows a collection vehicle used in the area of study.

In most of Libyan cities, citizens who handle wastes are valued as dirty, and poor, and carrying household waste to bins is often considered as a duty for young people and children. Efforts have been made by Misurata Council to increase public awareness of Waste Management issues, and there have been radio programs on the awareness and education of Waste Management issues. The side effects of inappropriate waste disposal have been well publicised. Nevertheless, most people still do not realize that environmental quality is not just the responsibility of the CC and that the individual also has an important role.

Collection vehicles consist of pick-up trucks of 1-ton capacity, some of them have a feature of lifting bins. These trucks used for collecting and transferring the waste from the streets to the dumping site. There are also trucks used for the transfer of the construction and demolition waste from sites to the dumping site. A 5-ton flatbed transfer vehicles can be used for waste transfer from the collection stations to the dumping site.

There were two open collection sites in Misurata, and both of them were closed because of people unacceptance. The residents have voiced concerns about waste collection centers who are poorly designed, located, or operated. Moreover, some individuals might feel that collection stations are disproportionately concentrated in or near their communities. Even so, collection stations play a most important role in a local community's waste management system. In this work, two scenarios of waste collection were explained. The goal of this work is to assist the use of best practices in collection station siting to maximize facilities' effectiveness and efficiency, while minimizing their cost and impact on the community.

3. The approach

A location problem is to find the locations of facilities, which minimize the sum of weighted Euclidean distances of customers form these locations [21]. Some features should be considered in this approach such as space, number of new facilities to be located, and the number of existing facilities.

Jacobsen [22] generalized incapacitated plant location model to the capacitated model with the lower bound named ADD-LO and the upper bound which named as ADD-HI. Domschke and Drexl [23] also used the same bounds, but with a starting procedure for the initial solution. Akinc and Khumawala [24] used the same branch and bound solution model for capacitated warehouse location problem. The efficient branch and bound solution is made by developing dominance of lower and upper bounding procedures and branch and node selection rules utilizing the special structure of the problem.

In ADD procedure, each depot is added to the solution reduces the cost as much as possible. In each iteration, a depot is greedily added to the solution until the algorithm is not able to find a depot where the largest saving obtains.

The city considered in this case study is Misurata city in Libya (see **figure 3**). Misurata is the third most populated city in Libya with a population over 300000; **Table 1** shows the population of each district in the city. However, a highly dense population results in large quantities of waste production in a small region. Currently, the average daily waste per person was estimated to be over one kilogram. The content of the waste shows some variability during different seasons. As mentioned earlier in this paper, there is no collection stations operating, thus the collection vehicles transport the waste to dumping site, which is at least 40 kilometres away from the city centre.

Fig. 3. Misurata city map

Table 1

Population of the districts

№	District	Population
1	Tomina	24.148
2	Eldafnia	16.370
3	Gaser Ahmed	19.208
4	Elzaroug	32.288
5	Elgiran	32.924
6	9 yolyo	41.179
7	Ras Touba	29.500
8	Elmahgoub	30.027
9	That Elremal	37.531
10	Shuhada Rmila	52.326
	Total population	315.501

The resources used for collection and transport, trucks and labor, can be utilized more effectively if waste could be transported to dumping site via collection stations. The quantity of waste generated has been significant raised in both quantity and diversity without investment in collection, transport, treatment and disposal services. These difficulties are further involved by political, economic and social influences. The intent of this section is to reduce the cost of transporting waste to the disposal site. **Figure 4** shows the total quantity of waste generated every day in each district in Misurata city.

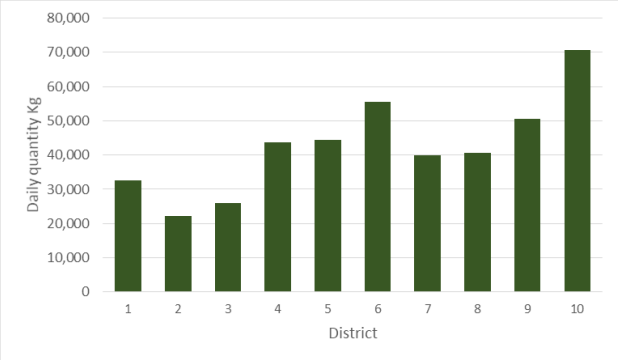


Fig. 4. Total daily waste

Collection and transportation are a major cost in the waste management process [25]. Public firms collect house-to-house, typically between one and two times a week, depending on the availability and condition of their vehicles. **Figure 5** shows the total monthly trips per district, which equal to 2.130 trips. These trips are done by small and medium collection vehicles.

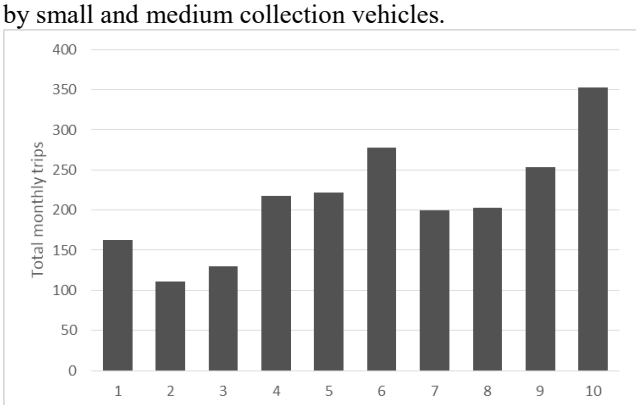


Fig. 5. Total number of trips

The goal of this research is to minimize the total cost. For this purpose, two scenarios of waste collection are illustrated. The different transport models present the different transport approach among following points: With respect to the location problem under consideration, the method is performed in the following steps:

- 10 collection districts;
- one or more collection stations;
- one dumping site.

Figure 6 illustrates both scenarios: First scenario is to send the collected waste directly to the dumping site, which is the current situation. The second scenario is to open collection stations.

3.2.1 First model

In this model, only the collection vehicles are used to collect the waste. The transport to the dumping site takes place immediately after the waste collection. Because of the long distances between the collection areas and the dumping site, this approach may be not useful.

In this model, the following steps are taken:

- the first step is to transport from thier parking place to the collection area, and in this step they are empty;
- after collecting the wastes, transport from the collection area to the dumping site with loaded driving;
- transport from the dumping site back to the parcking place after unloading waste.

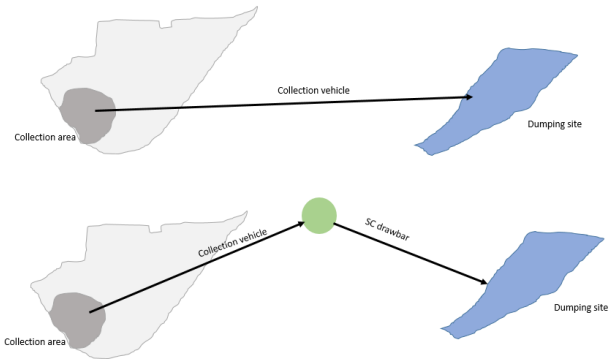


Fig. 6. Current situation and the suggested model

3.2.2 Second model

This model is decomposed into two phases. The first phase is the waste collection with the collection vehicles. The second phase is waste transportation with flatbed or SC-drawbar vehicles. There are basically the following routes.

For collection vehicles:

- transport from the parcking place to the collection area;
- transport from the collection area to the collection station;
- after unloading the filled container in the collection station, driving back to the parcking place.

For transfer vehicles:

- transport from the parcking place to the collection station;
- after loading the wastes, transport from the collection statio to the dumping;
- transport from the dumping site back to the parcking place.

The following notations will be used in ADD algorithm:

I= the set of locations;
I_0= subset of I that has been decided to close;
I_1= subset of I that has been decided to open;
I_2= subset of I that is yet undecided.

Anew facility is added at the location which results in the largest saving as follows:

- Calculate the total cost according to the following equation:

Total cost C_t= Fixed cost C_F + total transportation costs from the collection areas to the collection station C_{CT} + total transportation cost from collection station to the dumping site C_{TL}.

- For each depot (i) that belongs to the candidates depots (I_2) or $i \in I_2$ computes the saving cost (A_{i0}) with the formula below:

$$A_{i0} = C * (I_1, J) - C * (I_1 \cup \{i_0\}, J) - a_{i0}.$$

- find the depot that have the largest saving depot i (i * such that $A_i * = max\ i \in I_2\{A_{i0}\}$).
- if $A_i* > 0$, i* is transferred from I_2 to I_1 and another iteration is made. If $A_i* \leq 0$, the elements of I_2 are transferred to I_0.
- When the savings cost is less than zero the computations are discontinued.

At the iteration number one of the first scenario, which shown in **figure 7**, it is cleary that opening collection station at any of the sites will minimize the cost. District number 7 is the one with the biggest savings, ans will minimize the total cost by 40% (to 2 235 840).

Considering that collection station at site number 7 is obened, **figure 8** showed the result of iterarion number two. Opening another collection station at district number 2 will decrease the totatl cost to 2 192 929.

At iteration number three, no savings is occurred and opening new collection station at any district will increase the total cost.

District #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fixed Cost	192,000	252,000	252,000	276,000	300,000	240,000	294,000	432,000	396,000	420,000
1	0	144,000	90,000	75,600	183,600	198,000	134,400	172,800	144,000	218,400
2	144,000	0	222,000	313,200	183,600	211,200	134,400	134,400	156,000	235,200
3	90,000	222,000	0	399,600	345,600	224,400	182,400	268,800	192,000	302,400
4	75,600	313,200	399,600	0	334,800	211,200	172,800	220,800	168,000	252,000
5	183,600	183,600	345,600	334,800	0	382,800	249,600	220,800	312,000	386,400
6	198,000	211,200	224,400	211,200	382,800	0	57,600	105,600	60,000	117,600
7	134,400	134,400	182,400	172,800	249,600	57,600	0	96,000	48,000	84,000
8	172,800	134,400	268,800	220,800	220,800	105,600	96,000	0	120,000	151,200
9	144,000	156,000	192,000	168,000	312,000	60,000	48,000	120,000	0	67,200
10	218,400	235,200	302,400	252,000	386,400	117,600	84,000	151,200	67,200	0
Cost	1,552,800	1,986,000	2,479,200	2,424,000	2,899,200	1,808,400	1,453,200	1,922,400	1,663,200	2,234,400
	2,399,329	2,992,251	3,213,923	3,094,834	3,522,117	2,622,984	2,235,840	2,784,901	2,397,923	3,001,067

Fig. 7. Iteration number 1

District #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fixed Cost	192,000	252,000	252,000	276,000	300,000	240,000	294,000	432,000	396,000	420,000
1	0	144,000	90,000	75,600	144,000	144,000	134,400	144,000	144,000	144,000
2	144,000	0	156,000	156,000	156,000	156,000	134,400	134,400	156,000	156,000
3	90,000	192,000	0	192,000	192,000	192,000	182,400	192,000	192,000	192,000
4	75,600	168,000	168,000	0	168,000	168,000	168,000	168,000	168,000	168,000
5	183,600	183,600	312,000	312,000	0	312,000	249,600	220,800	312,000	312,000
6	60,000	60,000	60,000	60,000	60,000	0	57,600	60,000	60,000	60,000
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	120,000	120,000	120,000	120,000	120,000	105,600	96,000	0	120,000	120,000
9	120,000	120,000	120,000	120,000	120,000	60,000	48,000	120,000	0	67,200
10	67,200	67,200	67,200	67,200	67,200	67,200	67,200	67,200	67,200	0
Cost	1,346,400	1,600,800	1,639,200	1,672,800	1,621,200	1,738,800	1,725,600	1,832,400	1,909,200	1,933,200
	2,192,929	2,607,051	2,373,923	2,343,634	2,244,117	2,553,384	2,508,240	2,694,901	2,643,923	2,699,867

Fig. 8. Iteration number 2

District #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fixed Cost	192,000	252,000	252,000	276,000	300,000	240,000	294,000	432,000	396,000	420,000
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	134,400	0	134,400	134,400	134,400	134,400	134,400	134,400	134,400	134,400
3	90,000	182,400	0	182,400	182,400	182,400	182,400	182,400	182,400	182,400
4	75,600	168,000	168,000	0	168,000	168,000	168,000	168,000	168,000	168,000
5	183,600	183,600	249,600	249,600	0	249,600	249,600	220,800	249,600	249,600
6	57,600	57,600	57,600	57,600	57,600	0	57,600	57,600	57,600	57,600
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	96,000	96,000	96,000	96,000	96,000	96,000	96,000	0	96,000	96,000
9	120,000	120,000	120,000	120,000	120,000	60,000	48,000	120,000	0	67,200
10	67,200	67,200	67,200	67,200	67,200	67,200	67,200	67,200	67,200	0
Cost	1,502,400	1,612,800	1,630,800	1,669,200	1,611,600	1,683,600	1,783,200	1,868,400	1,837,200	1,861,200
	2,348,929	2,619,051	2,365,523	2,340,034	2,234,517	2,498,184	2,565,840	2,730,901	2,571,923	2,627,867

Fig. 9. Iteration number 3

Figure 10 shows the results for different scenarios. For first scenario, the total cost for one year equals to 3 703 324. This cost could be reduced by adding two collection stations at disrticts 7 and district 1.

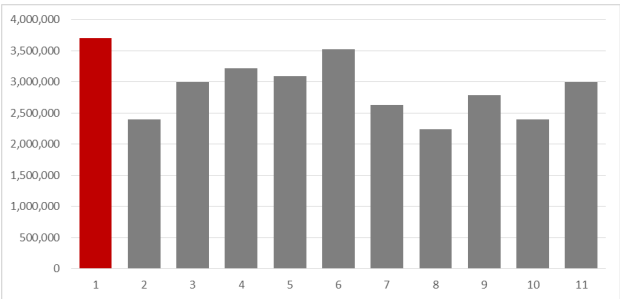


Fig. 10. Results of both scenarios

The primary purpose for using collection stations is to minimize the transportation cost to the damping sites. Integrating a small amount of waste from collection vehicles into larger vehicles will minimize the cost of transporting of waste by allowing staffs to spend less time carrying of waste to damping sites and more time collecting waste. Furthermore, this procedure also will reduce vehicle maintenance costs and fuel consumption, while minimizing the overall traffic in the city center. In addition, a collection station also may provide: A possibility to classify the waste prior to disposal; An opportunity to select the optimal disposal options; A possibility to service as a collection centre for public use.

At the collection center, workers can classify coming wastes to different categories. Waste classification has two stages: separating recyclables waste and identifying any parts that might be unsuitable for disposal (e.g., harmful wastes, white goods, material, tires, or batteries). Distinguishing and extracting recyclable items (which might generate revenue) reduces the volume and weight of waste transporting to the final damping sites. Classifying and removing inappropriate wastes might be more efficient in the collection centers than the damping sites.

Waste collection centers also might offer adaptability in terms of disposal alternatives. CC decision-makers will have great opportunity to choose the most effective option for damping sites, even with the cost of more distant. Moreover, they also can think about multiple damping sites, secure competitive transporting fees, and select a desired method at damping site.

As abovementioned, collection centers can open to public use. For instance, this facility enables residents to transfer waste directly to the local collection center for classification and later for final disposal. Some collection centers might offer service to collect bulky items, yard items, hazardous, and recyclable items. These centers can be also used to help the residents because they facilitate in achieving recycling objectives and increase the public's awareness of proper waste Management.

4. Conclusions

Waste management is a global and challenging environmental issue facing the world. This paper illustrates the current situation of waste collection, management, transportation, and final disposal in Misurata, Libya. The performance of the MSW system depends heavily on many important factors such as the country situation, policies in environmental fields, the available technology, and the awareness and education of residents. Increased community awareness is needed by Misurata city council regarding waste management issues.

One of the objectives of this work is to suggest optimal locations and an investment plan for collection stations to the Municipal Council of Misurata. Two models have been evaluated in order to help the decision maker to prepare a request for a proposal for a collection station bidding, by determining the total number of the collection stations. The waste management system in Misurata city suffers from many factors includes technical issues, unfavorable legislative, and operational constraints. More active responsibility of the private sector and full integration of the unofficial sector is suggested.

