

*Intellectual Technologies  
on Transport  
No 3*



*Интеллектуальные технологии  
на транспорте  
№ 3*

*Санкт-Петербург  
St. Petersburg  
2021*

**Интеллектуальные технологии на транспорте**  
**№ 3, 2021**

ISSN 2413-2527

Сетевой электронный научный журнал, свободно распространяемый через Интернет.  
Публикуются статьи на русском и английском языках с результатами исследований  
и практических достижений в области интеллектуальных технологий  
и сопутствующих им научных исследований.

Журнал основан в 2015 году.

---

**Учредитель и издатель**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС)

---

**Главный редактор**

Хомоненко А. Д., д.т.н., проф., С.-Петербург, РФ

**Сопредседатели редакционного совета**

Панычев А. Ю., ректор ПГУПС, С.-Петербург, РФ

Чаркин Е. И., зам. ген. директора по ИТ ОАО «РЖД», Москва, РФ

---

**Редакционный совет**

Ададулов С. Е., проф., Москва, РФ  
Дудин А. Н., д.т.н., проф., БГУ, Минск, Беларусь  
Корниенко А. А., проф., ПГУПС, С.-Петербург, РФ  
Ковалец П., проф., Техн. ун-т, Варшава, Польша  
Меркурьев Ю. А., проф., РТУ, Рига, Латвия  
Нестеров В. М., проф., СПбГУ, С.-Петербург, РФ

Пустарнаков В. Ф., зам. ген. дир. «Газинформсервис»,  
С.-Петербург, РФ  
Титова Т. С., проф., проректор ПГУПС,  
С.-Петербург, РФ  
Федоров А. Р., ген. дир. «ДигДез», С.-Петербург, РФ  
Юсупов Р. М., проф., чл.-корр. РАН, С.-Петербург, РФ

---

**Редакционная коллегия**

Бубнов В. П., проф., С.-Петербург, РФ – зам. гл. ред.  
Александрова Е. Б., проф., С.-Петербург, РФ  
Атилла Элчи, проф., ун-т Аксарай, Турция  
Басыров А. Г., проф., С.-Петербург, РФ  
Безродный Б. Ф., проф., Москва, РФ  
Благовещенская Е. А., проф., С.-Петербург, РФ  
Булавский П. Е., д.т.н., доц., С.-Петербург, РФ  
Василенко М. Н., проф., С.-Петербург, РФ  
Глухов А. П., д.т.н., Москва, РФ  
Гуда А. Н., проф., Ростов-на-Дону, РФ  
Железняк В. К., проф., Новополоцк, Беларусь  
Заборовский В. С., проф., С.-Петербург, РФ  
Зегжда П. Д., проф., С.-Петербург, РФ  
Канаев А. К., проф., С.-Петербург, РФ  
Котенко А. Г., д.т.н., доц., С.-Петербург, РФ  
Куренков П. В., проф., Москва, РФ  
Лецкий Э. К., проф., Москва, РФ

Макаренко С. И., д.т.н., доц., С.-Петербург, РФ  
Мирзоев Т. А., асс. проф., Джорджия, США  
Наседкин О. А., к.т.н., доц., С.-Петербург, РФ  
Никитин А. Б., проф., С.-Петербург, РФ  
Новиков Е. А., д.т.н., доц., С.-Петербург, РФ  
Охтилев М. Ю., проф., С.-Петербург, РФ  
Привалов А. А., проф., С.-Петербург, РФ  
Соколов Б. В., проф., С.-Петербург, РФ  
Таранцев А. А., проф., С.-Петербург, РФ  
Утепбергенов И. Т., проф., Алматы, Казахстан  
Филипченко С. А., к.т.н., доц., Москва, РФ  
Фозилов Ш. Х., проф., Ташкент, Узбекистан  
Фу-Ниан Ху, проф., Цзянсу, Китай  
Хабаров В. И., проф., Новосибирск, РФ  
Ходаковский В. А., проф., С.-Петербург, РФ  
Чехонин К. А., проф., Хабаровск, РФ  
Ялышев Ю. И., проф., Екатеринбург, РФ

---

**Адрес редакции:**

190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9, ауд. 1–210  
e-mail: itt-pgups@yandex.ru

---

Сетевое издание «Интеллектуальные технологии на транспорте (сетевой электронный научный журнал),  
Intellectual Technologies on Transport» зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых коммуникаций.  
Свидетельство Эл № ФС77–61707 от 07 мая 2015 г.

Журнал зарегистрирован в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

Периодичность выхода – 4 номера в год. Выпуски журнала доступны на сайте <http://itt-pgups.ru>.

Информация предназначена для детей старше 12 лет.

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», 2021

# Intellectual Technologies on Transport

## Issue 3, 2021

ISSN 2413-2527

Network electronic scientific journal, open access. It publishes articles in Russian and English with the results of research and practical achievements in the field of intelligent technologies and associated research.

Founded in 2015.

---

### Founder and Publisher

Federal State Educational Institution of Higher Education  
«Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University»

---

### Editor-in-Chief

Khomonenko A. D., Dr. Sc., Prof., St. Petersburg, Russia

### Co-chairs of the Editorial Council

Panychev A. Y., rector of PSTU, St. Petersburg, Russia  
Charkin E. I., CIO of JSC «Russian Railways», Moscow, Russia

---

### Editorial Council Members

Adadurov S. E., Prof., Moscow, Russia

Dudin A. N., Prof., BSU, Minsk, Belarus

Kornienko A. A., Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia

Kovalets P., Prof., Tech. University, Warsaw, Poland

Merkuryev Y. A., Prof., RTU, Academician of the

Latvian Academy of Sciences, Riga, Latvia

Nesterov V. M., Prof., SPbSU, St. Petersburg, Russia

Pustarnakov V. F., Deputy CEO at «Gazinformservice» Ltd.,  
St. Petersburg, Russia

Titova T. S., Prof., Vice-Rector, PSTU, St. Petersburg, Russia

Fedorov A. R., CEO at «Digital Design» Ltd.,  
St. Petersburg, Russia

Yusupov R. M., Prof., Corr. Member of RAS,  
St. Petersburg, Russia

---

### Editorial Board Members

Bubnov V. P., Prof., St. Petersburg, Russia –  
Deputy Editor-in-Chief

Aleksandrova E. B., Prof., St. Petersburg, Russia

Atilla Elci, Prof., Aksaray University, Turkey

Basyrov A. G., Prof., St. Petersburg, Russia

Bezrodny B. F., Prof., Moscow, Russia

Blagoveshchenskaya E. A., Prof., St. Petersburg, Russia

Bulavsky P. E., Dr. Sc., As. Prof., St. Petersburg, Russia

Vasilenko M. N., Prof., St. Petersburg, Russia

Glukhov A. P., Dr. Sc., St. Petersburg, Russia

Guda A. N., Prof., Rostov-on-Don, Russia

Zheleznyak V. K., Prof., Novopolotsk, Belarus

Zaborovsky V. S., Prof., St. Petersburg, Russia

Zegzhda P. D., Prof., St. Petersburg, Russia

Kanaev A. K., Prof., St. Petersburg, Russia

Kotenko A. G., Dr. Sc., As. Prof., St. Petersburg, Russia

Kurenkov P. V., Prof., Moscow, Russia

Letsky E. K., Prof., Moscow, Russia

Makarenko S. I., Dr. Sc., As. Prof.,  
St. Petersburg, Russia

Mirzoev T. A., As. Prof., Georgia, USA

Nasedkin O. A., As. Prof., St. Petersburg, Russia

Nikitin A. B., Prof., St. Petersburg, Russia

Novikov E. A., Dr. Sc., As. Prof., St. Petersburg, Russia

Okhtilev M. Y., Prof., St. Petersburg, Russia

Privalov A. A., Prof., St. Petersburg, Russia

Sokolov B. V., Prof., St. Petersburg, Russia

Tarantsev A. A., Prof., St. Petersburg, Russia

Utepbergenov I. T., Prof., Almaty, Kazakhstan

Filipchenko S. A., As. Prof., Moscow, Russia

Fozilov Sh. Kh., Prof., Tashkent, Uzbekistan

Fu-Nian Hu, Prof., Jiangsu, China

Khabarov V. I., Prof., Novosibirsk, Russia

Khodakovskiy V. A., Prof., St. Petersburg, Russia

Chekhonin K. A., Prof., Khabarovsk, Russia

Yalyshev Y. I., Prof., Ekaterinburg, Russia

---

### Editorial address:

190031, St. Petersburg, Moskovsky ave., 9, aud. 1–210

e-mail: [itt-pgups@yandex.ru](mailto:itt-pgups@yandex.ru)

---

The online journal «Intellectual Technologies on Transport» is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technologies, and Mass Media.

EI No. FS77-61707 Testimony from May 7, 2015.

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

Frequency of release - 4 issues per year. Issues of the magazine are available at <http://itt-pgups.ru>

The content is for children over the age of 12.

## Содержание

*Куранова О. Н., Дергачёв А. И., Дергачёв С. А., Абросимов А. В., Султонов Ш. Х.*  
Оценка потребности железных дорог в доподготовке персонала по выполнению перевозок на железнодорожном транспорте в особый период ..... 5

*Липанов И. Д., Молодкин И. А., Хомоненко А. Д.*  
Разработка и перспективы информационной системы для мониторинга состояния мостов ..... 11

*Султонов Ш. Х.*  
Особенности установки и эксплуатации системы электрообогрева стрелочных переводов СЭИТ-04/СЭИТ-04М производства ООО «КТН» ..... 17

*Бранзов Т., Иванова К., Иванова Н. В., Попов В. А.*  
Концептуальная модель архитектуры системы сбора данных с датчиков контроля уровня загрязнения атмосферного воздуха, установленных на крышах общественного транспорта ..... 25

*Полтавцева М. А.*  
Многомерная потоковая агрегация самоподобных данных в информационной безопасности ПКФС ..... 31

*Переводы докладов, представленных на международном семинаре  
«Интеллектуальные транспортные системы. Транспортная безопасность»  
на базе Института проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской академии наук  
и Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I  
С.-Петербург, Россия. 14 мая 2021 г.*

*Павлов А. Н., Умаров А. Б., Алешин Е. Н.*  
Подход к оцениванию критичности элементов цепи поставок с позиций их структурного построения в условиях колебания спроса ..... 38

*Ищенко А. Д., Таранцев Анд. А. Таранцев Ал-др А.*  
О живучести объектов инфраструктуры в Арктике при пожарах ..... 46

*Поликарпов П. В., Уваров Н. К., Хомоненко А. Д.*  
Экосистемы квантовых вычислений и перспективы использования их на транспорте ..... 52

## Contents

*Kuranova O. N., Dergachev A. I., Dergachev S. A., Abrosimov A. V., Sulonov Sh. Kh.*  
Assessment of the Need for Railways to Train Personnel to Perform Rail Transport Operations  
in a Special Period ..... 5

*Liponov I. D., Molodkin I. A., Khomonenko A. D.*  
Development and Prospects of the Information System for Monitoring the Condition of Bridges ..... 11

*Sultonov Sh. Kh.*  
The Peculiarity of the Installation and Operation of the Electric Heating System of the Switches  
SEIT-04 / SEIT-04M Manufactured by KTN LLC ..... 17

*Branzov T., Ivanova K., Ivanova N. V., Popov V. A.*  
Conceptual Model of the Architecture of a System for Collecting Data from Sensors for Monitoring  
the Level of Atmospheric Air Pollution Installed on the Roofs of Public Transport ..... 25

*Poltavtseva M. A.*  
Multidimensional Streaming Aggregation of Self-Similar Data in ICPS Information Security ..... 31

*Translations of reports presented at the Intelligent Transport Systems and Transport Security Workshop  
on the basis of the Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences  
and Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University  
St. Petersburg, Russia. May 14, 2021.*

*Pavlov A. N., Umarov A. B., Aleshin Ye. N.*  
Study of Structural Significance of Supply Chain Elements with Variable Order Rate ..... 38

*Ishchenko A. D., Tarantsev Andrey A., Tarantsev Alexander A.*  
On the Survivability of Infrastructure Facilities in the Arctic During Fires ..... 46

*Polikarpov P. V., Uvarov N. K., Khomonenko A. D.*  
Characteristics of Ecosystems of Quantum Computing and Prospects for Their Use in Transport ..... 52

# Оценка потребности железных дорог в доподготовке персонала по выполнению перевозок на железнодорожном транспорте в особый период

к.т.н. О. Н. Куранова, к.воен.н. А. И. Дергачёв, к.э.н. С. А. Дергачёв, к.т.н. А. В. Абросимов, Ш. Х. Султонов  
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I  
Санкт-Петербург, Россия  
olga\_kuranova@mail.ru, d\_ader@mail.ru, deburg@mail.ru, abros26@mail.ru, sultonovsh@yandex.ru

**Аннотация.** Одним из наиболее перспективных направлений повышения уровня готовности персонала к выполнению перевозок в особый период может стать дистанционная доподготовка. Ее отличительной особенностью является использование телекоммуникационных технологий, которые позволяют оперативно организовать процесс обучения без отрыва от производства, а также вне зависимости от географического местоположения обучаемых и самого центра обучения. Сущность дистанционной доподготовки состоит в том, что образовательные услуги могут предоставляться всем пространственно удаленным потребителям в режиме реального времени и в любой форме отображения, включая и непосредственное общение с квалифицированным профессорско-преподавательским составом. При этом предусматривается охват различных уровней органов управления железнодорожным транспортом на основе использования оперативных средств двустороннего обмена информацией и электронных учебных материалов. Доподготовка персонала к выполнению перевозок ведется постоянно в соответствии с утвержденными планами железных дорог по повышению квалификации работников всех категорий. Вместе с тем доподготовка персонала железных дорог к выполнению перевозок в особый период не предусмотрена.

**Ключевые слова:** обеспечение отрасли профессиональным человеческим ресурсом, развитие образовательного процесса, создание и развитие адресных программ для закрепления сотрудников на объектах отрасли, сокращение финансовых затрат на доподготовку и переподготовку.

## ВВЕДЕНИЕ

Математическая постановка задачи предполагает соответствующее описание функций и выбор критериев оценки эффективности функционирования системы в особых условиях (пандемия коронавирусной инфекции COVID-19, стихийных бедствий и т. п.). Содержание математической модели, очевидно, должно отражать стратегические задачи развития кадрового потенциала.

В качестве основных из них необходимо выделить: обеспечение отрасли профессиональным человеческим ресурсом, развитие образовательного процесса, создание и развитие адресных программ для закрепления сотрудников на объектах отрасли, сокращение финансовых затрат на доподготовку и переподготовку.

В настоящее время доподготовка и переподготовка персонала железных дорог в основном базируется на выделяемых финансовых ресурсах и возможностях имеющихся образовательных учреждений [1–4].

При таком подходе, неизбежно возникает желание охватить обучением как можно больше персонала тех хозяйств, предприятий, которые расположены ближе к образовательным учреждениям. Осуществить детализацию учебных программ до конкретного специалиста хозяйства, предприятия, при таком подходе не представляется возможным [5–8].

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Основные задачи по доподготовке и переподготовке персонала возлагаются на филиалы ОАО «РЖД», то есть управления железных дорог. Именно на этом иерархическом уровне в основном и решаются задачи среднесрочного и текущего финансово-экономического прогнозирования работы предприятий, хозяйств и развития персонала. Формирование потребности дороги в доподготовке и переподготовке персонала в общем случае следует планировать и осуществлять по пяти категориям (руководители, специалисты, командиры, мастера, включая и рабочих). Однако для обеспечения выполнения перевозок основное внимание в процессе доподготовки и переподготовки следует уделять руководителям всех уровней.

Для обоснования содержания математической постановки задачи воспользуемся схемой, приведенной на рисунке 1.

В обозначениях на схеме  $k_i$  — нормативный коэффициент, учитывающий потребности в образовательных услугах по  $i$ -й специальности;

$M$  — количество специалистов;

$m$  — предприятие;

$W$  — возможности учебно-производственных центров по оказанию образовательных услуг;

$Q_{oy}$  — потребность в образовательных услугах;

$Q_d$  — потребность в доподготовке;

$Q_p$  — потребность в переподготовке;

$Q_n$  — потребность в начальной подготовке.