References

1. Coban A., Ertis I. F., Cavdaroglu N. A. Municipal solid waste management via multi-criteria decision making methods // Journal of Cleaner Production. 2018, vol. 180, pp. 159–167. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.01.130.
2. Ma J., Hipel K. W. Exploring social dimensions of municipal solid waste management around the globe - A systematic literature review // Waste management (New York, N.Y.). 2016, vol. 56, pp. 3–12. doi: 10.1016/j.wasman.2016.06.041.
3. Zurbrügg C. Urban solid waste management in low-income countries of Asia - how to cope with the garbage crisis // Urban Solid Waste Management Review Session. 2002, Durban: Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), pp. 1–13.
4. Imam A., Mohammed B., Wilson D.C., Cheeseman C.R. Solid waste management in Abuja, Nigeria // Waste management (New York, N.Y.). 2008, vol. 28, no. 2, pp. 468–472. doi: 10.1016/j.wasman.2007.01.006.
5. Visvanathan C., Tränkler J. Municipal solid waste management in Asia: A comparative analysis // Workshop on Sustainable Landfill Management 3–5 December. 2003, Chennai, India, pp. 3–15.
6. Badran M.F., El-Haggar S.M. Optimization of municipal solid waste management in Port Said - Egypt // Waste management (New York, N.Y.). 2006, vol. 26, no. 5, pp. 534–545. doi: 10.1016/j.wasman.2005.05.005.
7. María del Rosario Pérez-Salazar, Nicolás Francisco Mateo-Díaz, Rogelio García Rodríguez, Lidilia Cruz Rivero, Carlos Eusebio Mar Orozco. A mixed integer model of the capacitated facility location problem for solid waste management at the northern region of Veracruz, Mexico // Recent Advances in Theory, Methods, and Practice of Operations Research. 2014, Monterrey: UANL - Casa Universitaria del Libro, pp. 113–120.
8. Asase M., Yanful E. K., Mensah M., Stanford J., Amponsah S. Comparison of municipal solid waste management systems in Canada and Ghana: A case study of the cities of London, Ontario, and Kumasi, Ghana // Waste Management. 2009, vol. 29, no. 10, pp. 2779–2786. doi:10.1016/j.wasman.2009.06.019.
9. Das S., Bhattacharyya B. K. Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes // Waste management (New York, N.Y.). 2015, vol. 43, pp. 9–18. doi: 10.1016/j.wasman.2015.06.033.
10. Kharat M. G., Kamble S. J., Raut R. D., Kamble S. S., Dhume S. M. Modeling landfill site selection using an integrated fuzzy MCDM approach // Modeling Earth Systems and Environment. 2016, vol. 2, no. 2, p. 758. doi: 10.1007/s40808-016-0106-x.
11. Kirca Ö., Erkip N. Selecting transfer station locations for large solid waste systems // European Journal of Operational Research. 1988, vol. 35, no. 3, pp. 339–349. doi: 10.1016/0377-2217(88)90224-X.
12. Erkut E., Karagiannidis A., Perkoulidis G., Tjandra S. A. A multicriteria facility location model for municipal solid waste management in North Greece // European Journal of Operational Research. 2008, vol. 187, no.3, pp. 1402–1421. doi: 10.1016/j.ejor.2006.09.021.
13. Boris Novarlić, Željko Stević, Predrag Đurić, Marko Vasiljević Efficiency in organizing transport routes as part of the city waste management: proposal for innovative way of transport // International Journal for Quality Research. 2017, vol. 11, no. 3. doi: 10.18421/IJQR11.03-02.
14. Hamad T. A., Agll A. A., Hamad Y. M., Sheffield J. W. Solid waste as renewable source of energy: current and future possibility in Libya // Case Studies in Thermal Engineering. 2014, vol. 4, pp. 144–152. doi:10.1016/j.csite.2014.09.004.
15. Omran A., Gebril A.O. Municipal solid waste management practices in the central part of Libya // The Impact of Climate Change on Our Life: The Questions of Sustainability. 2018, Singapore: Springer Singapore, pp.149–

165.
16. Abdelnaser O., ALsadey S., Gavrilevscu M. Municipal solid waste management in Bani Walid City, Libya // Journal of Environmental Management and Tourism. 2011, vol. 2, no. 2.
17. Naser Ali Ahmed Alhderi, Purwanto Purwanto, Henna Rya Sunoko Impacts of four seasons in municipal solid waste in Al-Khums City // Science Journal of Environmental Engineering Research. 2015, vol. 2015, pp.1–5. doi: 10.7237/sjeer/191.
18. Omran A.G., Gebril A.O., Pakir H.K. Solid waste management in Al-Abyar City, Libya // SGEM2011 11th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. 2011, Albena Seaside & Spa Resort, Bulgaria: Stef92 Technology. vol. 3, pp. 617–622.
19. Gebril A. O., Omran A., Pakir A. H. K., Aziz H. A. Municipal solid waste management in Benghazi (Libya) // Environmental Engineering and Management Journal. 2010, vol. 9, no. 9, pp. 1289–1296. doi:10.30638/eemj.2010.167.
20. Omran A., Altawati M., Davis G. Identifying municipal solid waste management opportunities in Al-Bayda City, Libya // Environment, Development and Sustainability. 2018, vol. 20, no. 4, pp. 1597–1613. doi:10.1007/s10668-017-9955-3.
21. Srivastava R. Algorithms for solving the location - routing problem: PhD thesis. Ohio: The Ohio State University. 1986. 269 p.
22. Jacobsen S. K. Heuristics for the capacitated plant location model // European Journal of Operational Research. 1983, vol. 12, no. 3, pp. 253–261. doi: 10.1016/0377-2217(83)90195-9.
23. Domschke W., Drexl A. ADD-heuristics' starting procedures for capacitated plant location models // European Journal of Operational Research. 1985, vol. 21, no. 1, pp. 47–53. doi: 10.1016/0377-2217(85)90086-4.
24. Akinc U., Khumawala B. M. An Efficient Branch and Bound Algorithm for the Capacitated Warehouse Location Problem // Management Science. 1977, vol. 23, no. 6, pp. 585–594. doi: 10.1287/mnsc.23.6.585.
25. Sharholy M., Ahmad K., Mahmood G., Trivedi R. C. Municipal solid waste management in Indian cities - A review // Waste management (New York, N.Y.). 2008, vol. 28, no. 2, pp. 459–467. doi: 10.1016/j.wasman.2007.02.008.

Received 10/09/2018

ДАННЫЕ СТАТЬИ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫВОЗА ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В ЛИВИИ

Бади Ибрагим – доцент, PhD
Университет Мисрата, Ливия. E-mail: ibrahim.badi@hotmail.com
Стевич Желько – PhD
Восточно-Сараевский университет, Босния и Герцеговина. E-mail: zeljkostevic88@yahoo.com
Абдушахед Али – PhD
Университет Мисрата, Ливия. E-mail: aa_shahed@yahoo.com
Эрцег Живко – PhD
Восточно-Сараевский университет, Босния и Герцеговина. E-mail: zivkoerceg@gmail.com

Аннотация
Управление твёрдыми бытовыми отходами в Ливии, как и во многих развивающихся странах, по-прежнему организовано ненадлежащим образом. В результате несвоевременного вывоза отходов наблюдается их скопление в городах. Одна из причин такого положения заключается в том, что компании, обеспечивающие вывоз мусора, не принимают в расчёт транспортные затраты по причине низкой стоимости топлива. Исследования в области утилизации твёрдых бытовых отходов в Ливии редки и сосредоточены, главным образом, на проблеме сортировки отходов. Целью настоящего исследования является оценка системы управления твёрдыми бытовыми отходами в городе Мисрата (Ливия) и разработка модели, которая позволяет определить минимум суммарных затрат на переработку твёрдых бытовых отходов в результате использования дополнительных пунктов (станций) накопления отходов. В статье представлен анализ двух моделей: в первой модели рассматривается вариант транспортировки твёрдых бытовых отходов непосредственно на место их захоронения; во второй модели оценивается эффективность предварительного накопления отходов на промежуточной станции. Критерием эффективности второй модели является величина суммарных затрат на переработку отходов. В качестве расчётного метода используется ADD-алгоритм. Результаты расчётов с использованием предлагаемой модели показали, что сокращение общего пробега автомобилей-мусоровозов, в случае использования промежуточного пункта накопления мусора, может достигать 45%.

Ключевые слова: твёрдые бытовые отходы, Ливия, накопительные пункты, ADD-алгоритм.

Список литературы

1. Coban A., Ertis I. F., Cavdaroglu N. A. Municipal solid waste management via multi-criteria decision making methods // Journal of Cleaner Production. 2018, vol. 180, pp. 159–167. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.01.130.
2. Ma J., Hipel K. W. Exploring social dimensions of municipal solid waste management around the globe - A systematic literature review // Waste management (New York, N.Y.). 2016, vol. 56, pp. 3–12. doi: 10.1016/j.wasman.2016.06.041.
3. Zurbrügg C. Urban solid waste management in low-income countries of Asia - how to cope with the garbage crisis // Urban Solid Waste Management Review Session. 2002, Durban: Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), pp. 1–13.
4. Imam A., Mohammed B., Wilson D.C., Cheeseman C.R. Solid waste management in Abuja, Nigeria // Waste management (New York, N.Y.). 2008, vol. 28, no. 2, pp. 468–472. doi: 10.1016/j.wasman.2007.01.006.
5. Visvanathan C., Tränkler J. Municipal solid waste management in Asia: A comparative analysis // Workshop on Sustainable Landfill Management 3–5 December. 2003, Chennai, India, pp. 3–15.
6. Badran M.F., El-Haggar S.M. Optimization of municipal solid waste management in Port Said - Egypt // Waste management (New York, N.Y.). 2006, vol. 26, no. 5, pp. 534–545. doi: 10.1016/j.wasman.2005.05.005.
7. María del Rosario Pérez-Salazar, Nicolás Francisco Mateo-Díaz, Rogelio García Rodríguez, Lidilia Cruz Rivero, Carlos Eusebio Mar Orozco A mixed integer model of the capacitated facility location problem for solid waste management at the northern region of Veracruz, Mexico // Recent Advances in Theory, Methods, and Practice of Operations Research. 2014, Monterrey: UANL - Casa Universitaria del Libro, pp. 113–120.
8. Asase M., Yanful E. K., Mensah M., Stanford J., Amponsah S. Comparison of municipal solid waste management systems in Canada and Ghana: A case study of the cities of London, Ontario, and Kumasi, Ghana // Waste Management. 2009, vol. 29, no. 10, pp. 2779–2786. doi:10.1016/j.wasman.2009.06.019.
9. Das S., Bhattacharyya B. K. Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes // Waste management (New York, N.Y.). 2015, vol. 43, pp. 9–18. doi: 10.1016/j.wasman.2015.06.033.
10. Kharat M. G., Kamble S. J., Raut R. D., Kamble S. S., Dhume S. M. Modeling landfill site selection using an integrated fuzzy MCDM approach // Modeling Earth Systems and Environment. 2016, vol. 2, no. 2, p. 758. doi: 10.1007/s40808-016-0106-x.
11. Kirca Ö., Erkip N. Selecting transfer station locations for large solid waste systems // European Journal of Operational Research. 1988, vol. 35, no.3, pp. 339–349. doi: 10.1016/0377-2217(88)90224-X.
12. Erkut E., Karagiannidis A., Perkoulidis G., Tjandra S. A. A multicriteria facility location model for municipal solid waste management in North Greece // European Journal of Operational Research. 2008, vol. 187, no.3, pp. 1402–1421. doi: 10.1016/j.ejor.2006.09.021.
13. Boris Novarlić, Željko Stević, Predrag Đurić, Marko Vasiljević Efficiency in organizing transport routes as part of the city waste management: proposal for innovative way of transport // International Journal for Quality Research. 2017, vol. 11, no. 3. doi: 10.18421/IJQR11.03-02.
14. Hamad T. A., Agll A. A., Hamad Y. M., Sheffield J. W. Solid waste as renewable source of energy: current and future possibility in Libya // Case Studies in Thermal Engineering. 2014, vol. 4, pp. 144–152. doi:10.1016/j.csite.2014.09.004.
15. Omran A., Gebril A.O. Municipal solid waste management practices in the central part of Libya // The Impact of Climate Change on Our Life: The Questions of Sustainability. 2018, Singapore: Springer Singapore, pp.149–

165.
16. Abdelnaser O., ALsadey S., Gavrilevscu M. Municipal solid waste management in Bani Walid City, Libya // Journal of Environmental Management and Tourism. 2011, vol. 2, no. 2.
17. Naser Ali Ahmed Alhderi, Purwanto Purwanto, Henna Rya Sunoko Impacts of four seasons in municipal solid waste in Al-Khums City // Science Journal of Environmental Engineering Research. 2015, vol. 2015, pp.1–5. doi: 10.7237/sjeer/191.
18. Omran A.G., Gebril A.O., Pakir H.K. Solid waste management in Al-Abyar City, Libya // SGEM2011 11th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. 2011, Albena Seaside & Spa Resort, Bulgaria: Stef92 Technology. vol. 3, pp. 617–622.
19. Gebril A. O., Omran A., Pakir A. H. K., Aziz H. A. Municipal solid waste management in Benghazi (Libya) // Environmental Engineering and Management Journal. 2010, vol. 9, no. 9, pp. 1289–1296. doi:10.30638/eemj.2010.167.
20. Omran A., Altawati M., Davis G. Identifying municipal solid waste management opportunities in Al-Bayda City, Libya // Environment, Development and Sustainability. 2018, vol. 20, no. 4, pp. 1597–1613. doi:10.1007/s10668-017-9955-3.
21. Srivastava R. Algorithms for solving the location - routing problem: PhD thesis. Ohio: The Ohio State University. 1986. 269 p.
22. Jacobsen S. K. Heuristics for the capacitated plant location model // European Journal of Operational Research. 1983, vol. 12, no. 3, pp. 253–261. doi: 10.1016/0377-2217(83)90195-9.
23. Domschke W., Drexl A. ADD-heuristics' starting procedures for capacitated plant location models // European Journal of Operational Research. 1985, vol. 21, no. 1, pp. 47–53. doi: 10.1016/0377-2217(85)90086-4.
24. Akinc U., Khumawala B. M. An Efficient Branch and Bound Algorithm for the Capacitated Warehouse Location Problem // Management Science. 1977, vol. 23, no. 6, pp. 585–594. doi: 10.1287/mnsc.23.6.585.
25. Sharholy M., Ahmad K., Mahmood G., Trivedi R. C. Municipal solid waste management in Indian cities - A review // Waste management (New York, N.Y.). 2008, vol. 28, no. 2, pp. 459–467. doi:10.1016/j.wasman.2007.02.008.

Материал поступил в редакцию 10.09.2018

Бади И., Стевич Ж., Абдушахед А., Эрцег Ж. Оптимизация вывоза твёрдых бытовых отходов в Ливии // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2018. Т.8. №1. С. 12-19

Badi I., Stević Ž., Abdulshahed A., Erceg Ž. Optimization of municipal waste management in Libya //*Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern Problems of Russian Transport Complex]. 2018, vol.8, no.1, pp. 12-19

УДК 656.211.7:656.2.078 https://doi.org/10.18503/2222-9396-2018-8-1-20-29

К ВОПРОСУ ОБ АКТУАЛЬНОСТИ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ АСУ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ПРИПОРТОВОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ. ЧАСТЬ 1

Тимченко В.С.[1]

[1] Санкт-Петербургский союз учёных, Национальное общество имитационного моделирования, ООО «РТС», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация
Железнодорожный транспорт участвует в обслуживании большей части экспортного грузопотока России. На сегодняшний момент на железнодорожном транспорте возникла системная проблема, связанная с отставлением в пути следования поездов, следующих в адрес припортовых железных дорог. Одним из путей решения данной проблемы является создание логистических центров на припортовых железных дорогах. В первой части статьи представлен анализ причин «бросания» поездов назначением на припортовые станции и основные задачи логистического центра припортовой железной дороги. Сложность функционирования таких центров связана с тем, что специалистам логистических центров приходится получать информацию в ручном режиме из нескольких независимых информационных систем, что является ограничивающим фактором в обеспечении эффективности их работы. Во второй части статьи представлены функциональные возможности предлагаемой АСУ логистического центра, которая позволит повысить эффективность работы логистов путём перехода от ручного управления грузопотоками к управлению с использованием информационной системы поддержки принятия решений.

Ключевые слова: припортовая железная дорога, морские порты, экспортные перевозки, грузопотоки, логистический центр, информационная система, система поддержки принятия решений, отставление поездов.

Введение*

Отставление поездов, следующих в адрес припортовых железных дорог, в пути следования («бросание») [1], является одной из наиболее острых проблем железнодорожного транспорта в условиях работы в конкурентной рыночной среде. В результате отставления поездов ОАО «РЖД», ежегодно несёт многомиллиардные финансовые потери из-за простаивания сотни «брошенных» поездов на сети железных дорог [2-4].

«Брошенным» поездом называется состав грузового поезда без локомотива, задержанный на железнодорожной станции ОАО «РЖД» по коммерческим, техническим или технологическим причинам [5]. «Бросание» поездов вызвано объективными причинами технологического взаимодействия на стыке двух видов транспорта в условиях дефицита пропускной способности железнодорожных направлений, перерабатывающей способности терминалов назначения и отсутствия буферных парков в припортовых железнодорожных узлах. Согласно исследованию [6], основной причиной «бросания» поездов на припортовых железных дорогах является несогласованный подвод вагонов и судов (более 50%) [7]. Ещё 25 % – неравномерное прибытие груза на станцию, 20% – невыполнение плановых норм перегрузки портом и только 5% – форс-мажорные обстоятельства. Потенциальные возможности информационных систем по ослаблению влияния перечисленных факторов используются в недостаточной степени, поскольку данные системы выполняют в основном функции справочных систем [8], а не систем поддержки принятия решений.

Основные причины неравномерности движения грузовых поездов – сгущённая погрузка по дням недели и месяцам, снижение объёмов погрузки в нерабочие дни, пропуск пассажирских поездов, проблемы с тяговым обслуживанием, недостаток пропускной способности и вместимости технических и припортовых станций, предоставление «окон» для проведения ремонтных работ, движение грузовых поездов по диспетчерским расписаниям, а не по твёрдым ниткам графика. Сгущённая погрузка – это всплески погрузки в пределах одних-трёх суток, при этом среднесуточная погрузка в течение месяца может соответствовать норме.

Например, из-за сгущённого, неравномерного движения грузовых поездов в 2009 году ежесуточно простаивало более сотни вагонов в составе брошенных поездов назначением только на одну припортовую железную дорогу ОАО «РЖД». В частности, на Октябрьской, Северо-Кавказской, Дальневосточной железных дорогах скапливаются единовременно до 150 «брошенных» поездов в сутки.

Железнодорожные подходы к морским портам занимаются большим количеством «брошенных поездов», что часто приводит к «омертвлению» товарной массы [9], замедлению оборачиваемости капитала, а также к непроизводительному увеличе-

© Тимченко В.С., 2018.

нию расходов ОАО «РЖД» (дополнительный пробег локомотивов, сверхнормативные простои вагонов, усложнение поездной обстановки на направлениях и на подходах к морским портам из-за занятой «брошенными» поездами инфраструктуры). При существующем недостаточном количестве путей на припортовых станциях [10, 11], приходится «бросать» поезда на большом полигоне железнодорожной сети, что позволяет уменьшить потери на железной дороге выгрузки, но создаёт проблемы на других дорогах, входящих в логистическую цепь доставки грузов.

В такой ситуации припортовые железные дороги несут значительные производственные и экономические потери. Скопление вагонов лишает железные дороги и припортовые станции манёвренности из-за занятости подходов к порту «брошенными» поездами. Если принять величину расходов и убытков от простоя и последующего подъёма одного «брошенного» поезда в размере 50 тыс. руб. в сутки [12], то простой 150 «брошенных» поездов приведёт к возникновению потерь в размере около 2.7 млрд руб. в год (в ценах 2015 года).

Наиболее остро данная ситуация проявилась в конце 2009-го и в начале 2010 годов, когда грузоотправители, стремясь закрыть годовые экспортные контракты, значительно увеличили объёмы отправления грузов в адрес портов. При этом порты и стивидорные компании подтверждали завышенные объёмы погрузки в свой адрес, зачастую превышающие собственные максимальные перерабатывающие способности. Превышение объёмов погрузки над выгрузочными возможностями грузополучателей привело к массовому «бросанию» поездов на подходах к портам.

Для решения возникающих в сложившейся ситуации проблем в 2009-2010 годах был реализован ряд организационно-технических мероприятий:

- увеличение числа маневровых локомотивов на припортовой железнодорожной станции;
- разработка и реализация суточных планов подъёма «брошенных» поездов с последующим строгим контролем соблюдения графика подвода поездов;
- корректировка сетевого и дорожного планов формирования поездов;
- реализация комплекса мер по очистке от снега железной дороги и терминалов портов с участием снегоуборочной техники.

Предпринятые меры позволили значительно увеличить выгрузку на припортовых станциях, и к середине мая 2010 года проблема «брошенных» поездов была решена.

Тем не менее, очевидно, что проблема носит системный характер и её не решить усилиями одной железной дороги путём решения локальных задач [13] без совершенствования сложившейся системы управления. Например, из-за несогласованности объёмов погрузки с планируемым тоннажем морского флота, в адрес одного из морских терминалов в октябре 2010 года простаивало до 6 «брошенных» поездов. В ноябре, при перерабатывающих способностях терминала в зимний период по сливу нефтепродуктов в размере 230 вагонов в сутки, грузополучатель согласовал, а Центр фирменного транспортного обслуживания ОАО «РЖД» (ЦФТО) принял к перевозке 530 вагонов. В начале ноября погодные условия позволяли сливать до 450 вагонов в сутки, однако диспропорция в объёмах погрузки и фактической выгрузкой привела к «бросанию» на 14 ноября 12 поездов.

Эта ситуация выявила проблему отсутствия у большинства грузовладельцев чётко выстроенных сквозных логистических схем, которые бы позволяли планировать продвижение грузопотока от момента его зарождения до момента погашения на экспортных рынках и учитывать все «узкие места» на пути их продвижения [14]. Однако при существующем положении, железная дорога и морские порты действуют, зачастую, только в собственных интересах.

«Брошенные» поезда негативно влияют на эксплуатационную работу сети железных дорог, серьёзно нарушают технологический процесс по подаче вагонов для погрузки и выгрузки, что влечёт за собой невыполнение перевозчиком обязательств по срокам доставки других грузов, а также к снижению объёмов и темпа работы железнодорожного транспорта.

Связано это с тем, что по сложившейся в настоящее время практике заключения международных контрактов купли-продажи [15], грузополучателем является морской порт, фрахт судна осуществляет зарубежный покупатель, который заинтересован в исключении простоя судна в ожидании подхода груза и планирует подвод судна с таким расчётом, чтобы груз уже был на месте (на причале или в вагонах). Таким образом, количество «брошенных» поездов увеличивается из-за того, что прибывающие в адрес порта поезда простаивают в ожидании накопления судовой партии.

Ужесточение конкуренции на рынке международных грузоперевозок вынуждает различные виды транспорта переходить от прямой конкуренции к поискам возможностей кооперации и сотрудничества. Ускорение перевозок грузов в настоящее время зачастую требует организации непрерывного транспортного процесса и безперегрузочного сообщения – последовательной перевозке груза в одной и той же грузовой единице на различных видах транспорта без перегрузки или перевалки груза (контрейлерные и роудрейлерные [16] перевозки).

Развитию смешанных перевозок должно способствовать создание терминальных систем, обеспечивающих перевозку грузов от отправителя к получателю с использованием опорных распределительных центов в регионах отправления и назначения. Из пунктов отправления в распределительный центр груз следует фидерными морскими (речными) линиями, или автотранспортом, а затем перемещается до распределительного центра в регионе назначения магистральным транспортом по твёрдым ниткам графика и, наконец, доставляется до получателя из распределительного центра фидерными транспортными средствами. Различные виды транспорта всегда должны взаимодействовать через промежуточные складские объекты – грузовые терминалы. Отсутствие хорошо оборудованных складов в портах приводит к большим простоям как грузовых судов, так и подвижного состава железнодорожного транспорта.

Прямая перегрузка грузов с железнодорожного на другие виды транспорта может быть эффективно осуществлена (с минимальным перепростоем транспортных средств) не более чем в 20-25% случаев [17]. В остальных случаях стремление осуществить прямую перегрузку приводит к повышенным простоям транспортных средств.

Основные причины несогласованности и отсутствия координации в совместной работе морского и железнодорожного транспорта [18] заключаются в следующем:

- морские порты России изначально создавались, главным образом, для приёма импортных грузов;
- вблизи портов зачастую отсутствуют припортовые железнодорожные станции, специализирующиеся на их обслуживании;
- транспортная инфраструктура припортовых транспортных узлов в течение продолжительного времени не развивалась на основе комплексного и сбалансированного подхода, не строились современные грузовые терминалы с высоким уровнем механизации и автоматизации перегрузочно-складских работ;
- не проводились системные маркетинговые исследования перспектив образования грузопотоков;
- увеличение объёмов перевозок в адрес портов выявило неспособность стивидорных компаний и припортовых станций эффективно перерабатывать возросший грузопоток;
- недостаточная координация действий экспедиторских и стивидорных компаний;
- отсутствие единой информационной среды для планирования взаимодействия различных видов транспорта в припортовых транспортных узлах;
- отсутствие организационных структур по обеспечению эффективного взаимодействия участников транспортировки и переработки грузов в портах.

Следует отметить недостаточно эффективное применение принципов логистики, а именно системного подхода к теории компромиссов, из-за чего не полностью соблюдаются принципы пропорционального развития звеньев цепи доставки грузов с участием смежных видов транспорта.

Одним из основных критериев эффективной логистики является соответствующее договору на перевозку продвижение груза по всей цепи поставок. Любое нарушение запланированного продвижения груза является показателем сбоя в системе «железная дорога – порт». Поэтому в качестве индикатора качества экспортных железнодорожных перевозок можно использовать факт отсутствия «брошенных» поездов, следующих в адрес припортовых станций.

В существующих условиях основной функцией при регулировании продвижения вагонов по сети железных дорог является равномерный и соответствующий производительности перегрузочных комплексов портов подвод гружёных вагонов к границам припортовой железной дороги и к фронтам выгрузки морских терминалов. Особое значение эта функция приобретает при возникновении форс-мажорных обстоятельств: ухудшения погодных условий (низкие температуры воздуха, шторм, ветер); непредвиденных остановок выгрузочных комплексов и сливных эстакад; заполнения складских ёмкостей из-за задержек подхода судов и т.п.

Причиной «бросания» поездов является также недостаток инвестиций в строительство современных комплексов для выгрузки вагонов, включая вагоноопрокидыватели, транспортёры, ёмкости для хранения сыпучих и жидких грузов, а также устройства для восстановления сыпучести смёрзшихся грузов и разогрева загустевших при низких температурах воздуха нефтепродуктов.

Проблема «брошенных» поездов на припортовых подъездных путях в европейских странах, например, в Германии (порт Гамбурга), решена в результате реализации следующих основных мероприятий [19-27]:

- создание в порту и на прилегающих территориях развитой складской инфраструктуры, позволяющей накапливать грузы не «на колёсах», а в складах и на специальных терминалах;
- создание развитой диспетчерской службы, отслеживающей движение всех вагонов в направлении порта;
- организация перевозки груза в порт уполномоченными экспедиторами (а не самими производителями или экспортёрами), которые согласовывают объёмы и графики завоза грузов в порт с судоходными и стивидорными компаниями. Количество экспедиторских фирм в одном порту может доходить до тысячи.

На этом фоне не в лучшую сторону выделяется инфраструктурное обеспечение отечественных экспортных перевозок, характеризующееся наличием «узких мест» на стыке между железнодорожным и другими видами транспорта [28].

Основные функции логистического центра припортовой железной дороги

Для решения проблемы «бросания» поездов на уровне ОАО «РЖД» создаются логистические центры припортовых железных дорог, которые становятся частью технологического процесса сети железных дорог по обслуживанию экспортного грузопотока. ЦФТО в режиме on-line направляет запрос в логистический центр припортовой железной дороги на согласование погрузки экспортного груза в адрес морских портов. Логистический центр в результате анализа оперативной обстановки принимает решение о приёме или неприёме груза. После погрузки груз следует по сети железных дорог и при поступлении на припортовую железную дорогу сменные инженеры логистического центра составляют план подвода поездов в адрес припортовых станций. При возникновении затруднений с пропуском поездов, оперативный план корректируется.

Логистический процесс организации железнодорожных перевозок грузов делится на 3 этапа: месячное планирование; оперативное планирование; корректировка планов.

Основной задачей месячного планирования явля-

ется своевременное принятие регулировочных мер, исключающих ежесуточное прибытие вагонов в объёмах, превышающих перерабатывающие способности терминалов морских портов. Для этого по всем родам грузов, перегружаемым в каждом обслуживаемом порту, учитывается суточное количество вагонов, погруженных в адрес порта на всей сети железных дорог, и количество выгруженных вагонов. Эти значения сравниваются с суточными нормами. Если суточное количество гружёных вагонов назначением на конкретный терминал начнёт превышать его перерабатывающую способность, то информация об этом с требованием уменьшить объёмы погрузки передаётся в ЦФТО.

Согласование планов погрузки в адрес порта осуществляется логистическим центром припортовой железной дороги на основе анализа:

- текущей поездной обстановки на припортовой железной дороге;
- наличия вагонов на соседних дорогах;
- ограничений по перерабатывающим способностям терминалов (готовность грузополучателя принять грузы к определённому времени);
- плана проведения ремонтных работ инфраструктуры с предоставлением «окон» на железнодорожных станциях и перегонах;
- наличия свободных складских площадей у грузополучателя;
- графика подхода морских судов и т.д.

В результате анализа обосновывается и предоставляется в ЦФТО решение по плановым объёмам погрузки.

На **рис. 1** представлен фрагмент графика суточных объёмов фактической погрузки угля на одном из морских терминалов, в сравнении с плановыми объёмами. Из графика следует, что в отдельные дни планируемая и фактическая погрузка превышают перерабатывающую способность терминала. В таких случаях требуется корректировка объёмов погрузки.

Для слежения за продвижением грузов по сети железных дорог (**рис. 2**) применяются различные отраслевые информационные системы, в том числе «Автоматизированное рабочее место центрального диспетчера» (АРМ ЦД), предоставляющее данные о погруженных и движущихся вагонах, назначением на определённую станцию.

На **рис. 3** представлен пример ежесуточного графического анализа приёма вагонов с углём по стыковой станции припортовой железной дороги, из которого следует, что в некоторые дни происходит сверхнормативная сдача груза на припортовую железную дорогу, что повышает риск «бросания» поездов.

Логистическим центром ежесуточно выполняются следующие операции:

1. Мониторинг продвижения вагонов по сети железных дорог с помощью отраслевых информационных систем.
2. Слежение за приёмом груза стыковыми станциями припортовой железной дороги.
3. Разработка оперативных планов подвода поездов на припортовые станции и контроль их выполнения.

Оперативное планирование прибытия поездов на все припортовые станции выполняют сменные инженеры логистического центра, которые дважды в сутки составляют «План подвода поездов». Руководствуясь этим планом, диспетчерский аппарат Дорожного центра управления перевозками (ДЦУП) управляет продвижением поездов.