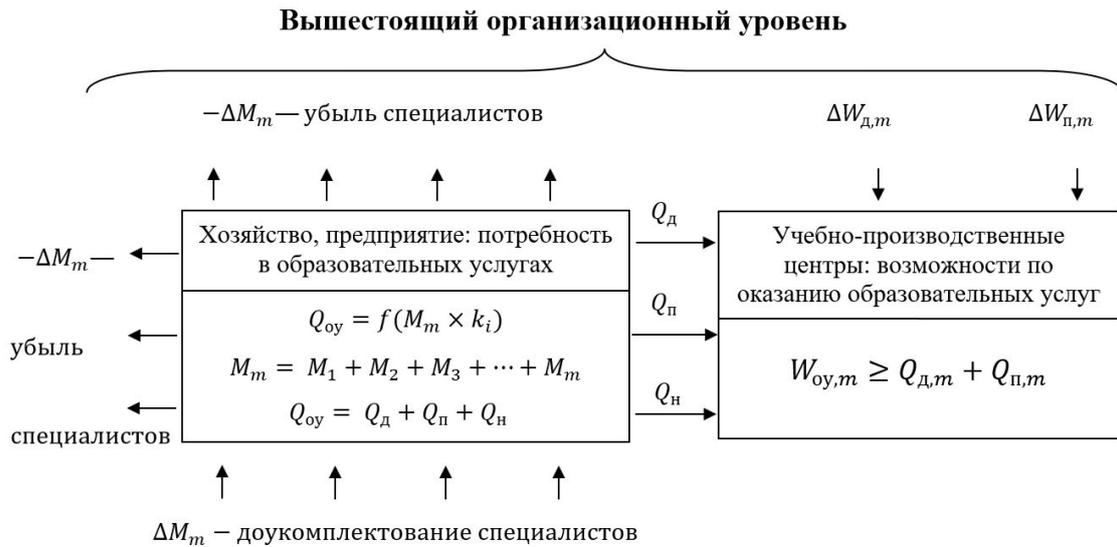


Рис. 1. Концептуальная схема для обоснования содержания математической модели прогнозирования потребности в доподготовке и переподготовке персонала

В соответствии с приведенной схемой для производственного объекта  $m$  потребности в образовательных услугах  $Q_{oy}$  в настоящее время определяются существующей численностью персонала и величиной нормативного коэффициента  $k_{m,i}$ , который должен устанавливаться руководством ОАО «РЖД» для планирования ежегодного обучения работников по каждой специальности с целью доподготовки или переподготовки.

Движение персонала на объекте определяется его убылью  $-\Delta M_m$ . Это убыль по естественным причинам и убыль при перемещении персонала за пределы данного объекта. Поступление персонала на объект  $\Delta M_m$  — это прием специалистов после окончания средних и высших учебных заведений, рабочих и служащих после окончания других учебных заведений или курсов, перевод сотрудников с других предприятий и других отраслей.

Таким образом, потребность в образовательных услугах в мирное время для доподготовки и переподготовки персонала в общем виде можно выразить следующей функциональной зависимостью:

$$Q_{oy,m} = f(M_m \times k_{m,i}), \quad (1)$$

где  $M_m$  — численность персонала на объекте  $m$ ;  $k_{m,i}$  — коэффициент, характеризующий норматив на ежегодное обучение персонала по специальности  $i$  для этого объекта. Его величина, как отмечено выше, юридически не установлена.

В данной модели рассматривается следующая номенклатура специальностей для каждого хозяйства, предприятия:

- $i = 1$  — руководители высшего звена;
- $i = 2$  — специалисты;
- $i = 3$  — командиры среднего звена;
- $i = 4$  — мастера.

Для исходной численности персонала, в качестве которого выступает хозяйство или предприятие, по заданной номенклатуре специальностей для доподготовки и переподготовки потребность в образовательных услугах

составит сумму потребности в начальной подготовке, доподготовке и переподготовке:

$$Q_{oy,m} = Q_{n,m} + Q_{d,m} + Q_{p,m}$$

при

$$Q_{oy,m,i} \leq W_{oy,m,i} + W'_{oy,m,i},$$

где  $W'_{oy,m,i}$  — возможности по оказанию образовательных услуг для  $m$ -го подразделения по  $i$ -й специальности, привлекаемые из других образовательных уровней.

На основе сформированной цели функционирования системы предлагается два критерия оценки эффективности функционирования системы:

- оперативный — обеспечение качественного уровня подготовки требуемого количества специалистов по различным уровням обучения;
- экономический — минимизация затрат на обучение.

В мирное время наибольшую значимость принимает экономический критерий. Вместе с тем непосредственно в особый период на первый план выступает оперативный критерий. При этом экономические затраты во внимание могут не приниматься.

Исходя из этого, оперативный критерий будет иметь вид:

$$K_i^o = \sum_m \frac{W_{oy,m,i} + W'_{oy,m,i}}{Q_{oy,m,i}} \rightarrow 1 \text{ (ед.)}. \quad (2)$$

Поясним содержание критерия: общая потребность в образовательных услугах определяется численностью персонала предприятия и нормативом на ежегодное обучение персонала. Она должна соответствовать возможностям собственных и привлекаемых образовательных учреждений.

Экономический критерий можно представить в следующем виде:

$$K_i^э = \frac{\Phi_d - \Phi_p}{\Phi} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где  $\Phi_d$  и  $\Phi_n$  — потребность в финансировании доподготовки и переподготовки, руб.;  
 $\Phi$  — выделенные финансовые ресурсы, руб.

Данная математическая постановка экономического критерия характеризует стремление системы к минимизации затрат на доподготовку и переподготовку персонала. При этом она позволяет определять необходимый уровень снижения или увеличения выделяемых финансовых ресурсов.

Для того чтобы рассматриваемая постановка задачи в виде математической модели была универсальной и обеспечивала бы решение текущих задач и задач по прогнозированию потребности в образовательных услугах, необходимо раскрыть функциональное выражение (1), то есть численность персонала любого предприятия выразить через соответствующие коэффициенты, а величину нормативного коэффициента обосновать на основе обработки

реальных статистических данных о реализации планов повышения квалификации за определенный период на примере хозяйств и предприятий Октябрьской железной дороги.

Содержание общей последовательности разработки математической постановки задачи поясняет рисунок 2, на котором показана совокупность предприятий  $m$ , отделений дорог  $S$ , дорог  $Z$  и последовательность получения выходных параметров для этой системы.

В соответствии с приведенной схемой, совокупная потребность предприятий и хозяйств в доподготовке и переподготовке персонала рассчитывается в зависимости от общей численности по каждой выделенной специальности. Затем она суммируется для всех предприятий, хозяйств, отделений дороги, для дороги в целом, а при необходимости — для всех дорог ОАО «РЖД».

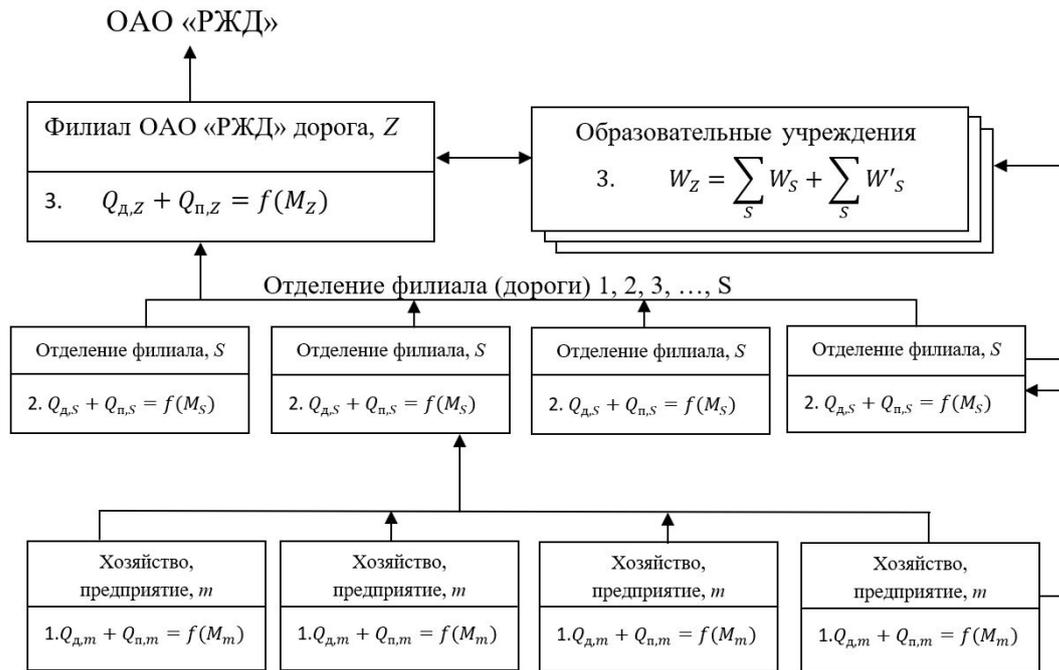


Рис. 2. Принципиальная схема прогнозирования потребности в доподготовке и переподготовке персонала по уровням иерархической структуры ОАО «РЖД»

Если в качестве исходного предположения принять, что общая численность персонала железных дорог к настоящему времени стабилизировалась, то для каждого ее отделения численность каждого предприятия, хозяйства может быть рассчитана с помощью соответствующего коэффициента:

$$M_{S,m} = M_S^\delta q_{S,m},$$

где  $M_{S,m}$  — численность персонала предприятия  $m$  отделения дороги  $S$ ;

$M_S^\delta = M_S \delta_S$  — численность персонала без учета вспомогательного состава ( $\delta_S = 0,85-0,95$ );

$q_{S,m}$  — коэффициент, определяющий долю численности предприятия  $m$  в общей численности отделения дороги.

От численности персонала хозяйства, предприятия, отделения дороги необходимо перейти к расчету численности персонала по принятым в исследовании категориям:

$$M_{S,m,i} = M_S^\delta q_{S,m} \times a_{\bar{m},i},$$

где  $a_{\bar{m},i}$  — коэффициент, учитывающий численность персонала предприятия по категории работников.

Для того чтобы от численности персонала предприятий, хозяйств по каждой категории работников перейти к расчету потребности в их доподготовке и переподготовке, введем соответствующие коэффициенты:

$$Q_{d,S,\bar{m},i} = M_{S,m,i} \times \alpha_{\bar{m},i},$$

$$Q_{n,S,\bar{m},i} = M_{S,m,i} \times \beta_{\bar{m},i},$$

где  $\alpha_{\bar{m},i}$  — коэффициент (нормативный показатель) для расчета потребности в доподготовке персонала по каждой категории  $i$ ;

$\beta_{\bar{m},i}$  — коэффициент (нормативный показатель) для расчета потребности персонала в переподготовке.

Исходя из этого можно получить следующие математические зависимости:

$$Q_{d,S,\bar{m},i} = M_S \times q_{S,m} \times a_{\bar{m},i} \times \alpha_{\bar{m},i},$$

$$Q_{n,s,\bar{m},i} = M_s \times q_{s,m} \times a_{\bar{m},i} \times \beta_{\bar{m},i} .$$

Рассмотрим последовательность расчета потребности в финансировании доподготовки и переподготовки персонала. Для этого введем нормативные показатели стоимости этих образовательных услуг:

$C_{d,s,\bar{m},i}$  — стоимость доподготовки одного специалиста  $i$ -го предприятия, хозяйства  $m$ , отделения дороги  $S$ , тыс. руб./чел.;

$C_{n,s,\bar{m},i}$  — соответственно, стоимость переподготовки, тыс. руб./чел.

С учетом этого, потребность в финансировании предприятий хозяйств для доподготовки и переподготовки персонала будет выражена в виде следующей зависимости:

$$\Phi_{d,s,\bar{m}} = \sum_1^i Q_{d,s,\bar{m},i} \times C_{d,s,\bar{m},i} ,$$

$$\Phi_{n,s,\bar{m}} = \sum_1^i Q_{n,s,\bar{m},i} \times C_{n,s,\bar{m},i} .$$

Так как в качестве базового модуля принята дорога, то все параметры функционирования системы необходимо рассматривать для дороги в целом.

Общая потребность дороги в доподготовке и переподготовке персонала составит:

$$Q_{d,Z} = \sum_1^s \sum_1^{\bar{m}} \sum_1^i M_s \times q_{s,\bar{m}} \times a_{\bar{m},i} \times \alpha_{\bar{m},i} ,$$

$$Q_{n,Z} = \sum_1^s \sum_1^{\bar{m}} \sum_1^i M_s \times q_{s,\bar{m}} \times a_{\bar{m},i} \times \beta_{\bar{m},i} .$$

Потребность в финансировании доподготовки и переподготовки персонала дороги (тыс. руб.):

$$\Phi_{d,Z} = \sum_1^s \sum_1^{\bar{m}} \sum_1^i M_s \times q_{s,\bar{m}} \times a_{\bar{m},i} \times \alpha_{\bar{m},i} \times C_{d,s,\bar{m},i} ,$$

$$\Phi_{n,Z} = \sum_1^s \sum_1^{\bar{m}} \sum_1^i M_s \times q_{s,\bar{m}} \times a_{\bar{m},i} \times \beta_{\bar{m},i} \times C_{n,s,\bar{m},i} .$$

Суммарная потребность дороги в финансировании доподготовки и переподготовки персонала будет равна

$$\Phi_{oy,Z} = \Phi_{d,Z} + \Phi_{n,Z} .$$

Возможности образовательных учреждений по оказанию образовательных услуг:

$$W_{d,Z} + W'_{d,Z} \geq Q_{d,Z} ,$$

$$W_{n,Z} + W'_{n,Z} \geq Q_{n,Z} ,$$

где  $W'_{d,Z}$  и  $W'_{n,Z}$  — привлекаемые возможности других образовательных учреждений для доподготовки и переподготовки персонала.

С учетом изложенного выше, уточним аналитические зависимости для критериев, представленных в выражениях (2), (3), для дороги  $Z$ .

Критерий оперативной эффективности, ед.:

$$K_{d,Z}^O = \frac{W_{d,Z} + W'_{d,Z}}{Q_{d,Z}} \rightarrow 1 ,$$

$$K_{n,Z}^O = \frac{W_{n,Z} + W'_{n,Z}}{Q_{n,Z}} \rightarrow 1 .$$

Критерий экономической эффективности, руб.:

$$K_Z^Э = \frac{\Phi_{d,Z} + \Phi_{n,Z}}{\Phi} \rightarrow \min .$$

Таким образом, математическая постановка задачи при ее реализации дает возможность оценивать и прогнозировать основные параметры функционирования системы доподготовки и переподготовки персонала дорог. Принятые в модели критерии достаточно объективно характеризуют эффективность функционирования системы для дороги  $Z$ .

Наличие математической модели и программного обеспечения дают возможность в последующем выполнить более глубокие исследования по оценке перспективных параметров рассматриваемой системы.

При выполнении перевозок в особый период модель прогнозирования потребности в доподготовке и переподготовке персонала реализуется исходя из состава и протяженности железнодорожного направления, предназначенного для перевозки грузов. Сроки доподготовки и переподготовки персонала для осуществления в полном объеме перевозок могут быть настолько сокращенными, что без использования современных информационных технологий эта задача не может быть решена. В качестве примера результаты расчета потребности в доподготовке и переподготовке персонала Октябрьской железной дороги (в состав железнодорожного направления условно включены три отделения дороги), приведены в таблице 1.

Таблица 1

Оценка потребности в доподготовке и переподготовке персонала для участка железнодорожного направления в составе Октябрьской железной дороги при выполнении перевозок

Предприятия, хозяйства	Прогноз численности персонала, чел.				Потребность в доподготовке, чел.				Потребность в переподготовке, чел.			
	Руков.	Спец.	Ком.	Маст.	Руков.	Спец.	Ком.	Маст.	Руков.	Спец.	Ком.	Маст.
<b>Т</b>	248	638	154	142	224	287	138	64	15	38	9	9
<b>В</b>	175	180	24	95	157	81	22	43	10	11	2	6
<b>П</b>	539	482	57	340	485	217	52	153	32	29	3	20
<b>Ш</b>	57	737	151	0	52	332	135	0	4	44	9	0
<b>Э</b>	43	447	163	57	40	19	146	26	3	27	10	4
<b>Всего</b>	1062	2484	549	634	958	936	493	286	64	149	33	39

Из приведенных данных следует, что за короткий срок в период выполнения перевозок в особый период необходимо суммарно доподготовить около 3 000 работников, а переподготовить — не менее 300 специалистов.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аналогичные расчеты по оценке потребности в доподготовке и переподготовке персонала железнодорожного направления необходимо выполнить для всех дорог, участки которых входят в его состав.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ефимова, О. В. Оценка эффективности системы дистанционного обучения пользователей в ОАО «РЖД» / О. В. Ефимова, Е. Б. Бабошин // Экономика железных дорог. 2004. № 10. С. 52–58.