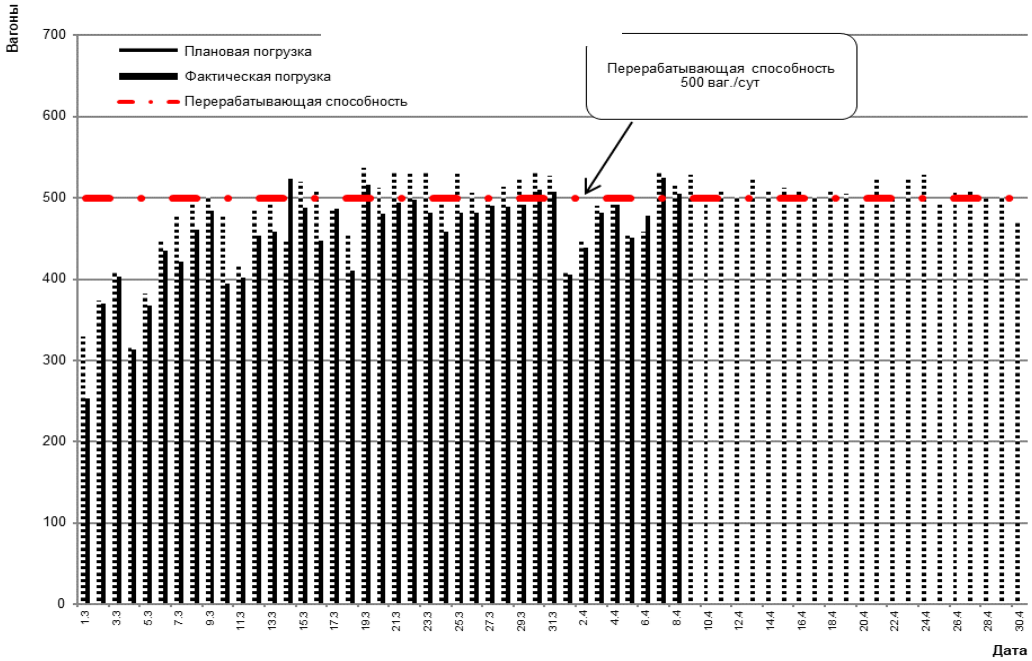


Рис. 1. Фрагмент графика фактических и плановых суточных объёмов погрузки угля на морском терминале

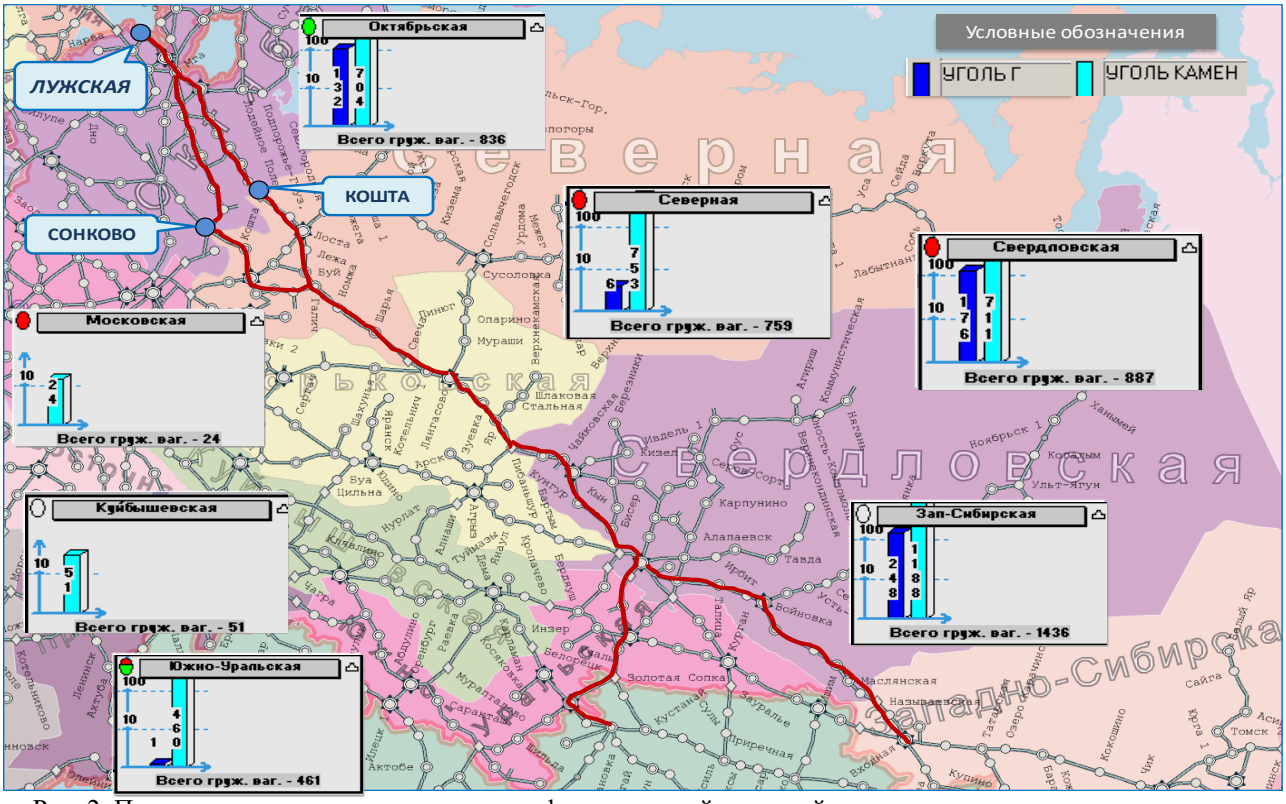


Рис. 2. Пример данных, предоставляемых информационной системой слежения за продвижением грузов от станции погрузки до станции назначения

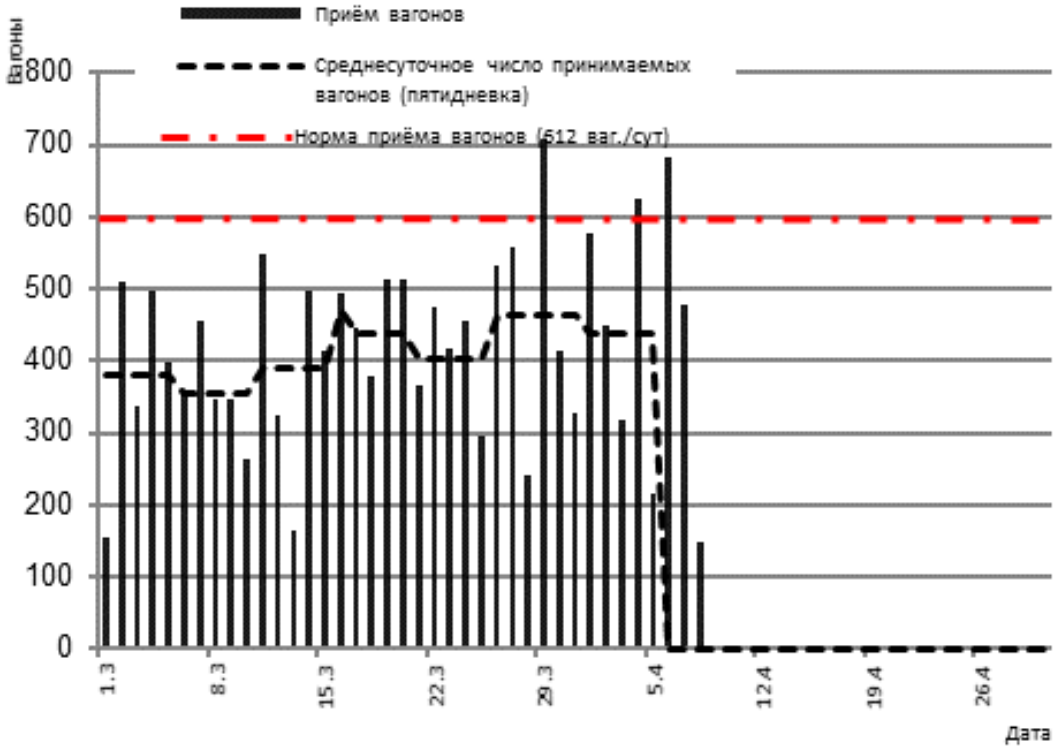


Рис. 3. Анализ приёма вагонов по стыковой станции припортовой железной дороги

«План подвода поездов» составляется для каждой припортовой станции на основании следующих данных:

- сроков доставки грузов;
- очерёдности поступления грузов на железную дорогу;
- поездной обстановке на подходах к станции назначения;
- наличия локомотивов и локомотивных бригад;
- состояния фронтов выгрузки на терминалах порта;
- наличия брошенных поездов назначением на припортовую станцию;
- заявки начальника припортовой станции с указанием времени прибытия поездов с выбранными грузами.

«План подвода поездов» при изменении оперативной обстановки обсуждается с диспетчерами направлений и при необходимости корректируется.

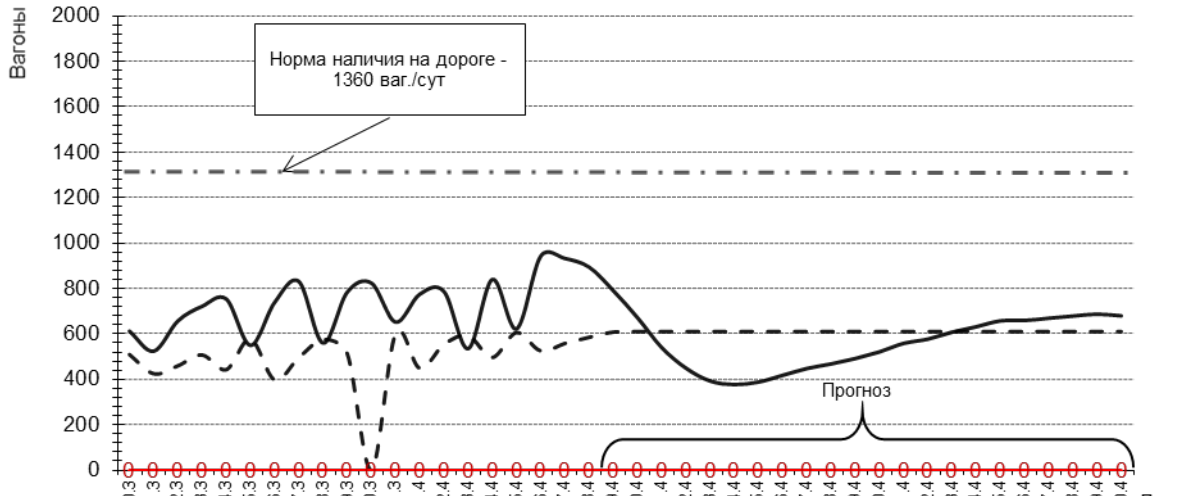
На основе анализа плана погрузки, нормативной и фактической выгрузки, наличия вагонов на дороге, приёма вагонов по стыкам и других показателей, логистический центр ежесуточно составляет прогноз «бросания» поездов назначением на припортовые станции (**рис. 4**).

При угрозе возникновения возможности «бросания» поездов, логистический центр отправляет телеграммы ЦФТО с просьбой ограничить или прекратить погрузку.

На основе договорных сроков доставки грузов, соответствующих тарифному руководству, статистических данных с разложением по роду груза, отправителям и получателям, оцениваются и периодически корректируются сроки доставки грузов с мест отправления в адрес всех припортовых станций, входящих в состав железной дороги. Такая оценка сроков доставки грузов используется логистическими центрами по причине отсутствия более точных данных для прогнозирования даты и времени прибытия грузов на станции назначения. В процессе принятия вышеуказанных решений используются данные, предоставляемые отраслевыми информационными системами, такими как АРМ ЦД и ЭТРАН (электронная транспортная накладная).

Информация о наличии вагонов на определённую станцию назначения (**рис. 5**) предоставляется всем железным дорогам сети ОАО «РЖД» в виде формируемых пользователем диаграмм, сгруппированным по родам основных грузов. При этом указывается объем фактической погрузки на текущие и предыдущие сутки без указания утверждённых плановых объёмов погрузки.

При выборе пользователем столбца диаграммы, относящегося к определённой дороге, роду груза и грузополучателю, появляется информация (**рис. 6**) о продвижении поездов. Информация предоставляется с задержкой на 1-2 часа после момента окончания выполнения каждой операции по продвижению поезда.



	20.3	21.3	22.3	23.3	24.3	25.3	26.3	27.3	28.3	29.3	30.3	31.3	1.4	2.4	3.4	4.4	5.4	6.4	7.4	8.4	9.4	10.4	11.4	12.4	13.4	14.4	15.4	16.4	17.4	18.4	19.4	20.4	21.4	22.4	23.4	24.4	25.4	26.4	27.4	28.4	29.4	30.4
План	525	475	537	574	526	575	574	588	608	593	636	571	507	505	556	608	626	640	663	626	609	672	643	633	616	679	611	625	605	635	625	601	588	642	638	622	671	616	615	644	596	633
Погрузка на сети	522	472	537	573	522	575	572	586	568	547	542	432	506	504	556	607	625	637	663	625	352	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Наличие на дороге	611	523	656	720	752	549	737	829	559	782	822	651	773	785	534	838	621	940	930	892	789	670	539	449	393	377	388	417	447	467	491	520	557	576	607	630	656	658	668	677	686	678
Выгрузка	511	426	461	509	444	580	399	497	577	515	0	603	450	555	594	498	608	527	560	587	610	612	612	612	612	612	612	612	612	612	612	612	612	612	612	612	612	612	612	612	612	612
брошенные вагоны	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Брошенные поезда	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Приём по стыкам	513	367	474	419	455	295	532	558	240	710	414	328	579	451	319	624	216	683	477	149																						

Рис. 4. Пример представления прогноза «бросания» поездов назначением на припортовые станции

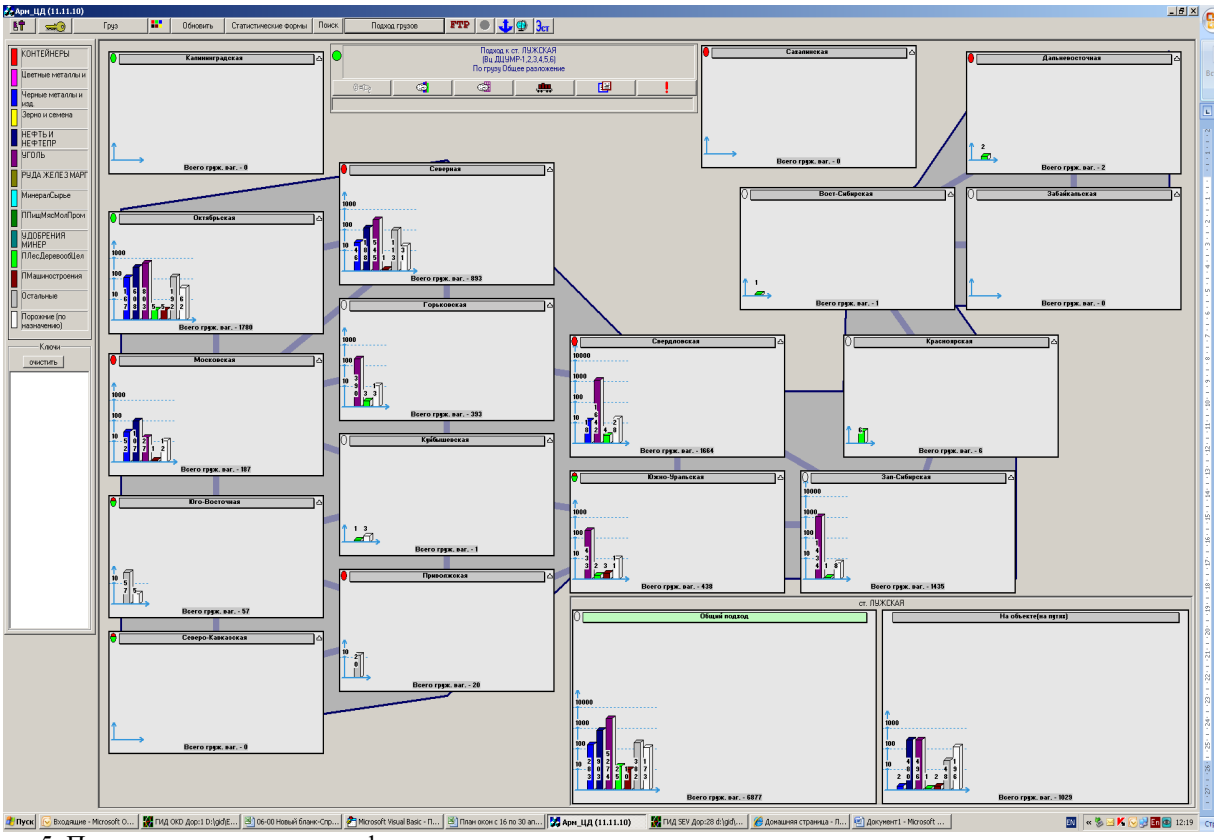


Рис. 5. Пример представления информации о наличии вагонов назначением на одну из припортовых станций сети железных дорог ОАО «РЖД»