2. Обоснование эффективности дистанционной доподготовки персонала железнодорожного транспорта / О. Н. Куранова, А. И. Дергачев, Я. С. Ватулин, Н. А. Лебедева // Системы автоматизированного проектирования на транспорте: Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Санкт-Петербург, Россия, 17–19 апреля 2017 г.). — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2017. — С. 119–124.

3. Управление и информационные технологии на железнодорожном транспорте: Учебник для вузов железнодорожного транспорта / Л. П. Тулупов, Э. К. Лецкий, И. Н. Шапкин, А. И. Самохвалов; УМЦ по образованию на ж.-д.

транспорте; под ред. Л. П. Тулупова. — Москва: Маршрут, 2005. — 467 с.

4. Дергачев, А. И. Современные мультимедийные технологии в инженерном образовании / А. И. Дергачев, О. Н. Куранова, А. М. Перепеченов // Августин Бетанкур: от традиций к будущему инженерного образования: Сборник трудов международной научно-практической конференции (Санкт-Петербург, Россия, 01–02 февраля 2018 г.). — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2018. — С. 65–69.

5. Левин, Д. Ю. Современные принципы и технология оперативного управления поездной работой // Железнодорожный транспорт. 2004. № 4. С. 27–33.

6. Брынь, М. Я. Мультимедийные технологии при обучении студентов / М. Я. Брынь, А. И. Дергачев, А. М. Перепеченов // Проблемы математической и естественнонаучной подготовки в инженерном образовании: Сборник трудов IV Международной научно-методической конференции (Санкт-Петербург, Россия, 03 ноября 2016 г.). — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2016. — С. 30–34.

7. Управление персоналом в организации. Кадровая политика. Мотивация. Структура: Учебное пособие для вузов / А. К. Саакян, Г. Г. Зайцев, Н. В. Лашманова, Н. В. Дягилева. — Санкт-Петербург: Питер, 2002. — 175 с. — (Учебное пособие).

8. Спарроу, Э. Успешный IT-аутсорсинг = Successful IT Outsourcing: от выбора поставщика услуг до управления проектом / пер. с англ. Ю. В. Алабиной. — Москва: Кудиц-Образ, 2004. — 288 с.

# Assessment of the Need for Railways to Train Personnel to Perform Rail Transport Operations in a Special Period

PhD O. N. Kuranova, PhD A. I. Dergachev, PhD S. A. Dergachev, PhD A.V. Abrosimov, Sh. Kh. Sultonov  
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University  
Saint Petersburg, Russia  
olga\_kuranova@mail.ru, d\_ader@mail.ru, deburg@mail.ru, abros26@mail.ru, sultonovsh@yandex.ru

**Abstract.** One of the most promising ways to increase the level of readiness of personnel to perform transportation during a special period may be remote additional training. Its distinctive feature is the use of telecommunications technologies that allow you to quickly organize the learning process on the job, as well as regardless of the geographical location of the trainees and the training center itself. The essence of remote additional training is that educational services can be provided to all spatially remote consumers in real time and in any form of display, including direct communication with qualified teaching staff. At the same time, it is planned to cover various levels of railway transport management bodies through the use of operational means of two-way information exchange and electronic training materials. Additional training of personnel for the performance of transportation is carried out constantly in accordance with the approved plans of the railways to improve the skills of employees of all categories. At the same time, additional training of railway personnel to perform transportation during a special period is not provided.

**Keywords:** providing the industry with a professional human resource, the development of the educational process, the creation and development of targeted programs for securing employees at industry facilities, reducing financial costs for additional training and retraining.

## REFERENCES

1. Efimova O. V., Baboshin E. B. Evaluation of the Effectiveness of the Distance Learning System for Users at Russian Railways JSC [Otsenka effektivnosti sistemy distantsionnogo obucheniya pol'zovateley v OAO «RZhD»], *Railway Economy [Ekonomika zheleznykh dorog]*, 2004, No. 10, Pp. 52–58.
2. Kuranova O. N., Dergachev A. I., Vatulin Ya. S., Lebedeva N. A. Justification of Efficiency of Remote Additional Training of the Personnel of Railway Transport [Obosnovanie effektivnosti distantsionnoy dopodgotovki personala zheleznodorozhnogo transporta], *Computer-Aided Design Systems in Transport: Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists [Sistemy avtomatizirovannogo proektirovaniya na transporte: Sbornik trudov VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchennykh]*, Saint Petersburg, Russia, April 17–19, 2017, St. Petersburg, PSTU, 2017, Pp. 119–124.
3. Tulupov L. P., Letsky E. K., Shapkin I. N., Samokhvalov A. I. Management and information technologies in railway transport: Textbook for universities of railway transport [Upravlenie i informatsionnye tekhnologii na zheleznodorozhnom transporte: Uchebnik dlya vuzov zheleznodorozhnogo transporta]. Moscow, Marshrut Publishing House, 2005, 467 p.

4. Dergachev A. I., Kuranova O. N., Perepechenov A. M. Modern Multimedia Technologies in Engineering Education [Sovremennyye mul'timediyne tekhnologii v inzhenernom obrazovanii]. In: *Augustine Betancourt: from Traditions to the Future of Engineering Education: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference [Avgustin Betankur: ot traditsiy k budushchemu inzhenernogo obrazovaniya: Sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchnoprakticheskoy konferentsii]*, Saint Petersburg, Russia, February 01–02, 2018, St. Petersburg, PSTU, 2018, Pp. 65–69.

5. Levin D. Yu. Modern Principles and Technologies of Operational Management of Train Work [Sovremennyye printsipy i tekhnologiya operativnogo upravleniya poezdnoy raboty], *Railway Transport [Zheleznodorozhnyy transport]*, 2004, No. 4, Pp. 27–33.

6. Bryn M. Ya., Dergachev A. I., Perepechenov A. M. Multimedia Technologies in Teaching Students [Mul'timediyne tekhnologii pri obuchenii studentov], *Proceedings of the IV International Scientific and Methodological Conference «Problems of Mathematical and Natural Science Training in Engineering Education» [Sbornik trudov IV Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii «Problemy matematicheskoy i estestvennonauchnoy podgotovki v inzhenernom obrazovanii»]*, Saint Petersburg, Russia, November 03, 2016, St. Petersburg, PSTU, 2016, Pp. 30–34.

7. Saakyan A. K., Zaytsev G. G., Lashmanova N. V., Dyagileva N. V. Human resource management in the organization. Personnel policy. Motivation. Structure: Study guide for universities [Upravlenie personalom v organizatsii. Kadrovaya politika. Motivatsiya. Struktura: Uchebnik dlya vuzov]. Saint Petersburg, Piter Publishing House, 2002, 175 p.

8. Sparrow E. Successful IT Outsourcing [Uspeshnyy IT-outsorsing: ot vybora postavshchika uslug do upravleniya proektom]. Moscow, Kudits-Obraz Publishing House, 2004, 288 p.

# Разработка и перспективы информационной системы для мониторинга состояния мостов

И. Д. Липанов, И. А. Молодкин, д.т.н. А. Д. Хомоненко

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

Санкт-Петербург, Россия

illipanov@mail.ru, imolodkin@gmail.com, khomon@mail.ru

**Аннотация.** Рассматривается проектирование программного обеспечения для определения отклонений структур мостовых конструкций, освещены этапы разработки программного обеспечения, описывается реляционная модель СУБД, рассматривается взаимодействие Java-приложения и СУБД. Описано создание структуры классов, которая обеспечивает правильную работу для разрабатываемого программного обеспечения. Рассмотрены методы защиты программного обеспечения с помощью механизма InnoDB. Указаны направления дальнейших исследований в части применения методов мониторинга напряжения конструкций мостов с помощью тензодатчиков. При этом подразумевается интеграция и обработка данных, собираемых из различных источников.

**Ключевые слова:** мониторинг мостов, инклинометр, Java-приложение, защита данных, тензодатчики.

## ВВЕДЕНИЕ

В связи с увеличением числа различных инженерно-технических объектов проблема разработки программ для поддержки их мониторинга в настоящее время стоит особенно остро.

В частности, неудовлетворительное техническое состояние мостов представляет серьезную угрозу нормальному функционированию дорожной сети и может привести к человеческим жертвам.

На сегодняшний день существуют различные решения для организации мониторинга с разной степенью автоматизации. Например, в [1] описывается программный комплекс, предназначенный для мониторинга деформаций особо опасных объектов, таких как автодорожные и железнодорожные мосты, тоннели метрополитена, плотины гидроэлектростанций, стадионы, ледовые дворцы, плавательные комплексы и др. на основе обработки данных с различных датчиков.

## ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИНКЛИНОМЕТРОВ

При диагностике отклонений структур мостовых конструкций используется один тип датчиков, следовательно, устанавливать программный комплекс, описанный в [1], не требуется, достаточно использовать узконаправленную программу.

Так как расчеты должны вестись непосредственно в присутствии инженера на объекте, в настоящее время остро стоит проблема невозможности работы инклинометров в автономном режиме. Впоследствии снятые данные должны быть обработаны построчно с целью выявления отклонений. Поскольку каждый пункт соответствует определенному временному отрезку, формируется плотная таблица значений, которые человек далее должен об-

работать вручную. Также при ручной обработке значений есть риск пропустить важные данные, так как в таких ситуациях имеет место человеческий фактор.

При обработке данных функционал программы должен позволять пользователю задавать диапазон значений, являющихся нормальными для определенного вида искусственных сооружений, а данные, не входящие в заданный промежуток, формировать в таблицу и отправлять в базу данных.

В связи с перечисленными проблемами принято решение спроектировать и разработать программное обеспечение для поддержки мониторинга состояния мостовых конструкций.

## ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ ПО

Разработано программное обеспечение на языке высокого уровня, позволяющее анализировать значения и находить отклонения в полученных данных инклинометра и записывать их в базу данных.

Разработка программного обеспечения состоит из четырех этапов:

- Проектирование базы данных.
- Проектирование JAVA-приложения.
- Создание базы данных.
- Разработка JAVA-приложения.

Схема этапов разработки ПО приведена на рисунке 1.

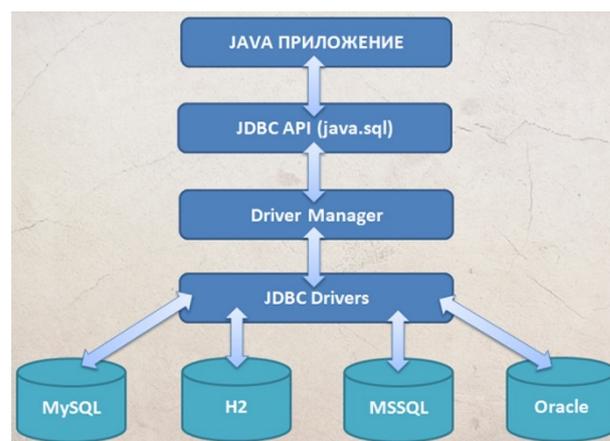


Рис. 1. Схема этапов разработки ПО

Отметим, что для работы с данными можно выбрать любую реляционную СУБД. В зависимости от выбора СУБД Java-приложение должно использовать соответствующий JDBC-драйвер (англ. *Java DataBase Connectivity* — соединение с базами данных на Java) [2].

РЕЛЯЦИОННАЯ МОДЕЛЬ, ЯЗЫК JAVA И ИНТЕРФЕЙСЫ  
Для проекта используется реляционная модель по нескольким причинам [3].

Модель должна отвечать нескольким требованиям:

1. Простота, так как требуется только информационная конструкция «таблица».
2. Строгие правила проектирования, базирующиеся на математическом аппарате.
3. Полная независимость данных, изменения в прикладной программе при изменении реляционной БД минимальны.

В качестве языка программирования выбран платформенно-независимый язык Java [4]. Обмен данными между Java приложением и БД осуществляется с помощью JDBC API и JDBC-драйвера.

Одной из задач проекта является обмен данными между Java-приложением и БД. Для этого используется следующие три типа интерфейсов:

1. *Statement*. Интерфейс используется для доступа к БД для общих целей. Он крайне полезен, при использовании статических SQL – выражений во время работы программы. Этот интерфейс не принимает никаких параметров.
2. *PreparedStatement*. Данный интерфейс может принимать параметры во время работы программы.
3. Интерфейс *CallableStatement* становится полезным в случае, когда требуется получить доступ к различным процедурам БД. Он также может принимать параметры во время работы программы.

Для обработки результатов запросов используется интерфейс *ResultSet*, в котором содержатся необходимые для проекта методы.

#### ПРОСЛОЙКА МЕЖДУ JAVA-ПРИЛОЖЕНИЕМ И СУБД

Для обеспечения полного взаимодействия между реляционной БД и Java-приложением следует создать структуру классов, которая состоит из следующих элементов:

1. *POJO (Plain Old Java Objects)* — класс, служащий носителем информации, в котором есть некоторые поля, геттеры и сеттеры для них. Для проекта это будет описание сущности таблицы с данными, то есть реализация таблицы в виде класса.
2. *DAL (Data Access Layer)*. Этот слой обрабатывает все связанные с базой данных вызовы и запросы внутри него. Преимущество DAL заключается в том, что он упрощает операции доступа к базе данных с помощью некоторых вызовов методов, таких как *insert()* и *find()*, вместо создания соединения и выполнения некоторых запросов.
3. *Service*. В этом классе будет находиться бизнес-логика. Класс *Service* нужен для входа в систему.
4. *Controller* — класс, который нужен для непосредственной обработки запросов от клиента и возвращения результатов. Основная задача методов контроллера — определить требуемое действие, корректно принять данные и вернуть результат.

Такой подход (создание структуры классов) обеспечивает правильную работу для разрабатываемого ПО.

#### ГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС JAVA-ПРИЛОЖЕНИЯ

Графическая часть приложения соответствует ряду требований, а именно:

- независимость реализации пользовательского интерфейса от способа получения данных;

- возможность задания диапазона значений данных;
- удобство пользования;
- простота интерфейса.

Основная задача Java-приложения — сортировка входных данных и вывод значений, не входящих в заданный промежуток. Вывод данных осуществляется с помощью класса *JTable* с пометкой «Отклонение от нормы» [5].

Пример графического интерфейса представлен на рисунке 2.

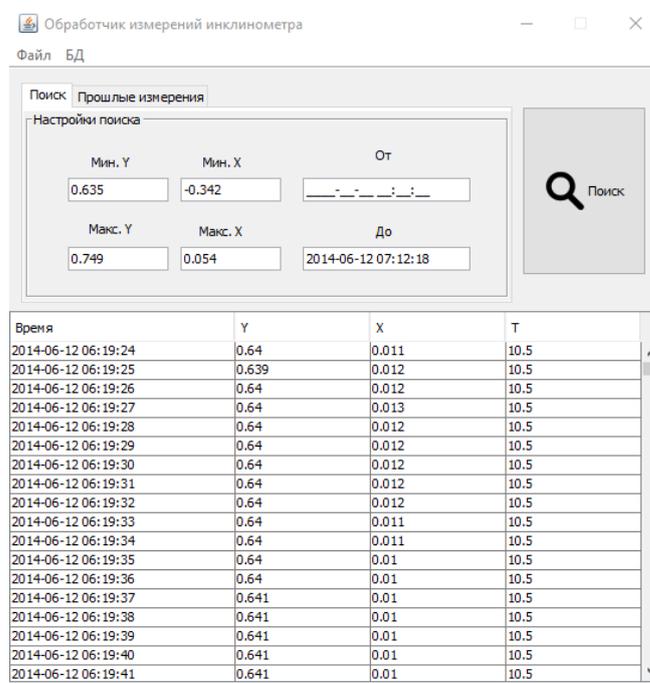


Рис. 2. Фрагмент графического интерфейса

Программа поддерживает такие функции, как экспорт в файл, вывод данных в табличную форму, анализ и сортировка входных данных по заданному диапазону, сохранение результатов в базу данных.

#### ЗАЩИТА ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ МЕХАНИЗМА INNODB

Важным аспектом проектирования информационной системы для поддержки мониторинга состояния мостов на особо важных объектах является защита от неавторизованного доступа при передаче данных, так как эти данные могут представлять собой объекты коммерческой тайны. Кроме того, в программных комплексах мониторинга состояний особо важных объектов важна защита данных от злоумышленников [6].