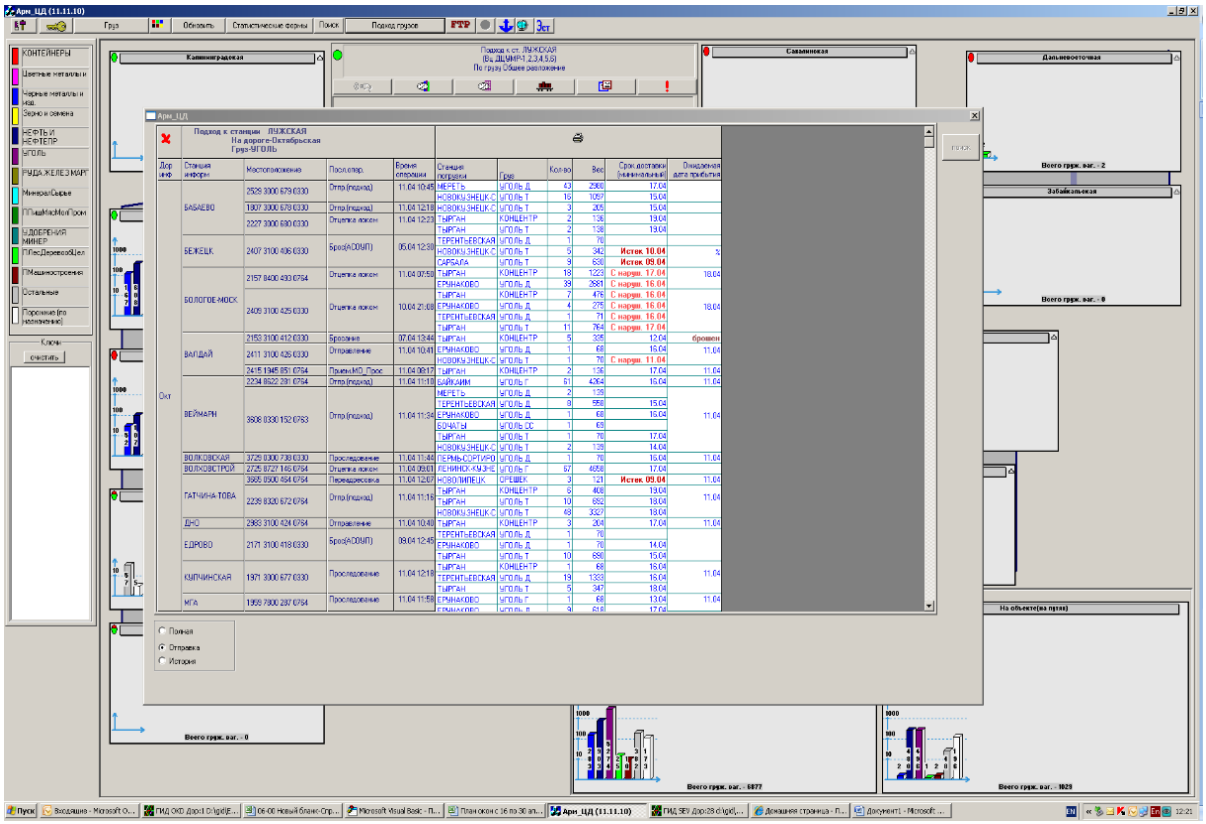


Рис. 6. Пример представления информации о наличии вагонов с углём назначением на припортовую станцию сети железных дорог ОАО «РЖД»

Данная информация по выбору пользователя может относиться ко всем грузополучателям, грузоотправителям, родам грузов и морским терминалам, что позволяет определить номер и индекс поезда, наименование последней операции с ним и время её выполнения, станцию погрузки, род груза, количество вагонов с этим грузом в составе, их вес, срок доставки и ожидаемую дату прибытия. Это позволяет установить станцию формирования поезда, количество погруженных вагонов, сравнить станцию формирования со станцией погрузки и определить способ применённой маршрутизации.

Система позволяет определять не только род груза, но и грузополучателя, поскольку в морском порту может быть несколько терминалов по выгрузке одноименного рода груза.

Также автоматизированная система централизованной подготовки и оформления перевозочных документов (ЭТРАН) позволяет по запросу пользователя о станции назначения груза по всем его родам получать информацию об утверждённом плане погрузки и его фактическом выполнении.

Заключение

В первой части статьи представлен анализ причин «бросания» поездов назначением на припортовые станции. Сформулированы основные задачи и описаны функции логистического центра припортовой железной дороги.

Список литературы

1. Маликов О.Б. Транспортно–складские системы в экономике страны // Транспорт России: проблемы и перспективы - 2016: материалы междунар. науч.-техн. конф. СПб.: ИПТ РАН, 2016. Т. 2. С. 137-141.
2. Ламанов А.Я., Черняев А.Г., Зубков В.Н. Оптимизация местной работы на Северо-Кавказской железной дороге //Вестник Ростовского государственного университете путей сообщения.2004.№ 2.С.82-89.
3. Макеев В.А. Экономическая совместимость железнодорожной станции и морского порта // Вестник Ростовского государственного университете путей сообщения. 2012. № 2. С. 109-113.
4. Козлов П.А., Осокин О.В. Разработка модели автоматизированного расчета схемы оборота поездных локомотивов // Наука и техника транспорта. 2012. № 4. С. 58-61.
5. Распоряжение ОАО "РЖД" от 21.08.2008 N 1757р "Об организации учета и составлении оперативной отчетности по временно отставленным от движения ("брошенным") составам поездов" [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=482182#09204003600644424.
6. Симушков А.М. Взаимодействие видов транспорта в условиях функционирования интеллектуальных логистических центров // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорта ИСУЖТ-2012: науч. техн. конф. М.: ОАО "НИИАС". С. 101-104.
7. Шенфельд К.П. Развитие методов управления перевозочным процессом в условиях рыночной экономики и реформирования железнодорожного транспорта: дис. … д-ра техн. наук, МГУПС (МИИТ). М. 2013. 286 с.
8. Козлов П.А., Осокин О.В., Тушин Н.А. Технологические проблемы железнодорожного транспорта и пути их решения // Наука и техника транспорта. 2012. № 2. С. 99-101.
9. Куренков П.В., Серяпова И.В. Об усилении взаимной экономической ответственности участников внешнеторговых перевозок // Вестник СамГУПС. 2009. №6-1. 55а-57.
10. Тимченко В.С. Методика обоснования строительства парка отстоя в припортовом железнодорожном узле // Вестник транспорта Поволжья. 2015. № 4. С. 44-49.
11. Тимченко В.С. Обоснование строительства буферного парка в припортовом железнодорожном узле. Теоретический аспект // Проблемы социального и научно-технического развития в современном мире: материалы XVIII Всерос. науч. техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием). Рубцовск: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2016. С. 136-138.
12. Маликов О.Б. Эффективное взаимодействие железнодорожного и морского транспорта // Транспорт России: проблемы и перспективы - 2015: материалы междунар. науч.-техн. конф. СПб.: ИПТ РАН, 2015. Т. 1. С. 199-204.
13. Красковский А.Е., Плеханов П.А. Кризис РЖД: характер, причины, перспективы выхода // Транспорт Российской Федерации. 2013. Т. 44. № 1. С. 14-18.
14. Тимченко В.С., Кокурин И.М. Определение «узких мест», ограничивающих пропускную способность железнодорожных направлений // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2015. Т. 5. №1. С. 11-16.
15. Велиева Е.А. Систематизация причин бросания поездов на Дальневосточной железной дороге // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2014. № 2. С. 65-69.
16. Солтырева А.В., Филатов С.К. Роудрейлерные перевозки как разновидность интермодальных технологий // Пути развития транспортно-технологических процессов и эксплуатации автомобильного транспорта: тезисы докладов 74 междунар. студенческой науч. конф. Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт, 2015. С.72-73.
17. Маликов О.Б. Перевозки и складирование товаров в цепях поставок: монография. М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. 536 с.
18. Елисеев С.Ю., Николашин В.М., Шмугляков Е.П. Механизм привлечения международных транзитных грузов // Мир транспорта. 2009. Т. 7. № 4. С. 102-109.
19. Güner S. Investigating infrastructure, superstructure, operating and financial efficiency in the management of Turkish seaports using data envelopment analysis // Transport Policy. 2015. Т. 40. С. 36-48. doi: 10.1016/j.tranpol.2015.02.006.
20. Ambrosino D., Siri S. Comparison of solution approaches for the train load planning problem in seaport terminals // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 2015. Т. 79. С. 65-82. doi: 10.1016/j.tre.2015.04.003.
21. Howard D.L., Bragen M.J., Burke J.F., Love R.J. PORTSIM 5: Modeling from a seaport level // Mathematical and Computer Modelling. 2004. Т. 39. 6-8. С. 715-731. doi: 10.1016/S0895-7177(04)90550-X.
22. Contu F., Di Febbraro A., Sacco N. A model for performance evaluation and sensitivity analysis of seaport container terminals // IFAC Proceedings Volumes. 2011. Т. 44. № 1. С. 13870-13875. doi: 10.3182/20110828-6-IT-1002.03314.
23. Parola F., Maugeri S. Origin and taxonomy of conflicts in seaports: Towards a research agenda // Research in Transportation Business & Management. 2013. Т. 8. С. 114-122. doi: 10.1016/j.rtbm.2013.07.005.
24. Ambrosino D., Bernocchi L., Siri S. Multi-objective optimization for the train load planning problem with two cranes in seaport terminals // IFAC-PapersOnLine. 2016. Т. 49. № 3. С. 383-388. doi: 10.1016/j.ifacol.2016.07.064.
25. Montwiłł A. The role of seaports as logistics centers in the modelling of the sustainable system for distribution of goods in urban areas // Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2014. Т. 151. С. 257-265. doi: 10.1016/j.sbspro.2014.10.024.
26. Fialkin V., Veremeenko E. Characteristics of traffic alow management in multimodal transport hub (by the example of the seaport) // Transportation Research Procedia. 2017. Т. 20. С. 205-211. doi: 10.1016/j.trpro.2017.01.053.
27. Jeevan J., Ghaderi H., Bandara Y. M., Saharuddin A. H., Othman M. R. The implications of the growth of port throughput on the port capacity: The case of Malaysian major container seaports // International Journal of e-Navigation and Maritime Economy. 2015. Т. 3. С. 84-98. doi: 10.1016/j.enavi.2015.12.008.
28. Резер А.В. Проблемы развития транспортно-логистического комплекса // Транспортное дело России. 2010. № 12S. С. 146-148.

Материал поступил в редакцию 05.04.2018

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

A STUDY ON THE RELEVANT DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF THE LOGISTICS CENTER SERVING PORT RAILWAY. PART 1

Timchenko Vjacheslav Sergeevich – Ph.D. (Eng.)
St. Petersburg Union of Scientists, National Simulation Society, LLC «RTS», St. Petersburg, Russia.
Phone: +7-9030-93-25-41. E-mail: tim4enko.via4eslav@mail.ru

Abstract
The rail transport participates in shipping the most part of export traffic volume in Russia. Currently, there is a systemic problem in trains' retirement in a route, coming to the port railways stations. One of the ways to solve this problem is to implement logistics centers close to the port railway stations. However, nowadays, the operators of these logistics centers have to receive the information manually. Hence, it is limited the increase in operation's efficiency. First part of the paper presents the analysis of causes when trains are going to be abandoned, which are coming to the port railways stations. Moreover, this paper gives the understanding what kind of goals should be considered in implementation of the logistics center close to port railway stations. Second part of the paper reflects the proposed functional opportunities of automatic control system of the logistics center. This system increases the efficiency of operators' operation in logistics center because of transition from manual control of traffic flows to the information decision support system.

Keywords: port railway station, sea ports, export shipping, traffic flows, logistics centers, information system, decision support system, trains abandoning.