Поэтому еще одним актуальным направлением развития программного обеспечения является шифрование данных перед передачей между сервером и удаленным пользователем, а также проверка подлинности при получении данных.

Механизм InnoDB использует двухуровневую архитектуру ключей шифрования для шифрования табличных пространств, состоящую из главного ключа шифрования и ключей табличного пространства. Когда таблица InnoDB зашифрована, ключ табличного пространства шифруется и сохраняется в заголовке табличного пространства. Когда приложение или аутентифицированный пользователь желает получить доступ к зашифрованным данным таблич-

ного пространства, механизм InnoDB использует основной ключ шифрования для дешифрования ключа табличного пространства. Расшифрованная версия ключа табличного пространства никогда не изменяется, но главный ключ шифрования может быть изменен по мере необходимости. Это действие называется вращением мастер-ключа [7].

Схема шифрования ключом изображена на рисунке 3.

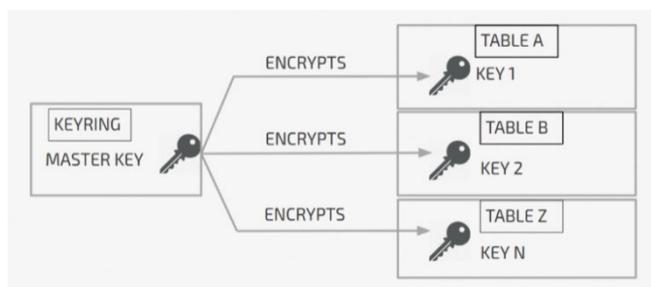


Рис. 3. Схема шифрования ключом

Шифрование данных в MySQL имеет следующие достоинства:

1. Надежное шифрование AES-256 для таблиц InnoDB.
2. Прозрачное для приложений. Отсутствие кода для приложения, схемы. Нет необходимости изменять тип данных.
3. Прозрачное для администраторов баз данных. Ключи не управляются администраторами баз данных.
4. Управление ключами. Ключи можно безопасно хранить отдельно от данных, а смена ключей является простой.

Более безопасным алгоритмом шифрования является AES-256 (Advanced Encryption Standard), который принадлежит к типу симметричного алгоритма шифрования. Использование данного алгоритма является оптимальным вариантом при разработке проекта, так как AES уже используется в США для защиты конфиденциальных, но неклассифицированных материалов [8].

#### ФУНКЦИОНАЛ

##### РАЗРАБОТАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Разработанное ПО способно обрабатывать десятки тысяч измерений. Объем обрабатываемой информации зависит от ОЗУ. На работу программы выделяется 2 ГБ ОЗУ. Время обработки зависит от источника данных.

Рассмотрим вариант с использованием локального файла, содержащего измерения. Время обработки данных из файла составляет около 2 минут на тысячу измерений с учетом чтения из файла, следовательно чем больше измерений находится в файле, тем дольше будет длиться обработка.

В случае обработки данных, хранящихся в MySQL, время обработки будет зависеть от двух факторов:

- используется ли локальная база данных или происходит удаленное подключение к серверу;
- скорости интернета, если рассматривается удаленное подключение.

Как правило время обработки данных из MySQL занимает около 2 секунд на тысячу измерений.

В функционале программного обеспечения также предусмотрено удаление устаревших измерений.

#### О НАПРАВЛЕНИЯХ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Актуальным направлением развития ПО является автоматизация общего процесса взаимодействия программного обеспечения и инклинометра, позволяющего получать данные в реальном времени. Работу предполагается продолжить в направлении создания алгоритмов дистанционного получения исходных данных прибора, а также внедрения проверки корректности передачи показаний датчиков, описанных в [9].

Кроме того, представляется актуальным развитие комплекса в части применения методов мониторинга напряжения конструкций мостов с помощью тензодатчиков [10, 11]. При этом подразумевается интеграция и обработка данных, собираемых из различных источников [12].

При измерении деформаций, напряжений и сил с помощью тензометрических датчиков используется изменение омического сопротивления материала, которое вызывается упругими деформациями металлической проволоки или стержневых полупроводников. Изменение сопротивления датчика передается по кабелю или бесконтактно на измерительный мост. Там оно преобразуется в усиленные электрические сигналы, которые записываются устройством [10].

Главными **достоинствами** применения тензодатчиков, являются:

- быстрое время отклика;
- простота компенсации температурных эффектов;
- Малая чувствительность к динамическим воздействиям.

Все типы тензодатчиков используют соотношение между напряжением и деформацией.

К **недостаткам** применения тензометрических датчиков относятся:

- невозможность обеспечить более низкие диапазоны измерений;
- снижение точности показаний при вибрациях;
- необходимость точного совмещения с окружающей средой;
- сложность первоначальной механической настройки.

Тензорные датчики компактны, удобны при установке, практически не ограничивают работоспособность конструкции, где они установлены.

При диагностике деформации структур конструкций используется несколько типов тензодатчиков.

В зависимости от типа воздействия на исполнительные элементы конструкции различают тактильные, резистивные, пьезорезонансные, пьезоэлектрические, магнитные и емкостные датчики [11].

Типы датчиков представлены на рисунке 4.

**Тактильные датчики** срабатывают при механическом воздействии на чувствительную поверхность. Позволяют обнаруживать минимальные деформации, но при неправильной настройке могут дать ложный сигнал.

**Резистивные датчики** — самый распространенный тип датчиков. Они требуют подключения к слаботочной цепи управления, поскольку включают в себя тензорезисторный контур. Надежны в любых условиях.

**Пьезорезонансные датчики** относятся к устройствам полупроводникового типа и требуют надежного обслуживания и настройки. Работают по принципу сравнения эталонного сигнала с фактическим.

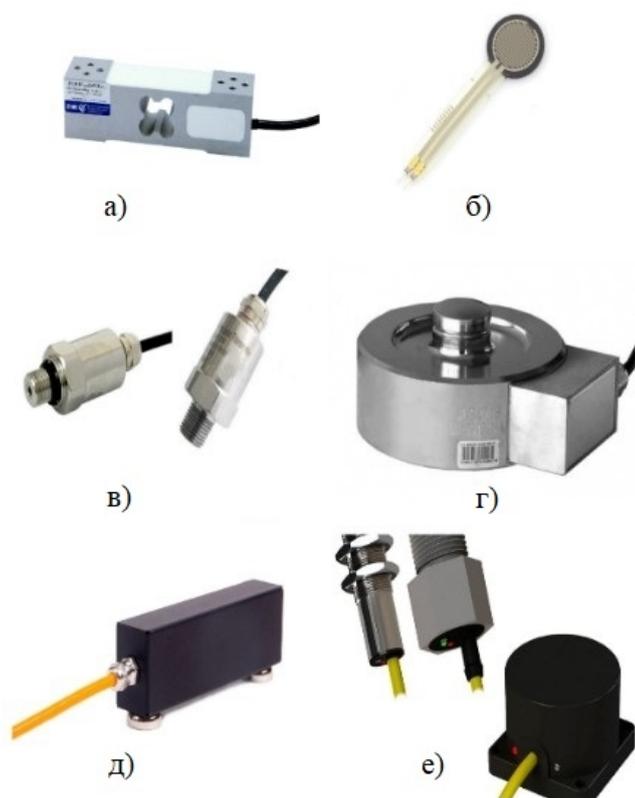


Рис. 4. Типы тензометрических датчиков

*a* — тактильные; *б* — резистивные; *в* — пьезорезонансные; *г* — пьезоэлектрические; *д* — магнитные; *е* — емкостные

**Пьезоэлектрические датчики** аналогичны датчикам предыдущего типа, однако они выдают сигнал при изменении значений контактных деформаций, приложенных к чувствительному элементу.

**Магнитные датчики** изготовлены из сплавов с переменным значением коэрцитивной силы и используются для измерения сил в узлах оборудования, работающего в сильных электромагнитных полях.

**Емкостные датчики** предназначены для измерения малых механических напряжений в деталях сложной конфигурации, когда изменение длины жилы приводит к изменению ее электрической емкости.

Еще одно важное соображение связано с тем, что на особо важных объектах, как отмечено ранее, требуется защита от неавторизованного доступа при передаче данных. При этом выбор инструментальных средств защиты целесообразно проводить с использованием усиливающейся тенденции к импортозамещению. Для обсуждаемой задачи уместно рассмотреть решение вопроса защиты данных при распределенной обработке и передаче данных мониторинга с помощью отечественной операционной системы Astra Linux и входящей в ее состав СУБД PostgreSQL [13].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанное ПО способно анализировать и отфильтровывать полученные данные, сохранять обработанные данные в файл или базу данных и обеспечивать максимальную защиту информации при передаче удаленному пользователю. Представляется актуальным развитие ком-

плекса в части применения методов мониторинга напряжения конструкций мостов с помощью тензодатчиков.

При этом подразумевается интеграция и обработка данных, собираемых из различных источников, а также защита данных при распределенной обработке и передаче данных мониторинга с помощью отечественной операционной системы Astra Linux и входящей в ее состав СУБД PostgreSQL.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Программный комплекс для мониторинга деформаций особо опасных объектов / М. Я. Брынь, А. Д. Хомоненко, В. П. Бубнов, [и др.] // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2014. № 1. С. 36–41.
2. Илюшечкин, В. М. Основы использования и проектирования баз данных: Учебник для академического бакалавриата / В. М. Илюшечкин; НИУ МИЭТ. — Москва: Издательство Юрайт: ИД Юрайт, 2016. — 213 с. — (Бакалавр. Академический курс).
3. Хомоненко, А. Д. Базы данных: Учебник для высших учебных заведений / А. Д. Хомоненко, В. М. Цыганков, М. Г. Мальцев; под ред. А. Д. Хомоненко. — 6-е изд., доп. — Санкт-Петербург: Корона-ВЕК, 2009. — 736 с.
4. Шилдт, Г. Java. Полное руководство. Восьмое издание = Java. The Complete Reference. Eight Edition. — Москва: ИД Вильямс, 2012. — 1104 с.
5. Монахов, В. В. Язык программирования Java и среда NetBeans. — 3-е изд., перераб. и доп. — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2011. — 704 с.
6. Мартишин, С. А. Базы данных. Практическое применение СУБД SQL и NoSQL-типа для проектирования информационных систем: Учебное пособие / С. А. Мартишин, В. Л. Симонов, М. В. Храпченко. — Москва: ИД «Форум»: Инфра-М, 2016. — 368 с. — (Высшее образование).
7. Молдовян, Н. А. Криптография: от примитивов к синтезу алгоритмов / Н. А. Молдовян, А. А. Молдовян, М. А. Еремеев. — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2004. — 448 с.
8. Панасенко, С. П. Алгоритмы шифрования. Специальный справочник. — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2009. — 576 с.
9. Повышение безопасности передачи данных локального сервера системы автоматизированного геодезического мониторинга / В. П. Бубнов, А. Д. Хомоненко, В. В. Яковлев, С. В. Клименко // Автоматика на транспорте. 2018. Т. 4, № 3. С. 407–420.
10. Ашуров, А. Е. Применение технологии высокоточной спутниковой навигации для мониторинга пространственно-протяженных объектов / А. Е. Ашуров, Ф. К. Еремков, Д. С. Ергалиев // Труды XXII Международного симпозиума «Надежность и качество» (Пенза, Россия, 22–31 мая 2017 г.). — Пенза: Пензенский гос. ун-т, 2017. — Т. 2. — С. 38–41.
11. Непомнящий, В. Г. Непрерывный мониторинг мостового перехода через бухту Золотой Рог / В. Г. Непомнящий, А. И. Яценко, Г. В. Осадчий // Дороги. Инновации в строительстве. 2012. № 19. С. 30–34.
12. Khomonenko, A. D. About Complex Objects Defining Via Integration of Data from Various Sources / A. D. Khomonenko, A. I. Zimovets, S. P. Plyaskin // Proceedings of Models and Methods of Information Systems Research Workshop in the frame of the Betancourt International Engineering

Forum (MMISR 2019) (St. Petersburg, Russia, 04–05 December 2019). CEUR Workshop Proceedings. 2020. Vol. 2556. Pp. 46–51. DOI: 10.24412/1613-0073-2556-46-51.

13. Шумилин, А. В. Подход к оцениванию влияния средств разграничения доступа к данным на производительность реляционных СУБД // Программная инженерия. 2013. № 4. С. 29–33.

# Development and Prospects of the Information System for Monitoring the Condition of Bridges

I. D. Lipanov, I. A. Molodkin, Grand PhD A. D. Khomonenko  
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University  
Saint Petersburg, Russia  
illipanov@mail.ru, imolodkin@gmail.com, khomon@mail.ru

**Abstract.** The design of software for determining the deviations of the structures of bridge structures is considered, the stages of software development are highlighted, the relational model of a DBMS is described, the interaction of a java application and a DBMS is considered. Describes how to create a class structure that ensures correct operation for the software under development. Methods of software protection using the InnoDB mechanism are considered. Directions for further research in the application of methods for monitoring the stress of bridge structures using strain gauges are indicated. This implies the integration and processing of data collected from various sources.

**Keywords:** bridge monitoring, inclinometer, JAVA application, data protection, strain gauges.

## REFERENCES

1. Bryn M. Ya., Khomonenko A. D., Bubnov V. P., et al. Software for Monitoring Strain Especially Dangerous Objects [Programmnyy kompleks dlya monitoringa deformatsiy osobo opasnykh ob'ektov], *Information Security Problems. Computer Systems [Problemy informatsionnoy bezopasnosti. Komp'yuternye sistemy]*, 2014, No. 1, Pp. 36–41.
2. Ilyushechkin V. M. Basics of using and designing databases: Textbook [Osnovy ispol'zovaniya i proektirovaniya baz dannykh: Uchebnik]. Moscow, Urait Publishing House, 2016, 213 p.
3. Khomonenko A. D., Tsygankov V. M., Maltsev M. G. Databases: Textbook for universities [Bazy dannykh: Uchebnik dlya vuzov]. Saint Petersburg, KORONA-Vek Publishing House, 2009, 736 p.
4. Schildt H. Java. The Complete Reference. Eight Edition [Java. Polnoe rukovodstvo. Vos'moe izdanie]. Moscow, Williams Publishing House, 2012, 1104 p.
5. Monakhov V. V. Java programming language and NetBeans environment [Yazyk programirovaniya Java i sreda NetBeans]. Saint Petersburg, BHV-Peterburg, 2011. 704 p.
6. Martishin S. A., Simonov V. L., Khrapchenko M. V. Database. Practical application of SQL and NoSQL type DBMS for designing information systems: Study guide [Prakticheskoe primeneniye SUBD SQL i NoSQL-tipa dlya proektirovaniya informatsionnykh sistem: Uchebnoe posobie]. Moscow, Forum Publishing House, 2016, 368 p.
7. Moldovyan N. A., Moldovyan A. A., Ereemeev M. A. Cryptography: From primitives to the synthesis of algorithms [Kriptografiya: ot primitivov k sintezu algoritmov]. Saint Petersburg, BHV-Peterburg, 2004, 448 p.
8. Panasenko S. P. Encryption algorithms. Special reference [Algoritmy shifrovaniya. Spetsial'nyy spravochnik]. Saint Petersburg, BHV-Peterburg, 2009, 576 p.
9. Bubnov V. P., Khomonenko A. D., Yakovlev V. V., Klimenko S. V. Increase the Safety Improvement of Data Transmission on the Local Server of the Automated Geodetic Monitoring System [Povysheniye bezopasnosti peredachi dannykh lokal'nogo servera sistemy avtomatizirovannogo geodezicheskogo monitoringa], *Automation on Transport [Avtomatika na transporte]*, 2018, Vol. 4, No. 3, Pp. 407–420.
10. Ashurov A. E., Ermekov F. K., Ergaliev D. S. Application of High-Precision Satellite Navigation Technology for Monitoring Spatially Extended Objects [Primeneniye tekhnologii vysokotochnoy sputnikovoy navigatsii dlya monitoringa prostranstvenno-protyazhennykh ob'ektov], *Proceedings of the XXII International Symposium «Reliability and Quality» [Trudy XXII Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo»]*, Penza, Russia, May 22–31, 2017, Volume 2. Penza, Penza State University, 2017, Pp. 38–41.
11. Nepomnyashchy V. G., Yashchenko A. I., Osadchiy G. V. Continuous Monitoring of the Bridge over the Golden Horn Bay [Nepreryvnyy monitoring mostovogo perekhoda cherez bukhtu Zolotoy Rog]. *Roads. Innovations in construction [Dorogi. Innovatsii v stroitel'stve]*, 2012, No. 19, Pp. 30–34.
12. Khomonenko A. D., Zimovets A. I., Plyaskin S. P. About Complex Objects Defining Via Integration of Data from Various Sources, *Proceedings of Models and Methods of Information Systems Research Workshop in the frame of the Betancourt International Engineering Forum (MMISR 2019)*, St. Petersburg, Russia, December 04–05, 2019. *CEUR Workshop Proceedings*, 2020, Vol. 2556, Pp. 46–51. DOI: 10.24412/1613-0073-2556-46-51.
13. Shumilin A. V. An Approach to the Estimation of the Impact of Protection Facilities on the Performance of Relational DBMS [Podkhod k otsenivaniyu vliyaniya sredstv razgranicheniya dostupa k dannym na proizvoditel'nost' relyatsionnykh SUBD], *Software Engineering [Programmna-ya inzheneriya]*, 2013, No. 4, Pp. 29–33.

# Особенности установки и эксплуатации системы электрообогрева стрелочных переводов СЭИТ-04/СЭИТ-04М производства ООО «КТН»

Ш. Х. Султонов

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I  
Санкт-Петербург, Россия  
sultonovsh@yandex.ru

**Аннотация.** В статье приведено обоснование необходимости применения автоматической системы очистки стрелочных переводов как экономически эффективный подход к предотвращению образования наледей верхних строений железнодорожного пути в суровых климатических условиях. Рассмотрен ряд особенностей по применению предложенной системы электрообогрева стрелочных переводов СЭИТ-04/СЭИТ-04М производства ООО «КТН» (Санкт-Петербург) Также показаны преимущества в экономии электроэнергии, подтверждающиеся протоколом эксплуатационных испытаний системы.

**Ключевые слова:** автоматическая система, электрообогрев, метеорологический блок, управление электрообогревом, датчик обледенения, датчик окружающего воздуха.

## ВВЕДЕНИЕ

Уже несколько десятков лет существуют и постоянно совершенствуются автоматические системы очистки стрелочных переводов (АСОСП) в зимний период [1]. Они не требуют использования физического труда и позволяют избежать необоснованных затрат на энергетические ресурсы, а также помогают вывести людей из опасной зоны. Современные системы обогревают не только рамные рельсы, но и шпальные ящики, тем самым исключая появление наледи. Таким образом линейным работникам путевого хозяйства остается осуществлять лишь плановый уход за стрелочными переводами и не тратить лишние силы и время на дополнительное обслуживание стрелок в зимний период. В результате годовая экономия будет уменьшаться за счет снижения трудоемкости очистки стрелочных переводов.

Принципы работы систем АСОСП и используемые компоненты должны обеспечивать в первую очередь высокую вероятность определения осадков в виде снега и льда на контролируемой поверхности. Это является главной задачей в обеспечении безопасности движения и снижении материальных затрат.

В настоящее время используются две основные системы автоматической очистки стрелочных переводов

от снега и льда: электрообогрев и пневмообдувка [2]. Электрообогрев используется в основном в умеренном климате, например в центральной и южной частях России, а пневмообдувка — в более холодных, северных областях: на Урале, в Сибири и других регионах с низкими температурами и холодными зимами. Существуют также комбинированные системы, совмещающие электрообогрев и пневмообдувку [3].

Система электрообогрева оказалась самым эффективным средством очистки стрелочного перевода ото льда, выпавшего или наносимого снега, а также наиболее универсальным способом предотвращения обмерзания и надежным методом обеспечения работоспособности подвижных элементов стрелочных переводов [4]. Структурная схема системы электрообогрева представлена на рисунке 1.

В состав системы электрообогрева должны входить:

- обогревающие элементы;
- путевые коробки;
- шкаф управления;
- метеорологический блок с датчиками;
- блок дифференцированного автоматического выключения;
- пульт дистанционного управления системой;
- силовая и сигнальная кабельная арматура.

На российском рынке представлены несколько производителей систем электрообогрева стрелочных переводов. ООО «КТН» (Санкт-Петербург) является разработчиком и производителем одной из таких систем типа СЭИТ-04/СЭИТ-04М. Система прошла все необходимые испытания и готова к работе во всех регионах России, а также является единственной системой электрообогрева стрелочных переводов, прошедшей сертификацию в Регистре сертификации на федеральном железнодорожном транспорте, о чем свидетельствует сертификат № ССЖТ RU.ЖТ02.Г.01220. Ниже представлены основные преимущества системы СЭИТ-04/СЭИТ-04М производства ООО «КТН».

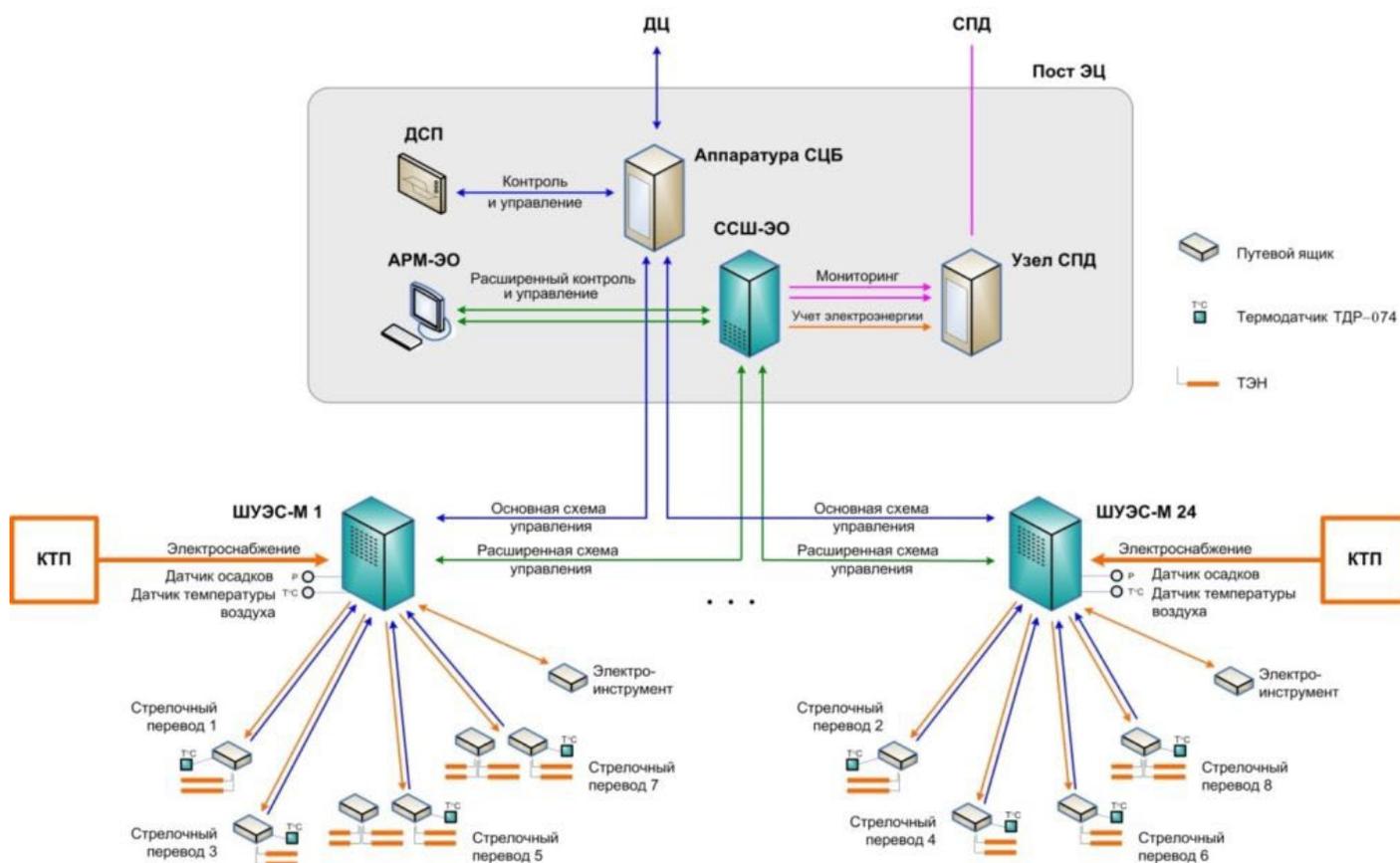


Рис. 1. Структурная схема работы АСОСР

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ СЭИТ-04/СЭИТ-04М

**Монтаж.** При монтаже шкафов не требуется применение специальной техники — автокрана, дрезины с подъемным краном и т. п. Так, шкаф самого большого габарита весом 112 кг легко переносится вручную 4 рабочими и устанавливается на сборный металлический фундамент. Сам фундамент не требует бетонирования и при малом весе (около 46 кг) позволяет легко устанавливать его в любое время года, даже в зимний период. При этом он легко доставляется в самые труднодоступные места, доставка готового бетонного раствора или компонентов для его изготовления в которые может быть затруднена. Как следствие, снижаются затраты на доставку, строительные работы, стоимость материалов и монтаж.

**Прокладка и подключение кабеля.** С точки зрения прокладки кабелей система СЭИТ-04/СЭИТ-04М гораздо выгоднее как по стоимости кабельной продукции, так и трудоемкости работ. Гораздо проще установить шкаф ближе к группе стрелок и подтянуть туда один кабель питания, чем ставить один большой шкаф (6–8 стрелок) и тянуть на большие расстояния кабели к каждой стрелке (обычно 2–4 кабеля на стрелку) с большим количеством земляных работ.

Кроме того, используемая системой оптоволоконная линия связи для контроля и управления на данный момент проще и дешевле, чем классические медные линии связи, вследствие чего снижаются затраты на доставку и монтаж.

**Удобство в эксплуатации.** Подключение большого количества ТЭНов приводит к увеличению требований к их качеству, и, соответственно, стоимости. У системы СЭИТ-04/СЭИТ-04М порог срабатывания защиты намного ниже, чем у классических автоматов контроля изоляции АКИ-2М, что позволяет уменьшить количество аварийных отключений и, как следствие, увеличить срок службы ТЭНов. Кроме того, ведется контроль каждого отдельного ТЭНа. В связи с этим путейцам гораздо реже нужно заниматься выездом на станции для замены ТЭНов. Таким образом, снижаются затраты на обслуживающий персонал. Также снижаются затраты на расходные материалы (ТЭНЫ, крепления и пр.) и повышается безопасность охраны труда.

**Обслуживание.** Система СЭИТ-04/СЭИТ-04М не требует для своего обслуживания больших временных и трудовых затрат. Оборудование для каждой стрелки одинаковое, никаких дополнительных настроек не требуется, всю необходимую информацию для работы блоки получают при подключении разъема.

Все оборудование легкосъемное и подключается с помощью стандартных разъемов. Неправильное подключение конструктивно исключено, что предотвращает аварии из-за неправильного монтажа и снижает затраты на обслуживающий персонал.

**Обогрев скоростных стрелок.** Система СЭИТ-04 идеально подходит для пологих и скоростных стрелок с гибкими подвижными сердечниками и обогреваемыми тягами. Такие стрелки имеют большое количество ТЭНов, а требования к надежности обогрева повышены.

Гораздо меньшая чувствительность к сопротивлению изоляции ТЭНов у системы приводит к резкому повышению надежности обогрева стрелок и снижению затрат на эксплуатацию за счет снижения количества выездов на замены ТЭНов.

Система СЭИТ-04/СЭИТ-04М имеет **возможность передавать состояние работы шкафа** (например, об аварии питания или выхода из строя ТЭНа) по каналу GSM на мобильные телефоны энергетиков и путейцев. Это приводит к оперативности получения конкретной информации непосредственно линейным персоналом и уменьшает количество и сроки простоя оборудования.

**Надежность.** Благодаря своей конструкции система не прерывает работу даже в случае выхода из строя одного из ТЭНов, продолжая обогревать стрелку. Оптоволоконная линия связи, в отличие от медных линий, не подвержена влиянию наводок и электрических полей, что повышает точность и качество передачи информации, а также обладает более высокой скоростью передачи данных.

Система успешно прошла испытания по воздействию климатических и механических факторов на электробезопасность и электромагнитную совместимость. Это значит, что система может работать без сбоев в условиях сильных электромагнитных наводок и помех, а также не боится электрических и электромагнитных импульсов и разрядов, также как и сильных вибрационных воздействий. Существуют протоколы проведения испытаний ПГУПС и НП СИЦ, по итогу которых выдан сертификат РС ФЖТ № ССЖТ RU.ЖТ02.Г.01220.

**Полностью автоматическое управление электрообогревом** посредством СЭИТ-04/СЭИТ-04М с использованием метеостанции и АРМ позволяет исключить непосредственное участие сотрудников станции во включении/отключении обогрева, за исключением экстренных случаев. Это позволяет избежать ненужных ошибок, а также несвоевременного включения/отключения обогрева. Так, например, если сотрудник забыл отключить обогрев, система СЭИТ-04/СЭИТ-04М сделает это вместо него.

Кроме того, автоматический режим работы позволяет экономить электроэнергию, включая и отключая нагрев ТЭНов при соответствующих метеорологических и температурных условиях. Проведенные исследования показали, что человеческий фактор в экономии также немаловажен. Автоматическая система отключает обогрев вовремя, если работники станции забывают выключить обогрев или не выключают его, если есть вероятность повторных снегопадов через некоторое время.

**ПРЕИМУЩЕСТВА В ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРООБГРЕВА СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ СЭИТ-04/СЭИТ-04М**

Преимущества в экономии электроэнергии подтверждаются протоколом эксплуатационных испытаний системы на ст. Малая Вишера от 31.03.2016.

Согласно вышеупомянутому протоколу эксплуатационных испытаний, система СЭИТ-04М экономичнее установленных аналогов на 40 %. Таким образом, можно подсчитать общий экономический эффект, учитывая срок службы в 30 лет, от замены существующих систем на СЭИТ-04М или от эффективности внедрения СЭИТ-04М в сравнении с аналогами.

Расчеты произведены на основании планируемых объемов закупок систем электрообогрева ОАО «РЖД», принимая во внимание, что стоимость внедрения одного шкафа (на 1 стрелочный перевод) системы обходится в 1–1,1 млн рублей. Экономические расчеты представлены в виде таблиц №№ 1–5.

Таблица 1

Планируемые закупки систем электрообогрева, млн руб.

2021	2022	2023
1 100	1 600	1 100

Таблица 2

Экономия электроэнергии при замене аналогов на СЭИТ-04М

Кол-во шкафов, шт.	100	500	700	1000
Экономия на шкаф, кВт/ч, при 90 снеговых в году	45 450,0	45 450,0	45 450,0	45 450,0
Итого экономия, тыс. кВт/ч в год	454,5	2 272,5	3 181,5	4 545,0
Итого экономия на срок эксплуатации, тыс. кВт/ч	13 635,0	68 175,0	95 445,0	136 350,0
Итого экономия, тыс. руб.	70 902,0	354 510,0	496 314,0	709 020,0

Таблица 3

Экономия эксплуатационных затрат при замене аналогов на СЭИТ-04М, тыс. руб.

Кол-во шкафов, шт.	100	500	700	1000
Стоимость ремонта, в год (анализ конкурсов ОАО «РЖД»)	30 504,11	152 520,55	213 528,77	305 041,10
Итого экономия	30 504,11	152 520,55	213 528,77	305 041,10

Таблица 4

Общая экономия от энергоэффективности и надежности при замене аналогов на СЭИТ-04М

Кол-во шкафов, шт.	100	500	700	1000
Экономия ДС (за вычетом стоимости внедрения), в год	3 380,20	21 985,04	36 879,87	54 138,11
Итого экономия	101 406,11	659 551,10	1 106 396,19	1 624 143,29

Таблица 5

Экономия от внедрения системы СЭИТ-04М, тыс. руб.

	СЭИТ-04М	Аналог	Разница
Стоимость внедрения системы (на 1 шкаф)	1 000,00	1 600,00	600,00
Стоимость внедрения системы (на 100 шкафов)	100 000,00	160 000,00	60 000,00
Экономия при эксплуатации 100 шкафов на срок жизни системы	101 406,11	0,00	101 406,11
Итого экономия за срок эксплуатации 100 шкафов			161 406,11

Экономия затрат на обслуживающий персонал не может быть корректно рассчитана ввиду отсутствия информации о временных затратах бригад на обслуживание и ремонт систем электрообогрева, а также их занятость для ручной очистки при выходе обогревов из строя.