References

1. Malikov O.B. Transportno–skladskie sistemy v ekonomike strany [Transport – warehouse systems in the national economy] // Transport Rossii: problemy i perspektivy - 2016: materialy mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. [Transport of Russia: Problems and Prospects - 2016: Proceedings]. 2016, Saint Petersburg: Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian academy of sciences. vol. 2, pp. 137–141. (In Russ.).
2. Lamanov A.Ia., Cherniaev A.G., Zubkov V.N. Optimizatciia mestnoi raboty na Severo-Kavkazskoi zheleznoi doroge [Optimization of local work on the North Caucasus Railway] // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. 2004, no. 2, pp. 82–89. (In Russ.).
3. Makeev V.A. Ekonomicheskaia sovmestimost zheleznodorozhnoi stantcii i morskogo porta [Economic compatibility of railway station and seaport] // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. 2012, no. 2, pp. 109–113. (In Russ.).
4. Kozlov P.A., Osokin O.V. Razrabotka modeli avtomatizirovannogo rascheta skhemy oborota poezdnykh lokomotivov [Development of a model for automated calculation of the train locomotive turnover scheme] // Nauka i tekhnika transporta [Science and Technology in Transport]. 2012, no. 4, pp. 58–61. (In Russ.).
5. Rasporiazhenie OAO "RZhD" ot 21.08.2008 N 1757p "Ob organizatcii ucheta i sostavlenii operativnoi otchetnosti po vremenno otstavlennym ot dvizheniia ("broshennym") sostavam poezdov" [Order of JSC Russian Railways of 21.08.2008 N 1757p "On the organization of accounting and the preparation of operational reports on trains temporarily set aside from traffic ("abandoned")"]. Available at: http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=482182#09204003600644424. (In Russ.).
6. Simushkov A.M. Vzaimodeistvie vidov transporta v usloviiakh funktcionirovaniia intellektualnykh logisticheskikh tcentrov [The interaction of modes of transport in the functioning of intellectual logistics centers] // Intellektualnye sistemy upravleniia na zheleznodorozhnom transporta ISUZhT-2012: nauch.-tekhn. konf. [Intelligent control systems for rail transport ISUST-2012: Proceedings], Moscow: JSC NIIAS, pp. 101–104. (In Russ.).
7. Shenfeld K.P. Razvitie metodov upravleniia perevozochnym protcessom v usloviiakh rynochnoi ekonomiki i reformirovaniia zheleznodorozhnogo transporta [Development of methods for managing the transportation process in a market economy and reforming rail transport: doctoral dissertation]. Moscow: Moscow State University of Railway Engineering (MIIT). 2013. 286 p. (In Russ.).
8. Kozlov P.A., Osokin O.V., Tushin N.A. Tekhnologicheskie problemy zheleznodorozhnogo transporta i puti ikh resheniia [Technological problems of railway transport and their solutions] // Nauka i tekhnika transporta. 2012, no. 2, pp. 99–101. (In Russ.).
9. Kurenkov P.V., Seriapova I.V. Ob usilenii vzaimnoi ekonomicheskoi otvetstvennosti uchastnikov vneshnetorgovykh perevozok [A study of strengthening the mutual economic responsibility of participants in foreign trade transportation] // Vestnik SamGUPS [Bulletin of SamGUPS]. 2009, №6-1, 55a-57. (In Russ.).
10. Timchenko V.S. Методика обоснования строительства парка отстоя в припортовом железнодорожном узле [Methodology for justifying the construction of a sludge park in the port railway junction] // Vestnik transporta Povolzhia [Bulletin of Transport of the Volga Region]. 2015, no. 4, pp. 44–49. (In Russ.).
11. Timchenko V.S. Obosnovanie stroitelstva bufernogo parka v priportovom zheleznodorozhnom uzle. Teoreticheskii aspekt [Justification of the construction of a buffer park in the port railway junction. Theoretical aspect] // Problemy sotcialnogo i nauchno-tekhnicheskogo razvitiia v sovremennom mire [Problems of social and scientific and technological development in the modern world: Proceedings]. 2016, Rubtsovsk: Polzunov Altai State Technical University, pp. 136–138. (In Russ.).
12. Malikov O.B. Effektivnoe vzaimodeistvie zheleznodorozhnogo i morskogo transporta [Effective interaction of railway and sea transport] // Transport Rossii: problemy i perspektivy - 2015: materialy mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. [Transport of Russia: Problems and Prospects - 2015: Proceedings]. 2015, Saint Petersburg: Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian academy of sciences. vol. 1, pp. 199–204. (In Russ.).
13. Kraskovskii A.E., Plekhanov P.A. Russian Railways crisis: nature, causes, prospects [Russian Railways crisis: nature, causes, prospects] // Transport Rossiiskoi Federatcii [Transport of the Russian Federation]. 2013, vol. 44, no. 1, pp. 14–18. (In Russ.).
14. Timchenko V.S., Korurin I.M. Opredelenie «uzkikh mest», ogranichivaiushchikh propusknuiu sposobnost zheleznodorozhnykh napravlenii [The "bottlenecks" determination, limiting the througput of railway directions] // Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii [Modern Problems of Russian Transport Complex]. 2015, vol. 5, no. 1, pp. 11–16. (In Russ.).
15. Velieva E.A. Sistematizatciia prichin brosaniia poezdov na Dalnevostochnoi zheleznoi doroge [Systematization of the reasons for the throwing of trains on the Far Eastern Railway] // Nauchno-tekhnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke [Scientific, Engineering, Social and Economical Development of Asia-Pacific Transport and Industry]. 2014, no. 2, pp. 65–69. (In Russ.).
16. Soltyreva A.V., Filatov S.K. Roudreilernye perevozki kak raznovidnost intermodalnykh tekhnologii [Roadrailer Transport as a Type of Intermodal Technology] // Puti razvitiia transportno-tekhnologicheskikh protcessov i ekspluatatcii avtomobilnogo transporta: tezisy dokladov 74 mezhdunar. studencheskoi nauch. konf. [Ways of development of transport and technological processes and operation of road transport: Proceedings]. 2015, Zernograd: Azov-Black Sea Engineering Institute, pp. 72–73. (In Russ.).
17. Malikov O.B. Perevozki i skladirovanie tovarov v tcepiakh postavok: монография [Transportation and warehousing of goods in the supply chain]. Moscow: Educational and Methodical Center for Education in Railway Transport. 2014. 536 p. (In Russ.).
18. Eliseev S.Iu., Nikolashin V.M., Shmugliakov E.P. Mekhanizm privlecheniia mezhdunarodnykh tranzitnykh gruzov [Mechanism for attracting international transit cargo] // Mir Transporta [World of Transport and Transportation]. 2009, vol. 7, no. 4, pp. 102–109. (In Russ.).
19. Güner S. Investigating infrastructure, superstructure, operating and financial efficiency in the management of Turkish seaports using data envelopment analysis // Transport Policy. 2015, vol. 40, pp. 36–48. doi: 10.1016/j.tranpol.2015.02.006.
20. Ambrosino D., Siri S. Comparison of solution approaches for the train load planning problem in seaport terminals // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. 2015, vol. 79, pp. 65–82. doi: 10.1016/j.tre.2015.04.003.
21. Howard D.L., Bragen M.J., Burke J.F., Love R.J. PORTSIM 5 // Mathematical and Computer Modelling. 2004, vol. 39, 6-8, pp. 715–731. doi: 10.1016/S0895-7177(04)90550-X.
22. Contu F., Di Febbraro A., Sacco N. A model for performance evaluation and sensitivity analysis of seaport container terminals // IFAC Proceedings Volumes. 2011, vol. 44, no. 1, pp. 13870–13875. doi: 10.3182/20110828-6-IT-1002.03314.
23. Parola F., Maugeri S. Origin and taxonomy of conflicts in seaports // Research in Transportation Business & Management. 2013, vol. 8, pp. 114–122. doi: 10.1016/j.rtbm.2013.07.005.

24. 2Ambrosino D., Bernocchi L., Siri S. Multi-objective optimization for the train load planning problem with two cranes in seaport terminals // IFAC-PapersOnLine. 2016, vol. 49, no. 3, pp. 383–388. doi: 10.1016/j.ifacol.2016.07.064.
25. Montwiłł A. The role of seaports as logistics centers in the modelling of the sustainable system for distribution of goods in urban areas // Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2014, vol. 151, pp. 257–265. doi: 10.1016/j.sbspro.2014.10.024.
26. Fialkin V., Veremeenko E. Characteristics of traffic alow management in multimodal transport hub (by the example of the seaport) // Transportation Research Procedia. 2017, vol. 20, pp. 205–211. doi: 10.1016/j.trpro.2017.01.053.
27. Jeevan J., Ghaderi H., Bandara Y. M., Saharuddin A. H., Othman M. R. The implications of the growth of port throughput on the port capacity // International Journal of e-Navigation and Maritime Economy. 2015, vol. 3, pp. 84–98. doi: 10.1016/j.enavi.2015.12.008.
28. Rezer A.V. Problemy razvitiia transportno-logisticheskogo kompleksa [Problems of development of the transport and logistics complex] // Transportnoe delo Rossii [Transport Business in Russia]. 2010, no. 12S, pp. 146–148. (In Russ.)

Received 05/04/2018

Тимченко В.С. К вопросу об актуальности разработки и внедрения АСУ логистического центра припортовой железной дороги. Часть 1 // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2018. Т.8. №1. С. 20-29

Timchenko V.S. A study on the relevant development and implementation of automatic control system of the logistics center serving port railway. Part 1 // *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern Problems of Russian Transport Complex]. 2018, vol.8, no.1, pp. 20-29

УДК 656.073.7:004.896 https://doi.org/10.18503/2222-9396-2018-8-1-30-37

УПРАВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЁННЫМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМИ СРЕДАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЕКЦИОННЫХ И БЕСПРОЕКЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ

Ткаченко К.С.[1]

[1] Севастопольский государственный университет, Россия

Аннотация
Предлагается подход для управления вычислительными средами, который предполагает использование проекционных и беспроекционных алгоритмов стохастической аппроксимации. Приводится описание разработанных алгоритмов для реализации одного шага оптимизации с использованием рекуррентных последовательностей. Первый из представленных алгоритмов отличается от существующих использованием соседних вариантов, второй – предполагает выбор доминирующего варианта. Представленные алгоритмы реализуются в рамках программного комплекса поддержки принятия решений. Результаты вычислительных экспериментов с программным комплексом показали, что применение разработанного алгоритма позволяет достичь уменьшения предельных значений средних текущих потерь информации.

Ключевые слова: проекционные алгоритмы, беспроекционные алгоритмы, стохастическая аппроксимация, распределённая вычислительная среда, алгоритм Назина-Позняка.

1. Введение*

Хозяйство современных городов требовательно к информационным и коммуникационным технологиям [1], позволяющим снижать логистические издержки и повышать качество услуг в транспортных системах. Эффективная эксплуатация городского общественного транспорта требует оперативного анализа больших объёмов данных, что в настоящее время возможно с применением облачных технологий. Интеллектуальные транспортные системы на основе облачных платформ в настоящее время используют такие современные методы анализа данных, как глубинное обучение, распознавание образов, кооперативный подход.

Для инновационного развития транспорта требуются высокотехнологичные средства управления транспортными потоками [2], обеспечивающие повышение безопасности и комфортности перевозок на основе использования информационных технологий управления. Информационные технологии в крупных городах содействуют их преобразованию в логистические и информационные центры деятельности [3], развитию и повышению эффективности использования транспортной инфраструктуры, что является одним из направлений модернизации отечественной экономики [4].

Актуальной задачей, решаемой интеллектуальными транспортными системами городов, является краткосрочное прогнозирование транспортных потоков [5]. В настоящее время эта задача реализуется с использованием интернет-сервисов, разнообразных мобильных приложений, позволяющих осуществлять визуальный анализ данных. Такой вид анализа используется, например, в навигации и построении оптимальных маршрутов. Исходные данные для таких интернет-сервисов, основанных на использовании графовых моделей, поступают через облачные системы от участников дорожного движения.

Математические модели, описывающие транспортные потоки, манипулируют, как правило, случайными величинами [6], поскольку применение дискретных моделей уменьшает адекватность их результатов. Безопасность участников дорожного движения может быть оценена на основании анализа статистических данных [7]. Для обеспечения высокого уровня безопасности применяются электронно-информационные средства управления поведением участников движения, спросом на движение. Для модернизации этих средств требуются современные подходы, основанные, в частности, на использовании мобильных электронных устройств (ноутбуки, планшеты, телефоны) в качестве интерфейсов доступа к облачным и распределённым структурам [8].

Использование современных вычислительных систем, программно-аппаратных комплексов и широкое внедрение информационных технологий подразумевает безальтернативное внедрение в них средств защиты от вирусных атак несанкционированного доступа (В-событий). Наступление В-событий может привести к сбоям и отказам в программно-аппаратных комплексах, к потере важной информации, выходу из строя оборудования, несчастным случаям со смертельным исходом.

Для компенсации потерь от В-событий используются различные методы и способы, но особняком стоит использование рекуррентных последовательностей, формируемых алгоритмами стохастической аппроксимации. Эти алгоритмы хорошо известны и изу-

© Ткаченко К.С., 2018.

чены, однако применимы к дискретным системам с конечным множеством управляющих воздействий и известной функцией текущих потерь [9–17]. Формирование корректных управляющих воздействий и эффективной функции текущих потерь представляет собой достаточно сложную в теоретическом и практическом плане задачу и в настоящей работе не рассматривается.

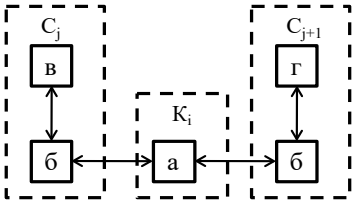
При этом достаточно важной и актуальной является разработка программного средства поддержки принятия решений (СППР), реализующего выдачу выбора вариантов управления на основе входной функции потерь и алгоритмов оптимизации.

2. Содержательная постановка задачи управления распределённой вычислительной средой

Распределённая вычислительная среда (РС) – это такая совокупность стандартных сетевых служб [18, 19], которая рассредоточена по гетерогенной компьютерной сети и функционально обеспечивает ряд полезных служб. К этим службам относят сервисы каталогов, интерфейса, вызова удалённых подпрограмм, обслуживания, обеспечение безопасности, синхронизации данных.

Во многих случаях [20] сервис по обеспечению безопасности является ключевой компонентой в реализации взаимодействия клиент-сервер. Защита данных может осуществляться на этапе установки соединения, выполнения удалённого вызова подпрограмм, при получении запроса. Данный сервис должен гарантировать подлинность источника и приёмника данных, конфиденциальность.

Наиболее простыми для анализа являются архитектуры типа DCE/Net [20]. Фрагмент типового варианта такой структуры для двухзвенной прикладной РС представлен на **рис. 1**.

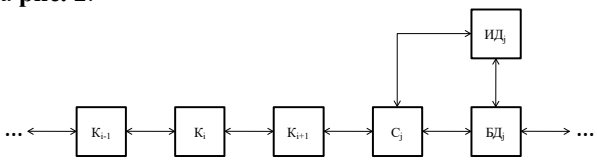


К – клиент; *i* – номер клиента; *С* – сервер; *j* – номер сервера; а – клиентские компоненты программного обеспечения (ПО); б – серверные компоненты ПО; в – серверные компоненты систем управления базами данных (СУБД); г – компоненты для других источников данных

Рис. 1. Фрагмент архитектуры DCE/Net

Для координирования распределения транзакций в гетерогенных аппаратно-программных платформах, надёжной процедуры восстановления при отказе одного или нескольких серверов, балансировки нагрузки, масштабируемости, разумного потребления ресурсов, динамического реконфигурирования, обеспечения высокой доступности, поддержки разнородных механизмов аутентификации и идентификации, наконец, для построения многозвенных РС необходимо использование либо монитора транзакций, либо развёртывание фрагментации приложений.

При фрагментации приложений по системотехническим принципам функциональности и модульности происходит распределение функций на клиентские и серверные компоненты ПО. Функциональная декомпозиция фрагмента архитектуры DCE/Net с выделением независимых по функциям блоков многозвенной среды представлена на **рис. 2**.

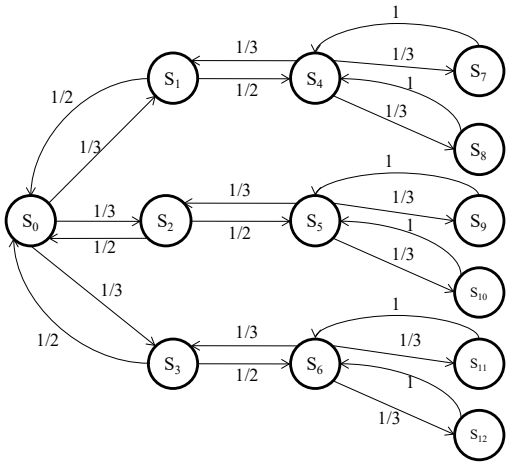


БД – базы данных; *ИД* – другие источники данных (например, внешние информационные системы)

Рис. 2. Структура независимого фрагмента распределённой вычислительной среды

Ряд авторов [20] негативно характеризуют некоторые особенности имеющихся на рынке решений, такие, например, как ограниченность средств тиражирования, отсутствие адекватных инструментов управления сложными конфигурациями, отсутствие механизмов гетерогенного тиражирования. Поэтому актуальной задачей является создание модели обеспечения безопасности тиражирования и администрирования в РС.

Для решения данной задачи в работе предлагается использовать методы теории массового обслуживания, представляя РС как системы массового обслуживания (СМО) и сети массового обслуживания (СеМО). Например, представление фрагмента РС (см. **рис. 2)** в виде СеМО показано на **рис. 3** [21]. При таком подходе игнорируется фактическое содержание *К*, *С*, *БД*, *ИД* и рассматриваются исключительно узлы коммутации как СМО типа M/M/K/∞, для которых полагается простейший поток входящих заявок и экспоненциальное время обслуживания.



S_1, S_2, S_3 – соединения с клиентами; S_4, S_5, S_6 – соединения клиентов с сервером; S_7, S_9, S_{11} – соединения сервера с СУБД; S_8, S_{10}, S_{12} – соединения сервера с ИД

Рис. 3. Представление фрагмента распределённой среды в виде сети массового обслуживания

Для построения аналитической модели необходимо: считать, что в узлах M/M/K/∞ число обслуживающих приборов K=1; задать матрицу вероятностей передач P_{ij} (i, j – номера узлов СеМО) (**рис. 4**).

$$P=\begin{pmatrix}
0 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
\frac{1}{2} & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
\frac{1}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
\frac{1}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
0 & \frac{1}{3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 0 & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & \frac{1}{3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & \frac{1}{3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3}\\
0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{pmatrix}$$

Рис. 4. Матрица вероятностей передач между узлами рассматриваемой сети массового обслуживания

Для всех узлов S_i, $i=\overline{1,12}$ с помощью фрагментатора может изменяться μ_i – производительность узла M/M/1/∞.

Представленная аналитическая модель может использоваться для проведения различных вычислительных и оптимизационных экспериментов. Для этого необходимо выбрать штрафную функцию. В качестве критерия штрафа предлагается выбрать линейную свёртку откликов, как наиболее простую в вычислительном плане. То есть штрафная функция зависит от важнейших сетевых характеристик, которые можно рассчитать по известным формулам теории массового обслуживания, в которых используются следующие параметры СМО: l – средняя суммарная длина очередей в СеМО; m – среднее число заявок в сети; w – среднее время ожидания заявки в очередях; u – среднее время пребывания заявки в СеМО. В следующем разделе статьи будут произведены необходимые представления.