**Выводы о целесообразности применения с точки зрения технико-экономической эффективности систем электрообогрева СЭИТ-04М**

Приведенная стоимость монтажа системы СЭИТ-04М — 1 млн руб. на 1 шкаф (на 1 стрелочный перевод) системы, аналогов — от 1,6 млн руб. на 1 шкаф системы, при этом относительно аналогов система СЭИТ-04М обеспечивает экономию эксплуатационных затрат 0,4 млн руб. на 1 шкаф системы в год.

Таким образом, затраты на оборудование станций системами СЭИТ-04М на 37,5 % меньше, а с учетом экономии эксплуатационных затрат только за первый год экономический эффект от 1 установленного шкафа приближается к приведенной стоимости монтажа на 1 шкаф системы.

Наиболее эффективно использование системы СЭИТ-04М в умеренном климате с частыми снегопадами, что соответствует наиболее заселенной части РФ, и, как следствие, с наиболее развитой сетью железных дорог.

Таким образом, замена даже 20 шкафов электрообогрева, установленных на данное время, шкафами системы СЭИТ-04М принесет эксплуатирующей организации экономию денежных средств в 6 760 тыс. рублей.

При оснащении новых станций системами электрообогрева, экономия при установке систем СЭИТ-04М составит 10 740 тыс. рублей на 1 шкаф на весь срок эксплуатации.

**ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН**

**МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО БЛОКА ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

Высокие требования, в свою очередь, вызывают необходимость поиска новых технических решений, в частности таких, как выбор энергоэффективных, надежных, экологических систем, отличающихся повышенной точностью измерения физических величин и, вследствие этого, получением более точной информации для принятия решений в системе управления.

Для определения момента включения системы электрообогрева по состоянию погоды при использовании запрограммированных условий для конкретных значений состояний окружающей среды используется метеорологический блок со всеми метеорологическими датчиками и датчиком температуры рельсов.

С целью создания технического решения для повышения точности измерения физических величин метеорологического блока для принятия решений использовалась структурная схема, приведенная на рисунке 2, которая была получена в результате анализа системы электрообогрева стрелочных переводов как объекта управления [5].

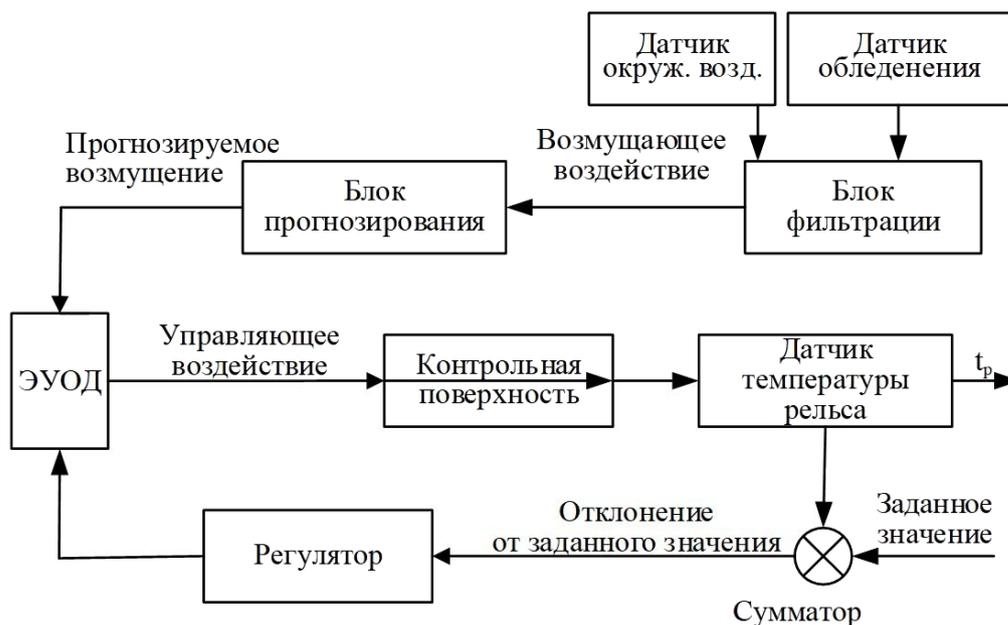


Рис. 2. Схема формирования управляющих воздействий метеорологического блока

**МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ДАТЧИК — ДАТЧИК ОБЛЕДЕНЕНИЯ**

Самой важной составляющей метеорологического блока является датчик обледенения (ДО), от качественной работы датчика зависит работа всей системы очистки стрелочных переводов как в части экономии электроэнергии, так и в части повышенной нагрузки на силовые цепи и компоненты системы в целом.

Сегодня на рынке представлены два типа действия датчика осадков, электротермический и оптический, которые

используются производителями АСОСП. Ниже мы рассмотрим принципы их действия.

*Электротермический ДО* основан на принципе электротермического сопротивления. Работает это следующим образом: осадки (снег) попадают на датчик, подогреваемый нагревательным элементом, и, превращаясь в воду (влагу), через специальную гигроскопическую мембрану попадают в межэлектродные промежутки, что вызывает падение сопротивления электродов, таким образом формируя сигнал.

Данный метод был разработан и запатентован в 1990 году и сегодня широко применяется ООО «Ладога-энерго» (производство системы ШУЭС-М). Из-за своих физических свойств данный ДО называется датчиком прямого действия [6].

Оптический ДО имеет ряд преимуществ перед вышеописанным датчиком, хотя и является датчиком косвенного действия [7].

Принцип его действия основан на изменении интенсивности прямого и отраженного луча при наличии осадков (дождь, снег) в воздухе. Имея в своем составе многоканаль-

ный инфракрасный датчик, использующий прямые и диффузные отражения от осадков, а также дополнительные датчики данная информация преобразуется в сигнал о наличии осадков. Кроме того, данный принцип работы позволяет определить и наличие льда на контролируемой поверхности, при условии, что сам ДО располагается в непосредственной близости от стрелки.

Рассмотренный принцип работы, а также сам ДО используется в производстве СОСП ООО «КТН», что отражено в патенте [8]. Принципиальная схема и опытный образец датчика обледенения представлены на рисунке 3.



Рис. 3. Принципиальная схема и опытный образец датчика обледенения

Особенности интеллектуального датчика обледенения производства ООО «КТН», предлагаемого к использованию в составе системы АСОСП: моноблочная изолированная конструкция; малые размеры и масса; оптический способ регистрации обледенения; высокая чувствительность; способность к самодиагностике; цифровой интерфейс.

Данная разработка снабжается дополнительным датчиком для улучшения точности показаний.

В ходе разработки системы было решено разработать и исследовать имитационную модель метеорологического блока СЭИТ-04/СЭИТ-04М при помощи программного обеспечения MATLAB/Simulink [8–10]. Разработанная имитационная модель позволила провести эксперименты по исследованию значений температуры чувствительных элементов датчика и их разности с течением времени работы нагревателей (экспериментальный, при обледенелых и чистых рабочих поверхностях) (рис. 4).

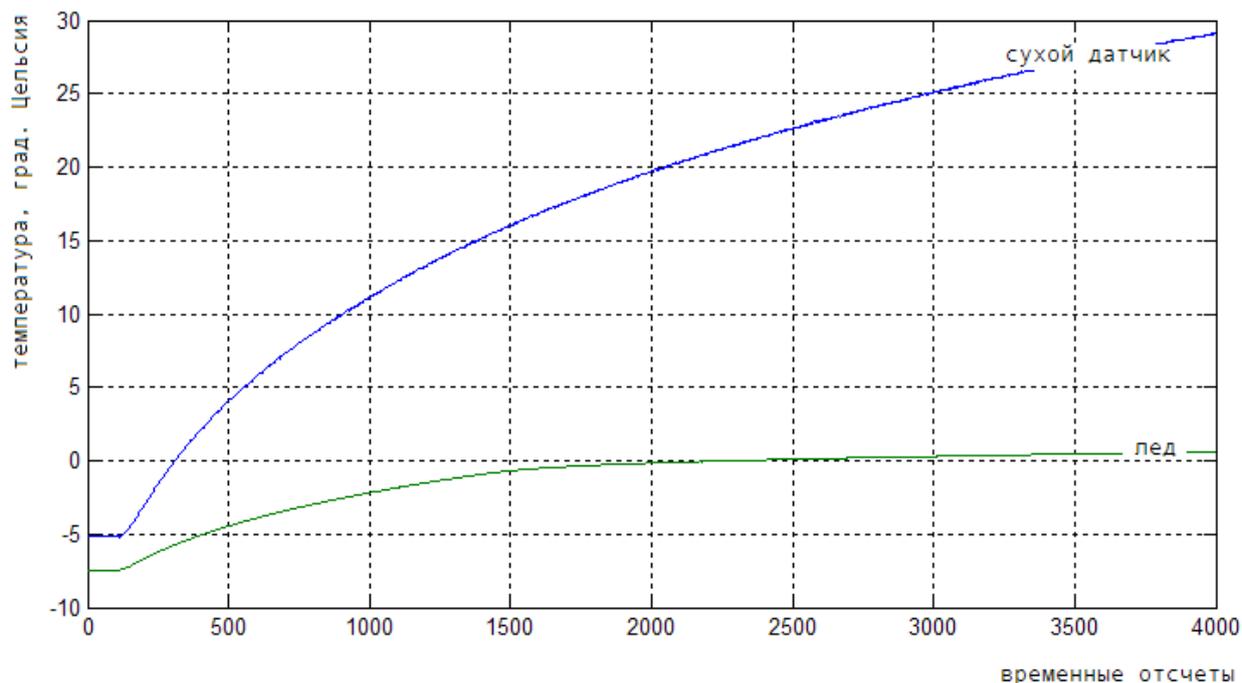


Рис. 4. Графики значений температуры чувствительных элементов датчика и их разности с течением времени работы нагревателей при «сухом» датчике и обледенелых («лед») рабочих поверхностях пластин

На графике по оси абсцисс отложено условное время в дискретных отсчетах, а по оси ординат — температура в условных единицах, которые могут быть приведены к градусам Цельсия, поскольку получены в результате реального опыта. Для наглядности кривые разогрева сдвинуты вниз на значение температуры [11–13].

#### Вывод

Главный элемент автоматической системы обогрева стрелочных переводов — сигнализатор (датчик обледенения). Он заменяет устаревшие шкафы ШУЭС-М и обеспечивает значительное увеличение надежности, экономичности и долговечности работы устройств электрообогрева стрелочных переводов, а также дает возможность использовать современные средства контроля, управления и диагностики.

Эксплуатация системы электрообогрева стрелочных переводов СЭИТ-04/СЭИТ-04М производства ООО «КТН» имеет ряд преимуществ:

- удаление снега за минимальное время;
- минимальная нагрузка на питающую сеть;
- возможность удаленного управления и мониторинга;
- включение и выключение по погодным условиям;
- не создает помех для других систем безопасности;
- наименьшая стоимость для потребителя;
- минимальное потребление энергии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Герцик, Д. В. Инновации на железных дорогах в суровом климате: модернизация системы электрообогрева стрелочных переводов / Д. В. Герцик, А. Г. Семенов // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Международной научно-технической конференции (Тюмень, Россия, 14 апреля 2016 г.). — Тюмень: Тюменский индустриальный ун-т, 2016. — С. 79–84.

2. Осмоловский, Д. В. Новая система электрообогрева стрелочных переводов // Автоматика, связь, информатика. 2011. № 10. С.27–29.

3. Яковлев, И. П. Разработка автоматизированной системы управления и контроля электрообогревом стрелочных переводов // Современные проблемы радиоэлектроники: Сборник трудов XXI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 123-й годовщине Дня радио (Красноярск, Россия, 03–04 мая 2018 г.). — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2018. — С. 121–125.

4. Колисниченко, Е. А. Оценка экономической эффективности при внедрении устройства по очистке стрелочного перевода от снега и льда // Наука и образование транспорту: Материалы VIII Международной научно-практической конференции (Самара, Россия, 21–23 октября 2015 г.). — Самара: СамГУПС, 2015. — С. 212–215.

5. Султонов, Ш. Х. Выводы о целесообразности применения с точки зрения технико-экономической эффективности системы электрообогрева СЭИТ-04М // Проблемы безопасности на транспорте: Материалы X Международной научно-практической конференции (Гомель, Беларусь, 26–27 ноября 2020 г.): в 5 ч. / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. — Ч. 4. — Гомель: БелГУТ, 2020. — С. 57–59.

6. Кочубей, В. Ф. Защита стрелочных переводов от снега и льда: практические решения / В. Ф. Кочубей, И. А. Евдокимов // Путь и путевое хозяйство. 2015. № 11. С. 29–33.

7. Наружный датчик осадков TSP-02. Паспорт изделия. URL: [http://antiled66.ru/images/instrukcii/pasport\\_TSP02.pdf](http://antiled66.ru/images/instrukcii/pasport_TSP02.pdf) (дата обращения 22.12.2020).

8. Патент № 2582627 Российская Федерация, МПК E01B 7/24 (2006.01). Устройство электрообогрева стрелочных переводов типа СЭИТ-04: № 2015106701/11: заявл. 26.02.2015: опубл. 27.04.2016 / Бараусов В. А., Кочубей В. Ф. — 18 с.

9. Патент № 2685631 Российская Федерация, МПК E01B 7/00 (2006.01), E01B 19/00 (2006.01), E01H 8/08 (2006.01), B64D 15/20 (2006.01). Способ и устройство обнаружения обледенения или снега на контролируемой поверхности: № 2018125617: заявл. 11.07.2018: опубл. 22.04.2019 / Селянин С. Г.; заявитель Бараусов В. А., Григорьев П. В. — 20 с.

10. Barausov, V. A. Control Software for Surface Ice and Snow Detecting Device / V. A. Barausov, V. P. Bubnov, Sh. Kh. Sulstonov // Proceedings of Models and Methods of Information Systems Research Workshop in the frame of the Betancourt International Engineering Forum (MMISR 2019), (St. Petersburg, Russia, 04–05 December 2019). CEUR Workshop Proceedings. 2020. Vol. 2556. Pp. 75–79. DOI: 10.24412/1613-0073-2556-75-79.

11. Султонов, Ш. Х. Алгоритм работы системы управления электрообогревом стрелочных переводов на основе энергосберегающих технологий / Ш. Х. Султонов, В. П. Бубнов // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы: Сборник трудов LXXX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Санкт-Петербург, Россия, 20–27 апреля 2020 г.). — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2020. — С. 74–77.

12. Султонов, Ш. Х. Структура управляющей программы и способ для обнаружения обледенения на поверхности стрелочных переводов / Ш. Х. Султонов, Н. А. Крицкий, З. Р. Султонова // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2020. № 2 (22). С. 59–64.

13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020619431 Российская Федерация. Программа для устройства обнаружения обледенения или снега на контролируемой поверхности: № 2020612292: заявл. 21.02.2020: опубл. 17.08.2020 / В. А. Бараусов, П. В. Григорьев, Ш. Х. Султонов. — 1 с.

# The Peculiarity of the Installation and Operation of the Electric Heating System of the Switches SEIT-04 / SEIT-04M Manufactured by KTN LLC

Sh. Kh. Sultonov

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University  
Saint Petersburg, Russia  
sultonovsh@yandex.ru

**Abstract.** The article provides the rationale for the need to use an automatic system for cleaning turnouts as a cost-effective approach to prevent the formation of icing on the upper structures of the railway track in harsh climatic conditions. A number of features on the application of the proposed electric heating system for switches SEIT-04/SEIT-04M manufactured by KTN LLC, St. Petersburg, are considered. The benefits in energy savings are also presented, as evidenced by the system performance test report.

**Keywords:** automatic system, electric heating, meteorological unit, electric heating control, icing sensor, ambient air sensor.

## REFERENCES

1. Gercik D. V., Semenov A. G. Innovacii on Railway in Severe Climate: Modernization of the System of the Electric Heating Arrowshaped Translation [Innovatsii na zheleznykh dorogakh v surovom klimate: modernizatsiya sistemy elektroobogreva strelochnykh perevodov], *Transport and transport-technological systems: Materials of the International Scientific and Technical Conference [Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii]*, Tyumen, Russia, April 14, 2016, Tyumen, Industrial University of Tyumen, 2016, Pp. 79–84.

2. Osmolovsky D. V. New Electrical Heating System for Turnouts [Novaya sistema elektroobogreva strelochnykh perevodov], *Automation, Communications, Informatics [Avtomatika, svyaz', informatika]*, 2011, No.10, Pp. 27–29.

3. Yakovlev I. P. Development of an Automated Control and Monitoring System for Electric Heating of Turnouts [Razrabotka avtomatizirovannoy sistemy upravleniya i kontrolya elektroobogrevom strelochnykh perevodov], *Modern Problems of Radio Electronics: Proceedings of the XXI All-Russian Scientific and Technical Conference with International Participation [Sovremennyye problemy radioelektroniki: Sbornik trudov XXI Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem]*, Krasnoyarsk, Russia, May 03–04, 2018, Krasnoyarsk, Siberian Federal University, 2018, Pp. 121–125.

4. Kolisnichenko E. A. Evaluation of Economic Efficiency in the Implementation of a Device for Cleaning a Turnouts from Snow and Ice [Otsenka ekonomicheskoy effektivnosti pri vnedrenii ustroystva po ochistke strelochnogo perevoda ot snega i l'da], *Science and Education for Transport: Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference [Nauka i obrazovanie transportu: Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]*, Samara, Russia, October 21–23, 2015, Samara, Samara State Transport University, 2015, Pp. 212–215.

5. Sultonov Sh. Kh. Conclusions About the Feasibility of Using an Electric Heating System from the Point of View of Technical and Economic Efficiency SEIT-04M [Vyvody o tselesoobraznosti primeneniya s tochki zreniya tekhniko-ekonomicheskoy effektivnosti sistemy elektroobogreva SEIT-04M], *Transport Safety Problems: Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference. Part 4 [Problemy bezopasnosti na transporte: Materialy X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Chast' 4]*, Gomel, Belarus, November 26–27, 2020, Gomel, Belarusian State University of Transport, 2020, Pp. 57–59.

6. Kochubey V. F., Evdokimov I. A. Snow and Ice Protection for Turnouts: Practical Solutions [Zashchita strelochnykh perevodov ot snega i l'da: prakticheskie resheniya], *Railway Track and Facilities [Put' i putevoe khozyaystvo]*, 2015, No. 11, Pp. 29–33.

7. Outdoor precipitation sensor TSP-02. Product passport [Naruzhnyy datchik osadkov TSP-02. Pasport izdeliya]. Available at: [http://antiled66.ru/images/instrukcii/pasport\\_TSP02.pdf](http://antiled66.ru/images/instrukcii/pasport_TSP02.pdf) (accessed 22 Dec 2020).

8. Barausov V. A., Kochubej V. F. Electrical Heating Device of Track Switches Type SEIT-04 [Ustroystvo elektroobogreva strelochnykh perevodov tipa SEIT-04], patent RU No. 2582627, published at April 27, 2016, 18 p.

9. Selyanin S. G. Method and Device of Detecting Icing or Snow on a Controlled Surface [Sposob i ustroystvo obnaruzheniya obledeneniya ili snega na kontroliruemoy poverkhnosti], patent RU No. 2685631, published at April 22, 2019, 20 p.

10. Barausov V. A., Bubnov V. P., Sultonov Sh. Kh. Control Software for Surface Ice and Snow Detecting Device, *Proceedings of Models and Methods of Information Systems Research Workshop in the frame of the Betancourt International Engineering Forum (MMISR 2019)*, St. Petersburg, Russia, December 04–05, 2019. *CEUR Workshop Proceedings*, 2020, Vol. 2556, Pp. 75–79. DOI: 10.24412/1613-0073-2556-75-79.

11. Sultonov Sh. Kh., Bubnov V. P. Algorithm of Operation of the Control System for Electric Heating of Turnouts on the Basis of Energy-Saving Technologies [Algoritm raboty sistemy upravleniya elektroobogrevom strelochnykh perevodov na osnove energosberegayushchikh tekhnologiy], *Transport: Problems, Ideas, Prospects: Proceedings of the LXXX All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduate*

*Students and Young Scientists [Transport: problemy, idei, perspektivy: Sbornik trudov LXXX Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh], Saint Petersburg, Russia, April 20–27, 2020, St. Petersburg, PSTU, 2020, Pp. 74–77.*

12. Sulonov Sh. Kh., Kritsky N. A., Sulonova Z. R. Structure of the Control Program and Method for Detecting Icing on the Surface of Switches [Struktura upravlyayushchey programmy i sposob dlya obnaruzheniya obledeneniya na poverkhnosti strelochnykh perevodov], *Intellectual Technologies on Transport [Intellektual'nye tekhnologii na transporte]*, 2020. No. 2 (22), Pp. 59–64.

13. Barausov V. A., Grigoryev P. V., Sulonov Sh. Kh. Control Software for Surface Ice and Snow Detecting Device [Programma dlya ustroystva obnaruzheniya obledeneniya ili snega na kontroliruемой poverkhnosti]. Certificate of State registration of a computer program RU No. 2020619431, published at August 17, 2020.

# Концептуальная модель архитектуры системы сбора данных с датчиков контроля уровня загрязнения атмосферного воздуха, установленных на крышах общественного транспорта

Т. Бранзов, К. Иванова

Институт математики и информатики  
Болгарской академии наук  
София, Болгария

todor.branzov@gmail.com, kivanova@math.bas.bg

к.т.н. Н. В. Иванова, В. А. Попов

Петербургский государственный университет  
путей сообщения Императора Александра I  
Санкт-Петербург, Россия

nataliv62@gmail.com, slawapopov538@gmail.com

**Аннотация.** Загрязнение атмосферного воздуха относится к числу наиболее важных экологических проблем современности. Инфраструктура Умного города предлагает ряд возможностей для нахождения решений в области конкретных задач, посвященных данной проблеме, в том числе включающих в себя задачу сбора информации о загрязнении воздуха в разных точках города. Мы предлагаем идею использовать общественный транспорт: автобусы, троллейбусы, полицейские машины и т. д. в роли подвижных устройств мониторинга операционных технологий для сбора и анализа данных о загрязнении воздуха. Далее приведены концептуальная модель и планы для постановки ряда экспериментов, доказывающие, что предложенная идея является практически применимой.

**Ключевые слова:** Умный город, загрязнение воздуха, сбор информации, концептуальная модель архитектуры.

## ПРОБЛЕМА

Загрязнение атмосферного воздуха продолжает оставаться одной из главных экологических проблем человечества. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) [1] подсчитала, что почти 9 из 10 человек подвержены загрязнению воздуха, что подвергает их повышенному риску заболеваний, включая болезни сердца, инсульт, хроническую обструктивную болезнь легких, рак и пневмонию. Ситуация обусловлена неэффективным использованием энергии в домашних условиях, индустриями, населенными пунктами, вырубкой леса, сжиганием мусора. Но это все лишь звено в цепи бесперебойных ударов по здоровью природы. Одним из основополагающих факторов в вопросе загрязнения воздуха продолжает оставаться эксплуатация автомобильного и иных видов транспорта, работающих по принципу двигателя внутреннего сгорания.

Данная проблема рассматривается международным коллективом авторов на примере двух мегаполисов (Санкт-Петербурга, Российская Федерация и Софии, Республика Болгария), в которых развиваются и реализуются технологии Умного города.

Так, например, четвертый по величине город в Европе — Санкт-Петербург — является не только мировым культурным центром, но и крупным торгово-экономическим центром России с различными отраслями промышленности, такими как судостроение, производство военного оборудования, фармацевтических и химических препаратов, прочих товаров для экспорта и бытового использования. Такая крупная экономика, основанная на массовом производстве и движении материалов, является предпосылкой для возникновения проблем загрязнения. Благодаря ряду мер по разработке и реализации проекта «Чистое производство» Санкт-Петербург, за исключением нескольких месяцев с повышенным уровнем загрязнения, в целом имеет хорошее качество воздуха и в 2019 году входил в целевую группу CO<sub>2</sub> для городов с хорошим качеством воздуха [2].

Как и во многих других городах мира, одним из наиболее заметных факторов загрязнения воздуха в Санкт-Петербурге являются автомобильные выхлопные газы и выбросы. Следствием большого количества людей, проживающих в городе и на обширных пригородных территориях является увеличенный трафик, что вызывает повышение уровня загрязнения в часы пик. Несмотря на хорошо развитую инфраструктуру общественного транспорта, некоторые люди по-прежнему предпочитают использовать свои автомобили, что служит одной из основных причин загрязнения воздуха в городе, особенно если автомобили работают на дизельном топливе. Источниками загрязнения также являются фабрики и промышленные районы, транспортный поток к ним, а также дым и выхлопные газы судов, заходящих в городские порты и выходящих из них. Загрязнение наиболее заметно в зимние месяцы. Отчасти это связано с понижением температуры, которое вызывает увеличение затрат на тепло, а также с явлением создания тепловой инверсии при особо сильных морозах [2].

В России создана государственная сеть системы наблюдений атмосферного воздуха, в рамках которой сформирована автоматизированная система из 25 автоматических

станций мониторинга загрязнения атмосферного воздуха. Так, например, на рисунке 1 представлен график среднегодового уровня загрязняющих веществ из автоматической станции № 12 (ул. Пестеля) для мониторинга атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге [3].



Рис. 1. Среднегодовой уровень загрязняющих веществ по данным автоматической станции № 12 мониторинга атмосферного воздуха Санкт-Петербурга

Другим, не менее интересным примером может служить система мониторинга загрязнения воздуха в Софии. Столица Болгарии со своей богатой историей, большими зелеными парками, горными окружениями и прекрасной погодой является хорошим местом не только для туристов, но и для коренных жителей. Но в последнее время столица стала числиться среди городов с низкой репутацией по отношению к чистоте воздуха. Основными загрязнителями воздуха в Софии являются отопление за счет сжигания дров, угля и мусора, дорожное движение и промышленность на окраинах города и вокруг них. Определенные погодные условия способствуют нынешнему высокому уровню загрязнения. Это отсутствие ветра и тот факт, что София расположена в долине, в которой относительно часто образуется инверсия, не позволяющая грязному воздуху «уйти». Считается, что 25 % загрязнения воздуха в Софии опасными мелкими частицами пыли связано с неочищенными улицами, пылью во время строительных работ и парковками в зеленых зонах, то есть так называемое «повторное взвешивание» почвы и пыли. Проблемы загрязнения воздуха в Софии обусловлены также истиранием шин и тормозных колодок, образующих мелкие частицы пыли. В целом в стране существует также проблема, связанная с увеличением количества сернистого диоксида в воздухе из-за все еще действующих угольных электростанций. Работа таких станций способствует загрязнению воздуха за счет выделения выбросов, а именно сернистого диоксида и азотного оксида, которые вызывают смог и кислотные дожди в стране. И хотя общая картина воздуха в Болгарии улучшается, страна остается одной из тех, у которых есть проблемы с мелкими частицами пыли PM2,5 и PM10 и диоксидом серы (SO2) [4].

На рисунке 2 представлены данные по загрязнению воздуха в Софии за период 21.11–20.12.2020 по наблюдениям швейцарской компании IQAir, являющейся лидером по системам очистки воздуха. Из графика видно, что пик загрязнения воздуха пришелся на 28 ноября 2020

года, и София в этот период времени занимала первое место в списке городов, подверженных риску загрязнения воздуха мелкодисперсными частицами не более 2,5 мкм.



Рис. 2. Загрязнение воздуха в Софии в период 21.11–20.12.2020 по данным IQAir

На основе представленных выше данных можно понять, почему в настоящее время особое внимание уделяется задаче разработки методологических основ системы отслеживания загрязнения воздуха на базе установленных правил с достижением максимально возможного уровня безопасности для окружающей среды при минимальных транспортных затратах, а также возможном уровне финансового обеспечения.

Настоящая работа является продолжением концептуальных идей, представленных в публикации [6], в которой авторами были описаны оригинальные идеи создания системы динамического сбора данных о загрязнении воздуха в городской среде на основе датчиков, расположенных на транспортных средствах.

Далее в статье представлены:

- проблема мониторинга загрязнения городского воздуха;
- краткое описание практического применения предлагаемой системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха;
- концептуальная модель архитектуры рассматриваемой системы.

В заключительной части статьи обсуждается потенциальный вклад реализации системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в повышение комфортного уровня жизнедеятельности городов. Рассматриваются также группы пользователей, которые могут внести свой ценный вклад в поддержку такого уровня жизнедеятельности.

#### АКТУАЛЬНОСТЬ ВОПРОСА

Для мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, собираются данные следующих типов:

- фоновое загрязнение — данные, полученные путем мониторинга качества воздуха в определенном месте: городской площади, лесном заповеднике, строительной площадке и т. д.;

• дорожно-транспортное загрязнение, обусловленное выбросами выхлопного газа на дорожно-транспортных полосах, то есть данные, взятые со специальных датчиков, которые находятся в тесном взаимодействии с дорожно-транспортной инфраструктурой.

Вместе с муниципальными или государственными органами исследования качества воздуха все чаще появляются новые разработки в сфере сенсорных технологий, взаимодействующие в соответствии с принципами сетей передачи данных, таких как, например, Интернет вещей (IoT), которые представляют собой частные сети для исследования и мониторинга фоновое загрязнение. Одним из успешных проектов стал проект World Air Quality Index [7], стартовавший в 2007 году. В рамках работы проекта были собраны данные с 30 000 сенсорных станций в 200 городах по всему миру. Ведущий североамериканский городской научный погодный исследовательский центр — Citizen Weather Observer Program [8] — предоставляет данные с 7 000 (на 2020 год) сенсорных станций для мониторинга качества воздуха. Благодаря одной из аналогичных инициатив Евросоюза (Sensor.Community) собираются данные с 10 700 локаций по всему миру [9].

Методы измерения выбросов дорожно-транспортного загрязнения разрабатываются транспортными административно-муниципальными органами. В настоящее время исследуются два ключевых аспекта. Первый аспект связан с измерениями дорожно-транспортного загрязнения (Real Driving Emissions, RDE). Особое внимание данному аспекту уделяется после скандала 2015 года, возникшего вокруг крупных немецких автостроителей, которые обвинялись в махинациях с измерением уровней выхлопов у дизельных автомобилей с использованием сертифицированных устройств, прошедших тест в соответствующих лабораториях по сертификации, но при этом автомобили выделяли в десять раз больше выхлопного газа [10].

Для исследования выбросов вредных веществ в окружающую среду различными транспортными средствами и построения классификаторов таких веществ к настоящему моменту разработано несколько методов. Один из наиболее ранних методов, использующих мобильную измерительную платформу, был сосредоточен в основном на химических загрязнениях, которые были установлены на крышах машин, движущихся по дорожным сетям Лос-Анжелеса [11]. Другой ключевой аспект заключается в интеграции с парадигмой Умного города, в котором сенсорная сеть передачи данных отправляет их в различные ситуационные центры, автоматизирующие ключевые процессы жизни города. Одним из примеров может послужить сенсорная сеть в Гонконге, приборы которой измеряют выбросы выхлопных труб, их скорость, ускорение, а также фиксируют номерные знаки проезжающего мимо наземного транспорта за половину секунды. Однако полная автоматизация измерительных систем ограничена из-за необходимости recalibration сенсоров за относительно короткие промежутки времени (каждые два часа) [12].

Следующая новая тенденция в сфере транспортировки прослеживается во внедрении сенсорных систем мониторинга качества воздуха в салоны грузовых автомобилей (экскаваторы, подъемные краны, машины сельскохозяйственного назначения). За последние десять лет множество производителей машин известных марок уже внедрили

сенсорные технологии мониторинга качества воздуха, включая контроль вентиляционных систем, а также систем фильтрации по мере необходимости [13]. Таким образом, в любой части города размещены частные сенсорные сети передачи данных.

#### ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Наши основные намерения заключаются в вопросе исследования возможности оснащения городского транспорта сенсорными датчиками с целью сбора информации о загрязнении воздуха на дорогах. Мотивация для исследования состоит в том, чтобы разработать и предложить методы и средства, которые могут использовать силу гражданской науки или быть реализованы муниципальными властями. Преимущества такой разработки заключаются в следующем:

- более обширный охват наблюдения зоны загрязнения по сравнению со статическими датчиками;
- упрощение вычислительных действий за счет простоты устройства подвижных датчиков;
- недорогие комплектующие подвижных датчиков по сравнению с их аналогами.

Два аспекта являются ключевыми факторами в вопросе практической применимости данного исследования в контексте гражданской науки. Во-первых, в последнее десятилетие наблюдается значительный прогресс в направлении повышения качества устройств, состоящих на вооружении энтузиастов «гражданской науки», хотя и есть еще некоторые слабые места, такие как, например, наблюдаемые резкие искажения значений (по сравнению с эталонными) в датчиках при определенных погодных условиях (влажность воздуха ниже 65 %) [14, 15]. Вторая предпосылка — развитие и широкое распространение доступа к инфраструктурным услугам, которые сделали разработку систем Интернета вещей (IoT) возможной при очень скромном бюджете. В дополнение к инфраструктуре различные производители предлагают коммуникационные контроллеры по цене до 50 евро.