3. Содержательная постановка задачи управления распределённой вычислительной средой

Известно, что характер функции потерь в РС зависит от количественных характеристик рабочей нагрузки, особенностей функционирования буферной памяти, дисциплины обслуживания заданий, способа передачи информации по каналам связи. Поэтому оценивать эффективность как всей среды в целом, так и отдельных её узлов можно различными способами, в том числе, максимизируя ожидаемый доход и минимизируя вероятные потери. Эти задачи приводят к необходимости выполнять решение задачи многокритериальной оптимизации, которую можно во многих случаях решить либо сведением к однокритериальной путём линейной свёртки критериев, либо выполнив поиск решения в виде множества эффективных по Парето решений. В настоящей работе используется подход на основе линейной свёртки критериев.

Для откликов $o\in\{l,m,w,u\}$ лицом, принимающим решение (ЛПР), выбираются значения коэффициентов: c_o – штраф за единицу значения отклика, характеризующий его степень важности; f_o – масштабирующий коэффициент для приведения всех откликов к единому масштабу и выделению какого-либо из откликов; a_o – амплитуда для компенсации отклонения от центра.

В итоге, критерий штрафа запишется как

$$\xi=\sum_{o\in\{l,m,w,u\}}\frac{c_o}{f_o}\left(k_o-a_o\right),\qquad (1)$$

$$k_o=значение(o);\ c_o,\ f_o,\ a_o>0,$$

или

$$\xi=\frac{c_l}{f_l}\left(k_l-a_l\right)+\frac{c_m}{f_m}\left(k_m-a_m\right)+$$
$$+\frac{c_w}{f_w}\left(k_w-a_w\right)+\frac{c_u}{f_u}\left(k_u-a_u\right).\qquad (2)$$

Поставив в соответствие каждому выходному состоянию стохастического автомата блок узлов РС, можно управлять процессом включения/отключения блоков узлов от РС таким образом, что на n-м шаге состоянию i $x_n^i=1$ соответствует подключение блока, а состоянию $x_n^i=0$ – отключение блока от РС. Распространённые в настоящее время современные промышленные средства организации распределённых вычислительных сред предполагают коммутацию очередей обмена сообщениями к целевым узлам. Если маршрут к узлу невозможен, то происходит выбор маршрута обхода и временное хранение сообщения. Хранение сообщения обеспечивает система нереляционных баз данных. Этот механизм в настоящей работе не рассматривается. Для решения представленной задачи необходимо использование специфических методов, которые будут описаны ниже.

4. Обзор основных алгоритмов стохастической аппроксимации и метод решения задачи управления распределённой вычислительной средой

К основным алгоритмам стохастической аппроксимации (оптимизации) по Назину-Позняку относятся

алгоритмы Нарендры-Шапиро, Льюса, Варшавского-Воронцовой, Буша-Мостеллера, Назина-Позняка [9, 10]. В этих алгоритмах подразумевается, что имеется конечное число N дискретных i-х вариантов выбора. Важно, что период времени T непрерывного функционирования объекта управления разбивается на n=1,2,… фиксированных по продолжительности интервалов, величина которых выбирается ЛПР перед проведением оптимизационных процедур. Для удобства выбора варианта каждому интервалу присваивается вектор $x_n=(x(1), \ldots, x(N))$, при $x(i)=1$ вариант i выбирается, при $x(i)=0$ – не выбирается. В n-ом интервале может быть выбрано не более одного варианта.

Оператор проецирования π_ε^N для любого вектора $q \in R^N$ строит вектор-столбец $p = \pi_\varepsilon^N\{q\}$, принадлежащий N-мерному ε-симплексу

$$S_\varepsilon^N = \left\{ p = (p_1, \ldots, p_N) \middle| p \in R^N, \sum_{i=1}^N p_i = 1,\ p_i \ge \varepsilon\ (i = 1, \ldots, N) \right\}$$

на основании условия $\left\| \pi_\varepsilon^N\{q\} - q \right\| = \min_{p \in S_\varepsilon^N} \| p - q \|$.

Поэтому, если форма записи рекуррентного соотношения одного шага работы алгоритма подразумевает использование π_ε^N, то есть записывается в виде $p_{n+1} = \pi_{\varepsilon_{n+1}}^N \{ p_n - \gamma_n R(x_n, p_n, \xi_n) \}$, то алгоритм считается проекционным, иначе, если $p_{n+1} = p_n - \gamma_n R(x_n, p_n, \xi_n)$, то – беспроекционным.

На основании вектор-функции движения $R(x_n, p_n, \xi_n,)$ выполняется перерасчёт условных вариантностей выбора вариантов p_n с учётом текущих потерь ξ_n. Поскольку при использовании метода деления отрезка для формирования x_n на основе p_n используется элемент вероятности ω, то все эти алгоритмы являются стохастическими.

Современные алгоритмы стохастической оптимизации основаны на использовании двухуровневого автомата с бинарной функцией потерь [11], высокоскоростной рекуррентной функции [12], условия сходимость алгоритма адаптации [13], метода имитационного моделирования [14]. Предлагаемый метод решения задачи управления распределённой вычислительной средой основан на работе [15], в которой представлено программное СППР.

В обобщённом виде задача управления вычислительной средой, для компенсации потерь ξ от В-событий, формулируется как

$$\lim_{k \to \infty} \Phi_k = \lim_{k \to \infty} \frac{1}{k} \sum_{n=1}^k \xi_n = \Phi^{\min}.$$

Целью настоящей работы является разработка подхода для управления вычислительными средами, который предполагает использование проекционных и беспроекционных алгоритмов стохастической аппроксимации. Полагая случайный характер возникновения ξ_n от В-событий, данный подход применим, в том числе, и для управления распределёнными средами в условиях атаки.

Каждому $x(i)$ из x_n для $i = \overline{1, N}$ ставится в соответствие такое управляющее воздействие, при котором некоторый управляющий сервер C_i (об этом ниже) включён в распределённую среду, если $x(i)=1$, и отключён от неё, если $x(i)=0$. Тогда, пусть последовательность управляющих воздействий есть $X = x_1, x_2, \ldots, x_n, \ldots$. Необходимо построить такое решающее правило $x_{n+1}=R(x_n, X)$, которое позволит решить некоторую задачу оптимизации $\Phi_{n+1}(x_n, x_{n+1}, X) \to \min$, или, в других обозначениях, $\arg\min_{x_{n+1} \in X} \Phi_{n+1}(x_n, x_{n+1}, X) = \Phi^{\min}$.

Актуальность такой постановки задачи связана с тем, что позволяет минимизировать суммарные затраты на контроль и потери от В-событий. Задача может быть решена не только с использованием классических алгоритмов, но и с их усовершенствованием, которое рассматривается в следующем разделе.

5. Описание разработанных алгоритмов

В проекционном алгоритме стохастической аппроксимации с использованием соседних вариантов для выбора оптимальных управляющих воздействий рекуррентная формула разработанного алгоритма имеет вид [16]

$$p_{n+1} = \pi_{\varepsilon_{n+1}}^N \{ p_n - \gamma_n (P_1 + P_2 + P_3) \}, \quad (3)$$

$$P_1 = \frac{\xi_n - \Delta}{e^T(x_n) p_n} e(x_n), \quad (4)$$

$$P_2 = \frac{\xi_n - \Delta}{e^T(x_{n-1}) p_n d} e(x_{n-1}), \quad (5)$$

$$P_3 = \frac{\xi_n - \Delta}{e^T(x_{n+1}) p_n d} e(x_{n+1}), \quad (6)$$

где d – абсолютное значение наибольшей величины разности между соседними элементами выбранного доминирующего варианта, вероятность выбора которого хранится в элементе вектора вероятности. Эти элементы получают некоторое, численно равное d, преимущество перед остальными, которое и обеспечивает использование соседних вариантов (соседние элементы вектора вероятности получают условно более высокий ранг, при этом происходит разбиение множества совокупности элементов вектора на два – соседние и несоседние). Естественно, что когда выбранный элемент является первым или последним в векторе, то сосед у него всего лишь один.

Формулы (3-6) положены в основу разработанного алгоритма, который предлагается называть 12VRS. **Рис. 4** иллюстрирует разницу результатов применения разработанного алгоритма 12VRS по сравнению с алгоритмом Назина-Позняка при выборе варианта №3 при N=5. Горизонтальными пунктирными линиями в пропорциональном масштабе показаны значения вектора P.

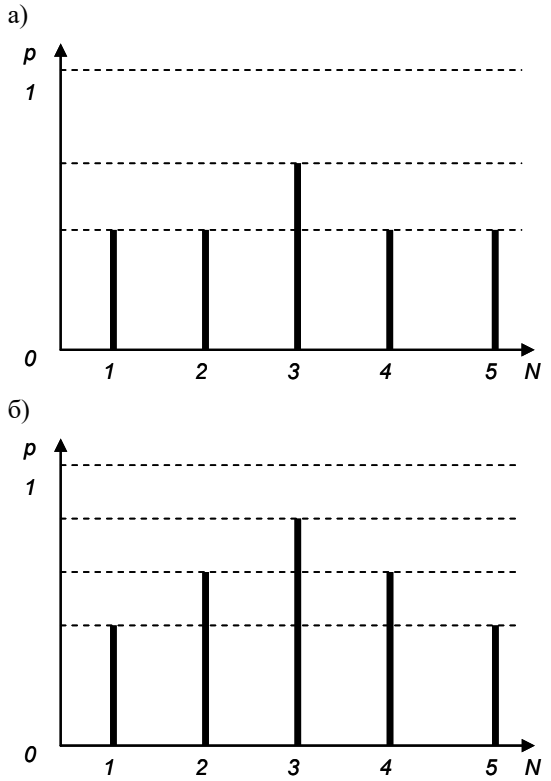


Рис. 4. Изменение вектора выбора вариантов:
а – проекционный алгоритм Назина-Позняка;
б – алгоритм 12VRS

Предлагаемый алгоритм выбора доминирующего варианта функционирует следующим образом [17]. Вначале выполняются прогоны с фиксированным вариантом, номер варианта постоянен и равен номеру прогона. Затем выбирается вариант, для которого имеется наименьшее значение среднего от средних величин текущих потерь. Если таких вариантов несколько, используется вариант с наименьшим порядковым номером. Для последующего построения рекуррентной последовательности управляющих воздействий применяется алгоритм Назина-Позняка [9], основанный на использовании выражения

$$p_{n+1} = \pi^{N}_{\varepsilon_{n+1}} \left\{ p_n - \gamma_n \frac{\xi_n - \Delta}{e^T(x_n)\, p_n} e(x_n) \right\}, \qquad (7)$$

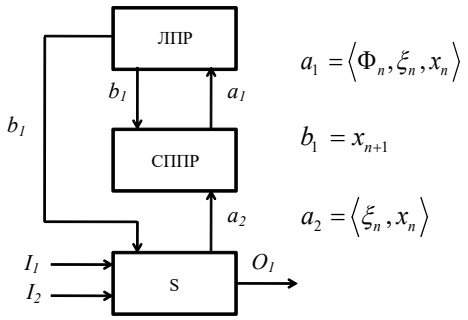
где Δ – параметр, влияющий на величину разницы между средним значением текущих потерь и их максимальным значением. В отличие от традиционного использования алгоритма Назина-Позняка, в разработанном алгоритме начальными значениями компонентов вектора вероятностей выбора вариантов становятся

$$\left(N^{-1}, \ldots, N^{-1}, \underbrace{kN^{-1}}_{Ndomv}, N^{-1}, \ldots, N^{-1} \right), \qquad (8)$$

где N_{domv} – номер доминирующего варианта, k=5 – масштабный множитель, выбранный исходя из общесистемных соображений. Перед первым использованием элементы вектора корректируются оператором проектирования для обеспечения условия (3). Вычислительные эксперименты для оценки эффективности рассмотрены в следующем разделе.

6. Сравнительная оценка алгоритмов стохастической аппроксимации по критерию минимума текущих средних потерь

Управление вычислительной мощностью РС, перекоммутация каналов, действия по настройке и управлению отдельными узлами и всей сети в целом может быть выполнено только в директивном порядке. Это обусловлено тем, что только ЛПР (системный администратор или инженер-системотехник) в полной мере может учесть качественные и количественные изменения вычислительных ресурсов РС. Выполняемая ЛПР корректировка должна быть достижимой и отвечать реальной ситуации, что сложно реализовать с использованием программно-аппаратных комплексов. Требуется использование всех возможностей ЛПР, включая интуитивные. В процессе управления РС необходим учёт влияния не только входных воздействий и случайных факторов, но и принимаемых ЛПР решений. На **рис. 5** представлена схема предлагаемой системы управления распределённой вычислительной средой.



I_1 – полезные заявки; I_2 – заявки от В-событий; O_1 – отработанные заявки; S – вычислительная среда; n – номер шага

Рис. 5. Схема системы управления распределённой вычислительной средой

Для оценки эффективности разработанных алгоритмов предлагается рассмотреть следующие альтернативы с числом N=5: для $i = \overline{1, N}$ A_i = «штраф, зависящий от ω, носит характер равномерного распределения на отрезке [0, i]». Выбор варианта производится из альтернатив A_i. Программно-реализованные альтернативы получили траектории, изображённые на **рис. 6-8.**

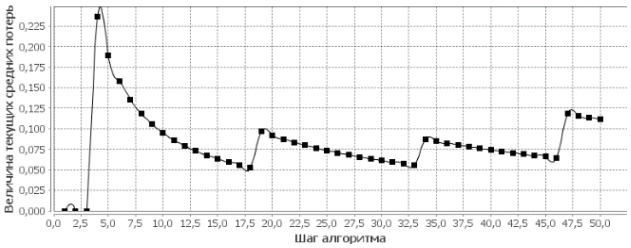


Рис. 6. График величины текущих средних потерь для алгоритма Назина-Позняка

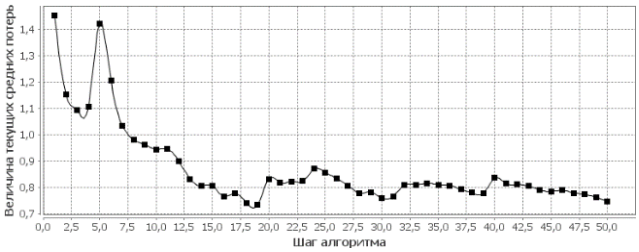


Рис. 7. График величины текущих средних потерь для алгоритма 12VRS

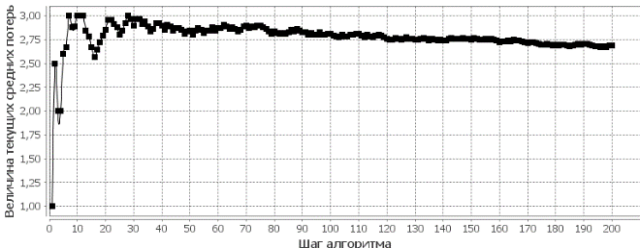


Рис. 8. График величины текущих средних потерь для доминирующего алгоритма

Анализ представленных графиков позволяет сделать следующие выводы:

- алгоритм Назина-Позняка является достаточно эффективным в силу своей простоты и скорости вычислений;
- алгоритм 12VRS обеспечивает более быструю сходимость, однако характеризуется большим средним значением потерь по сравнению с алгоритмом Назина-Позняка;
- алгоритм доминирующего варианта чувствителен к выбору начального приближения и, соответственно, к накоплению потерь на начальной стадии, поэтому неэффективен для решения рассматриваемой задачи.

Номера выбираемых вариантов в вычислительных экспериментах с каждым из рассматриваемых алгоритмов, а также точные значения средних потерь, представлены в **табл. 1**.

Заключение

В данной работе предложен подход для управления распределёнными вычислительными средами, основанный на использовании алгоритмов стохастической аппроксимации. Предложены два новых алгоритма, первый их которых отличается от известных использованием соседних вариантов, а второй предполагает выбор доминирующего варианта. В результате вычислительного эксперимента выполнен анализ средних потерь данных алгоритмов в сравнении со средними потерями известного алгоритма Низина-Позняка. Выявлены достоинства и недостатки каждого из трёх рассматриваемых алгоритмов. Показано, что с использованием программного средства поддержки принятия решений возможно производить широкий диапазон вычислительных экспериментов для уменьшения предельных значений средних текущих потерь алгоритмов стохастической аппроксимации.

Таблица 1

Результаты экспериментов с исследуемыми алгоритмами

Шаг	Алгоритм Низина-Позняка		Алгоритм 12VRS		Алгоритм доминирующего варианта	
	Вар.	Средние потери	Вар.	Средние потери	Вар.	Средние потери
1	0	0.000000	3	1.453870	2	1.000000
2	0	0.000000	1	1.152567	3	2.500000
3	0	0.000000	2	1.092876	2	2.000000
4	2	0.237124	4	1.106987	0	2.000000
5	0	0.189699	3	1.424044	4	2.600000
6	0	0.158082	1	1.207905	1	2.666667
7	0	0.135499	0	1.035347	4	3.000000
8	0	0.118562	1	0.981754	0	2.875000
9	0	0.105388	1	0.961612	1	2.888889
10	0	0.094849	1	0.943970	3	3.000000
11	0	0.086227	1	0.945109	1	3.000000
12	0	0.079041	1	0.900717	1	3.000000
13	0	0.072961	0	0.831431	2	2.846154
14	0	0.067750	1	0.804531	0	2.785714
15	0	0.063233	1	0.804700	2	2.666667
16	0	0.059281	1	0.764601	2	2.562500
17	0	0.055794	1	0.777602	3	2.647059
18	0	0.052694	1	0.740872	3	2.722222
19	1	0.096794	1	0.733235	3	2.789474
20	0	0.091955	3	0.831205	3	2.850000
21	0	0.087576	1	0.816869	4	2.952381
22	0	0.083595	1	0.821743	1	2.954545
23	0	0.079961	1	0.822667	0	2.913043
24	0	0.076629	4	0.870121	0	2.875000
25	0	0.073564	1	0.856247	2	2.800000
26	0	0.070734	1	0.833221	3	2.846154
27	0	0.068115	1	0.806147	4	2.925926
28	0	0.065682	0	0.777356	4	3.000000
29	0	0.063417	1	0.781703	0	2.965517
30	0	0.061303	1	0.758516	2	2.900000
31	0	0.059326	1	0.764492	4	2.967742
32	0	0.057472	3	0.807864	1	2.968750
33	0	0.055730	1	0.809160	2	2.909091
34	4	0.087317	1	0.814041	3	2.941176
35	0	0.084822	1	0.809991	2	2.885714
36	0	0.082466	4	0.806190	2	2.833333
37	0	0.080237	2	0.791349	3	2.864865
38	0	0.078125	1	0.778909	4	2.921053
39	0	0.076122	1	0.776197	1	2.923077
40	0	0.074219	4	0.835132	0	2.900000
41	0	0.072409	0	0.814763	2	2.853659
42	0	0.070685	1	0.810341	4	2.904762
43	0	0.069041	1	0.803871	0	2.883721
44	0	0.067472	1	0.789842	2	2.840909
45	0	0.065972	1	0.784159	3	2.866667
46	0	0.064538	1	0.788115	1	2.869565
47	4	0.118359	1	0.778218	0	2.851064
48	0	0.115894	1	0.772666	2	2.812500
49	0	0.113528	1	0.760560	3	2.836735
50	0	0.111258	0	0.745349	1	2.840000

Применение представленных в статье алгоритмов в составе интеллектуальных транспортных систем позволит уменьшить потери информации, повысить надёжность и безопасность инфраструктуры компьютерных сетей, эффективность управления транспортными потоками.

Список литературы

1. Массобрио Р., Несмачнов С., Черных А., Аветисян А., Радченко Г. Применение облачных вычислений для анализа данных большого объёма в умных городах // Труды Института системного программирования РАН. 2016. Т. 28. № 6. С. 121-140. doi: 10.15514/ISPRAS-2016-28(6)-9.
2. Аверина Л.М., матушкина Н.А., Лаврикова Ю.Г. Переход транспортного комплекса региона на инновационный путь развития // Экономика региона. 2010. № 4. С. 102-110. doi: 10.17059/2010-4-11.
3. Бойкова М.В., Ильина И.Н., Салазкина М.Г. Будущее городов: города как агенты глобализации и инноваций // Форсайт. 2011. Т. 5. № 4. С. 32-48.
4. Цветков В.А. Основные направления модернизации отечественной экономики // Экономика региона. 2011. № 2. С. 37-40. doi: 10.17059/2011-2-4.
5. Агафонов А.А., Мясников В.В. Оценка и прогнозирование параметров транспортных потоков с использованием композиции методов машинного обучения и моделей прогнозирования временных рядов // Компьютерная оптика. 2014. Т. 38. № 3. С. 539-549.
6. Лахно В.А. Модель интеллектуальной системы управления городскими автобусными перевозками // Радиоэлектроника, информатика, управление. 2016. Т. 37. № 2. С. 119-127.
7. Майоров В.И., Севрюгин В.Е. Зарубежный опыт разработки целевых комплексных программ по обеспечению безопасности участников дорожного движения // Всероссийский криминологический журнал. 2015. Т. 9. № 4. С. 766-776. doi: 10.17150/1996-7756.2015.9(4).766-776.
8. Хаханов В.И., Чумаченко С.В., Литвинов Е.И., Мищенко А.С. Развитие киберпространства и информационная безопасность // Радиоэлектроника, информатика, управление. 2013. Т. 28. № 1. С. 151-157.
9. Назин А.В. О повышении эффективности автоматных алгоритмов адаптивного выбора вариантов // Адаптация и обучение в системах управления и принятия решений / Медведев А.В. Новосибирск: Наука, 1982. С. 40-46.
10. Назин А.В., Позняк А.С. Адаптивный выбор вариантов: Рекуррентные алгоритмы. Наука, 1986. 288 с.
11. Скаткова Н.А. Гарантоспособные технологии реконфигурации автоматизированных транспортно-производственных систем // Радиоэлектронные и компьютерные системы. 2008. Т. 33. № 6. С. 52-57.
12. Воронин Д.Ю. Обеспечение высокой терминальной готовности на основе информационных технологий распределения ресурсов // Вестник СевНТУ. 2011. № 114. С. 100-105.
13. Большаков А.В., Кузенков О.А., Зорин В.А. Метод адаптации для задач с безусловной минимизацией средних потерь // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2007. № 6. С. 147-152.
14. Ткаченко К.С. Адаптивное управление распределённой средой на базе имитационной модели GRID-системы // Вестник СевНТУ. 2012. № 125. С. 103-106.
15. Ткаченко К.С. Программная система адаптивного принятия решений при априорной неопределённости входных данных // Вестник СевНТУ. 2012. № 131. С. 78-81.
16. Ткаченко К.С. Проекционный алгоритм стохастической аппроксимации с использованием соседних вариантов для оптимизации управления выбором управляющих воздействий // Сборник научных трудов Кировоградского национального технического университета. 2013. № 26. С. 301-305.
17. Ткаченко К.С. Алгоритм доминирующего выбора вариантов для принятия решений в условиях вирусной атаки // Вестник СевНТУ. 2014. № 154. С. 114-117.
18. Распределённая среда обработки данных [Электронный ресурс]. URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/fin_enc/28263 (дата обращения: 11.01.2016).
19. DCE Distributed File System [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/DCE_Distributed_File_System (дата обращения: 11.01.2016).
20. Вьюкова Н.И. Продукты Informix и распределённые вычисления [Электронный ресурс]. URL: https://www.osp.ru/data/www2/dbms/1995/04/07.htm (дата обращения: 11.01.2016).
21. Платунова С.М. Методы проектирования фрагментов компьютерной сети. СПб.: НИУ ИТМО, 2012. 51 с.

Материал поступил в редакцию 24.04.2018

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

CONTROLLING THE DISTRIBUTED COMPUTING ENVIRONMENT BY USING PROJECTION AND NON-PROJECTION ALGORITHMS

Tkachenko Kirill Stanislavovich – Engineer
Sevastopol State University, Russia. E-mail: KSTkachenko@sevsu.ru

Abstract
The approach to manage computing environments, which involves the application of projection and non-projection stochastic approximation algorithms is proposed. Authors provide the description of the developed algorithms for implementation of one step of optimization with a recursive sequence. The first developed algorithm differs from the existing algorithms in application of the neighboring options, when the second algorithm differs in the dominating variant. The presented algorithms have been implementing in the framework of decision support software package. The results of the numerical experiments with software package showed that the application of the developed algorithm allows achieving the reduction of boundary values of the average current information loss.

Keywords: projection algorithms, non-projection algorithms, stochastic approximation, distributed computing environment, Nazin-Poznyak algorithm.

References

1. Massobrio R., Nesmachnow S., Tchernykh A., Avetisyan A., Radchenko G. Primenenie oblachnykh vychislenii dlia analiza dannykh bolshogo obema v umnykh gorodakh [Towards a Cloud Computing Paradigm for Big Data Analysis in Smart Cities] // Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS. 2016, vol. 28, no. 6, pp. 121–140. doi: 10.15514/ISPRAS-2016-28(6)-9. (In Russ.).
2. Averina L. M., Matushkina N. A., Lavrikova J. G. Perehod transportnogo kompleksa regiona na innovacionnyj put' razvitija [Transition of the transport complex of the region to the innovation vector of development] // Economy of Region. 2010, pp. 102–110. doi: 10.17059/2010-4-11. (In Russ.).
3. Boikova M., Ilyina I., Salazkin M. Budushchee gorodov: goroda kak agenty globalizatsii i innovatsiy [Urban Futures: Cities as Agents of Globalization and Innovation] // Foresight-Russia. 2011, vol. 5, no. 4, pp. 32–48. (In Russ.).
4. Tsvetkov V. A. Osnovnye napravleniia modernizatcii otechestvennoi ekonomiki [Main areas of the national economy modernization] // Economy of Region. 2011, no. 2, pp. 37–40. doi: 10.17059/2011-2-4. (In Russ.).
5. Agafonov A.A., Myasnikov V.V. Otcenka i prognozirovanie parametrov transportnykh potokov s ispolzovaniem kompozitcii metodov mashinnogo obucheniia i modelei prognozirovaniia vremennykh riadov [An Algorithm for Traffic Flow Parameters Estimation and Prediction Using Composition of Machine Learning Methods and Time Series Models] // Computer optics. 2014, vol. 38, no. 3, pp. 539–549. (In Russ.).
6. Lakhno V. A Model intellektualnoi sistemy upravleniia gorodskimi avtobusnymi perevozkami [Model of Intelligent Management System of City Bus Transportations] // Radio Electronics, Computer Science, Control. 2016, vol. 37, no. 2, pp. 119–127. (In Russ.).
7. Mayorov V.I., Sevryugin V.E. Zarubezhnyi opyt razrabotki tcelevykh kompleksnykh programm po obespecheniiu bezopasnosti uchastnikov dorozhnogo dvizheniia [International experience of developing complex target programs of road users' safety] // Russian Journal of Criminology. 2015, vol. 9, no. 4, pp. 766–776. doi: 10.17150/1996-7756.2015.9(4).766-776. (In Russ.).
8. Hahanov V.I., Chumachenko S.V., Litvinova E.I., Mishchenko A.S. Razvitie kiberprostranstva i informatcionnaia bezopasnost [Cyberspace Development and Information Security] // Radio Electronics, Computer Science, Control. 2013, vol. 28, no. 1, pp. 151–157.
9. Nazin A.V. O povyshenii effektivnosti avtomatnykh algoritmov adaptivnogo vyboravариантов [On improving the efficiency of automaton algorithms for adaptive selection of options] // Adaptatciia i obuchenie v sistemakh upravleniia i priniatiia reshenii [Adaptation and training in management systems and decision making]. 1982, Novosibirsk: Nauka, pp. 40–46. (In Russ.).
10. Nazin A.V., Pozniak A.S. Adaptivnyi vybor variantov: Rekurrentnye algoritmy [Adaptive choice of options: Recurrent algorithms]. Moscow: Nauka. 1986. 288 p. (In Russ.).
11. Skatkova N.A. Garantosposobnye tekhnologii rekonfiguratcii avtomatizirovannykh transportno-proizvodstvennykh sistem [Guaranteed technologies for the reconfiguration of automated transportation and production sys-

tems] // Radio-Electronic and Computer Systems. 2008, vol. 33, no. 6, pp. 52–57. (In Russ.).
12. Voronin D.Iu. Obespechenie vysokoi terminalnoi gotovnosti na osnove informatcionnykh tekhnologii raspredeleniia resursov [Ensuring high terminal readiness based on information technology resource allocation] // Vestnik SevNTU [Bulletin of SevNTU]. 2011, no. 114, pp. 100–105. (In Russ.).
13. Bol'shakov A.V., Kuzenkov O.A., Zorin V.A. Metod adaptatcii dlia zadach s bezuslovnoi minimizatciei srednikh poter [Adaptation Method for the Problems with Average Loss Unconstrained Minimization] // Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod. 2007, no. 6, pp. 147–152. (In Russ.).
14. Tkachenko K.S. Adaptivnoe upravlenie raspredelennoi sredoi na baze imitatcionnoi modeli GRID-sistemy [Adaptive Control of Distributed Environment Based on Simulation Model of GRID-system] // Vestnik SevNTU [Bulletin of SevNTU]. 2012, no. 125, pp. 103–106. (In Russ.).
15. Tkachenko K.S. Programmnaia sistema adaptivnogo priniatiia reshenii pri apriornoi neopredelennosti vkhodnykh dannykh [Adaptive Decision-making Software System Under a Priori Uncertainty in the Input Data] // Vestnik SevNTU [Bulletin of SevNTU]. 2012, no. 131, pp. 78–81. (In Russ.).
16. Tkachenko K.S. Proektcionnyi algoritm stokhasticheskoi approksimatcii s ispolzovaniem sosednikh variantov dlia optimizatcii upravleniia vyborom upravliaiushchikh vozdeistvii [Projection Stochastic Approximation Algorithm With the Use of Neighboring Options for Control Impacts] // Sbornik nauchnykh trudov Kirovogradskogo natcionalnogo tekhnicheskogo universiteta [Kirovograd National Technical University's Collection of Sientific Papers]. 2013, no. 26, pp. 301–305.
17. Tkachenko K.S. Algoritm dominiruiushchego vybora variantov dlia priniatiia reshenii v usloviiakh virusnoi ataki [Dominant Option Selection Algorithm for Action Under Viral Attack] // Vestnik SevNTU [Bulletin of SevNTU]. 2014, no. 154, pp. 114–117. (In Russ.).
18. Rasredelennaia sreda obrabotki dannykh [Distributed processing environment]. Available at: https://dic.academic.ru/dic.nsf/fin_enc/28263. (In Russ.).
19. DCE Distributed File System. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/DCE_Distributed_File_System.
20. Viukova N.I. Produkty Informix i raspredelennye vychisleniia [Informix products and distributed computing]. Available at: https://www.osp.ru/data/www2/dbms/1995/04/07.htm. (In Russ.).
21. Platunova S.M. Metody proektirovaniia fragmentov kompiuternoi seti [Methods of Designing Computer Network Fragments]. Saint Petersburg: NIU ITMO. 2012. 51 p. (In Russ.).

Received 24/04/2018

Ткаченко К.С. Управление распределёнными вычислительными средами с использованием проекционных и беспроекционных алгоритмов // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2018. Т.8. №1. С. 30-37

Tkachenko K.S. Controlling the distributed computing environment by using projection and non-projection algorithms //*Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern Problems of Russian Transport Complex]. 2018, vol.8, no.1, pp. 30-37