Основным ограничением использования транспортных средств в качестве мобильных сетей передачи данных является то, что они выбрасывают в окружающую среду свои собственные отходы, которые будут зашумлять данные. Мы предполагаем, что шум будет сильно варьироваться в зависимости от технологии двигателя автомобиля: так, химические выбросы, которые могут быть значительными в двигателях внутреннего сгорания, будут намного меньше или полностью отсутствовать в электрических или гибридных автомобилях. Поэтому в исследовании заложена серия экспериментов, направленных на изучение возникновения шума [6].

План экспериментов включает несколько итераций при различных условиях относительной влажности воздуха: 15÷20%, 50%, 60÷65%. Трассой для экспериментов является прямая дорога длиной 2 км, на которой расположены 8 стационарных станций, установленных на высоте 150 см от земли, на расстоянии 250 метров друг от друга вдоль линии трассы. На каждом из таких участков расположены датчик относительной влажности и датчики загрязняющих веществ. Целью применения этих датчиков является измерение значений, которые будут использоваться в качестве референтных без шума транспортных средств (статические сенсорные станции).

Экспериментальные задачи, которые будут выполняться на каждой итерации:

1. Изучение шума собственных выбросов автомобиля (задача должна быть выполнена для электрических транспортных средств и транспортных средств с двигателем внутреннего сгорания).

2. Исследование влияния начала движения и остановки транспортного средства на получаемые данные.

3. Изучение данных измерений, полученных мобильной сенсорной платформой при моделировании дорожной среды с использованием только электромобилей.

4. Изучение измерений, полученных мобильной сенсорной платформой в шумной смешанной среде (электромобили и автомобили с двигателями внутреннего сгорания).

#### АРХИТЕКТУРА

В качестве основы для построения концептуальной модели архитектуры системы мы используем трехуровневую модель (рис. 3):

- I уровень — сенсорный (IoT Layer);
- II уровень — посредник (Mediator Layer);
- III уровень — прикладной (Application Layer).

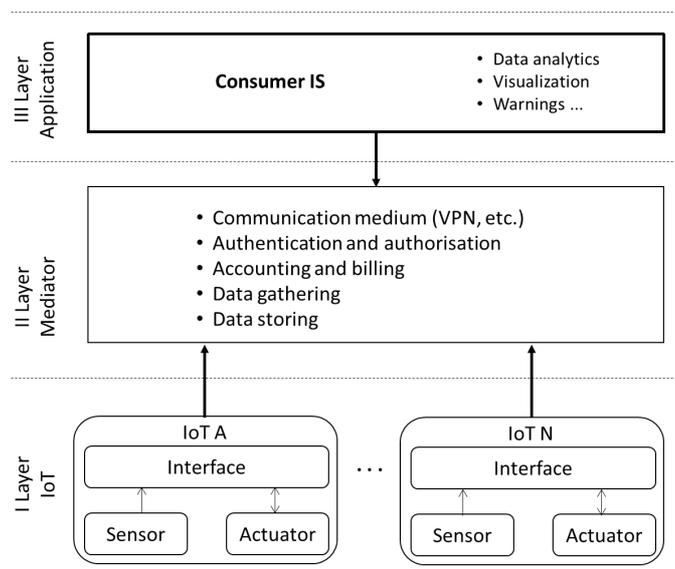


Рис. 3. Концептуальная модель архитектуры систем

На первом уровне (IoT Layer) находятся устройства Интернета вещей. Они могут содержать комбинации датчиков загрязнения, датчиков позиционирования (GPS, GLONASS и т. д.), а также исполнительных механизмов, которые могут выполнять действия при определенных условиях (например, регулировать аспирацию воздуха к датчикам). Связь с устройствами осуществляется через стандартизованный интерфейс — REST или аналогичный, который позволяет легко общаться через сеть TCP/IP и протоколы HTTP/HTTPS. С логической точки зрения это позволяет рассматривать каждое устройство на определенном уровне как автономный микросервис, а полезная предоставляемая услуга — это данные от датчиков, упакованные с метаданными.

Пакет данных может быть реализован как вектор, содержащий: данные датчиков; время получения (с часов IoT-устройства); место получения. К этой модели могут

быть добавлены дополнительные метаданные в соответствии со спецификой и потребностями систем прикладного уровня.

Следует отметить специфику предлагаемой системы, связанную с динамикой местоположения носителей сенсоров. Транспортное средство постоянно меняет свое местоположение, причем может попасть в зоны, где нет канала связи. С другой стороны, целью является регулярный мониторинг состояния, а не спорадический отбор проб. Поэтому думаем, что логично на этом уровне воспользоваться встроенным устройством, которое создает буфер векторов с данными, собираемыми с определенными интервалами (например, 24 часа), а также устройством для отправки этих данных (например, отдельной конечной точкой REST).

Второй уровень (Mediator Layer) поддерживает группы функций, которые предназначены для обеспечения качественного, стабильного и безопасного доступа к данным с устройств IoT-приложений третьего уровня. Первая группа — это функции, связанные с созданием коммуникационной среды, которая позволяет создавать сеть TCP/IP с устройствами IoT (например, VPN, включая сенсорные устройства, модуль управления второго уровня и пользователей, которым разрешен доступ через модуль управления). Вторая группа функций обеспечивает аутентификацию и авторизацию, а также учет использования программного обеспечения прикладного уровня для устройств IoT. Третья группа включает модули, которые осуществляют периодический сбор и хранение данных с устройств IoT, обеспечивая таким образом буферное хранилище и разрешая доступ к данным прикладному программному обеспечению без необходимости прямого обмена сообщениями между ним и устройствами IoT.

Верхний уровень (Application Layer) содержит приложения, которые преобразуют данные в удобную для пользователя информацию. Концепция и функциональность на уровне посредника позволяют создавать приложения и сложные системы приложений с использованием архитектур, подходящих для наиболее распространенных на данный момент устройств. Мы предлагаем две основные архитектуры для таких приложений:

1. Первая архитектура подходит для программного обеспечения и мобильных приложений для широкой публики. В данном случае приложение получает доступ к данным, запрашивая второй уровень, и нет возможности прямого доступа к устройствам IoT. Это обеспечивает дополнительный механизм защиты от злонамеренного доступа первого уровня.

2. Вторая архитектура подходит для приложений, предназначенных для системных администраторов, например управленческой команды в соответствующем муниципалитете. В таких приложениях можно обеспечить доступ и обмен сообщениями через посредника напрямую с устройствами (через их интерфейс).

Предлагаемая модель позволяет строить безопасные и стабильные информационные системы с учетом необходимости разграничения доступа к данным, специфики движения транспортных средств с датчиками и специфики коммуникационной среды. Модель позволяет создавать информационные табло, информационные мобильные прило-

жения для общего использования, а также приложения, которые способны проводить углубленный анализ и визуализацию данных для целей управления, например выдавать сообщения о тревоге в случае чрезмерного загрязнения и даже напрямую управлять устройствами.

#### ВЫВОДЫ

В случае реализации потенциальными ключевыми пользователями данных могут быть муниципальные и государственные органы власти, исследователи и разработчики инструментов анализа и визуализации данных.

Применение «гражданской науки» откроет возможности для включения частных предприятий (компаний общественного транспорта, краткосрочной аренды автомобилей) и организаций с достаточно крупными автопарками. Сеть будет дополнять дорожные сети, так же как сети контроля качества воздуха дополняют государственные или муниципальные сети.

Идея использования транспортных средств, которые находятся в ведении муниципалитета или имеют отношение к выполнению деятельности, связанной с работой муниципалитета, имеет большие преимущества, поскольку маршрут этих транспортных средств охватывает ключевые для города дорожно-транспортные магистрали. С другой стороны, общественный транспорт многих крупных городов в настоящее время имеет хорошо развитую сеть Wi-Fi, что облегчает внедрение IoT. И последним, но не менее важным аспектом является то, что значительная часть общественного транспорта не использует двигатели внутреннего сгорания. Трамваи и троллейбусы существуют уже столетие, а в настоящее время для обслуживания городских линий широко используются также электробусы. Одной из причин установки станций на высоте 150 см в эксперименте является исследование сбора данных на высоте, которая в среднем находится между высотой потолка автомобиля и потолка транспортных средств, используемых для обслуживания муниципальных задач — городских транспортных средств, мусорных машин и т. п. Кроме того, в качестве платформы могли бы быть интересны сервисы совместного использования электромобилей, такие как Spark, а также городской прокат велосипедов.

Хотя почти все крупные города Европы и Российской Федерации (например, Санкт-Петербург) имеют сети измерения качества окружающего воздуха, в небольших городах [16, 17] такие структуры все еще развиваются, и это может стать дешевой альтернативой или дополнительным вариантом применения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Air pollution // World Health Organization. URL: <http://www.who.int/health-topics/air-pollution> (дата обращения 10.10.2021).
2. Air quality in Saint Petersburg — AirVisual // IQAir. URL: <http://www.iqair.com/russia/st-petersburg/saint-petersburg> (дата обращения 10.10.2021).
3. Состояние окружающей среды — Атмосферный воздух // Экологический портал Санкт-Петербурга. URL: <http://www.infoeco.ru/index.php?id=53> (дата обращения 10.10.2021).
4. Air quality in Sofia — AirVisual // IQAir. URL: <http://www.iqair.com/bulgaria/sofia> (дата обращения 10.10.2021).

5. World Air Quality Index (AQI) Ranking — Air Visual // IQAir. URL: <http://www.iqair.com/us/world-air-quality-ranking> (дата обращения 10.10.2021).

6. Ivanova, K. IoT on the Roofs of Municipally Governed Vehicles for Air Pollution Tracking / K. Ivanova, T. Branzov, N. V. Ivanova // Proceedings of the Workshop «Models and Methods for Researching Information Systems in Transport 2020» on the Basis of the Departments «Information and Computer Systems» and «Higher Mathematics» (MMRIST 2020) (St. Petersburg, Russia, 11–12 December 2020). CEUR Workshop Proceedings. 2021. Vol. 2803. Pp. 172–177. DOI: 10.24412/1613-0073-2803-172-177.

7. World's Air Pollution: Real-Time Air Quality Index. URL: <http://waqi.info> (дата обращения 10.10.2021).

8. Citizen Weather Observer Program. URL: <http://wxqa.com> (дата обращения 10.10.2021).

9. Sensor.Community. URL: <http://sensor.community> (дата обращения 10.10.2021).

10. Schiermeier, Q. The Science Behind the Volkswagen Emissions Scandal. — 24 September. (last ed. 30 Sep 2015) // Nature. 2015. DOI:10.1038/nature.2015.18426.

11. Sensitivity Analysis of Area-Wide, Mobile Source Emission Factors to High-Emitter Vehicles in Los Angeles / M. Kelp, T. Gould, E. Austin, [et al.] // Atmospheric Environment. 2020. Vol. 223. Article No. 117212. 7 p. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2019.117212.

12. Evaluating In-Use Vehicle Emissions Using Air Quality Monitoring Stations and On-Road Remote Sensing Systems / Y. Huang, W.-C. Mok, Y.-S. Yam, [et al.] // Science of the Total Environment. 2020. Vol. 740. Article No. 139868. 10 p. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139868.

13. Lohani, D. Real Time In-Vehicle Air Quality Monitoring Using Mobile Sensing / D. Lohani, D. Acharya // Proceedings of the IEEE Annual India Conference (INDICON 2016), (Bangalore, India, 16–18 December 2016). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017. — Pp. 1–6. DOI: 10.1109/INDICON.2016.7839099.

14. Evaluation of Field-Deployed Low Cost PM Sensors (EPA/600/R-14/464) / R. Williams, A. Kaufman, T. Hanley, [et al.] — Washington (DC): United States Environmental Protection Agency, 2014. — 76 p.

15. Community Air Sensor Network (CAIRSENSE) project: Evaluation of Low-Cost Sensor Performance in a Suburban Environment in the Southeastern United States / W. Jiao, G. Hagler, R. Williams, [et al.] // Atmospheric Measurement Techniques. 2016. Vol. 9, Is. 11. Pp. 5281–5292. DOI: 10.5194/amt-9-5281-2016.

16. Ruohomaa, H. Towards a Smart City Concept in Small Cities / H. Ruohomaa, V. Salminen, I. Kunttu // Technology Innovation Management Review. 2019. Vol. 9, Is. 9. Pp. 5–14. DOI: 10.22215/timreview/1264.

17. Мониторинг атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге обсудили в ТАСС. — 2019. — 18 октября // Администрация Санкт-Петербурга. Официальный сайт. URL: <http://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/news/177107> (дата обращения 10.10.2021).

# Conceptual Model of the Architecture of a System for Collecting Data from Sensors for Monitoring the Level of Atmospheric Air Pollution Installed on the Roofs of Public Transport

T. Branzov, K. Ivanova

Institute of Mathematics and Informatics  
Bulgarian Academy of Science  
Sofia, Bulgaria

todor.branzov@gmail.com, kivanova@math.bas.bg

PhD N. V. Ivanova, V. A. Popov

Emperor Alexander I St. Petersburg  
State Transport University  
Saint Petersburg, Russia

nataliv62@gmail.com, slawapopov538@gmail.com

**Abstract.** Air pollution is one of the most important environmental problems of our time. The Smart city infrastructure offers a number of opportunities for finding solutions to specific problems related to this problem; including the task of collecting information on air pollution in different parts of the city. We propose the idea of using public transport: buses, trolleybuses, police cars, etc. which can act as mobile devices to monitor operational technologies for collecting and analysing air pollution data. This article focuses on presenting a conceptual model of the architecture of the proposed system.

**Keywords:** Smart city, air pollution, information collection, conceptual model of the architecture.

## REFERENCES

1. Air pollution, *World Health Organization*. Available at: <http://www.who.int/health-topics/air-pollution> (accessed 10 Oct 2021).
2. Air quality in Saint Petersburg — AirVisual, *IQAir*. Available at: <http://www.iqair.com/russia/st-petersburg/saint-petersburg> (accessed 10 Oct 2021).
3. Environmental quality — Ambient air [Sostoyanie okruzhayushchey sredy — Atmosfernyy vozdukh], *Ecological Portal of Saint Petersburg [Ekologicheskiy portal Sankt-Peterburga]*. Available at: <http://www.infoeco.ru/index.php?id=53> (accessed 10 Oct 2021).
4. Air quality in Sofia — AirVisual, *IQAir*. Available at: <http://www.iqair.com/bulgaria/sofia> (accessed 10 Oct 2021).
5. World Air Quality Index (AQI) Ranking — Air Visual, *IQAir*. Available at: <http://www.iqair.com/us/world-air-quality-ranking> (accessed 10 Oct 2021).
6. Ivanova K., Branzov T., Ivanova N. V. IoT on the Roofs of Municipally Governed Vehicles for Air Pollution Tracking, *Proceedings of the Workshop «Models and Methods for Researching Information Systems in Transport 2020» on the Basis of the Departments «Information and Computer Systems» and «Higher Mathematics» (MMRIST 2020), St. Petersburg, Russia, 11–12 December 11–12, 2020. CEUR Workshop Proceedings*, 2021, Vol. 2803, Pp. 172–177. DOI: 10.24412/1613-0073-2803-172-177.
7. World's Air Pollution: Real-Time Air Quality Index. Available at: <http://waqi.info> (accessed 10 Oct 2021).
8. Citizen Weather Observer Program. Available at: <http://wxqa.com> (accessed 10 Oct 2021).
9. Sensor.Community. Available at: <http://sensor.community> (accessed 10 Oct 2021).
10. Schiermeier Q. The science behind the Volkswagen emissions scandal, *Nature News*, 2015. DOI: 10.1038/nature.2015.18426.
11. Kelp M., T. Gould, E. Austin, et al. Sensitivity Analysis of Area-Wide, Mobile Source Emission Factors to High-Emitter Vehicles in Los Angeles, *Atmospheric Environment*, 2020, Vol. 223, Article No. 117212. 7 p. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2019.117212.
12. Huang Y., Mok W.-C., Yam Y.-S., et al. Evaluating In-Use Vehicle Emissions Using Air Quality Monitoring Stations and On-Road Remote Sensing Systems, *Science of the Total Environment*, 2020, Vol. 740, Article No. 139868, 10 p. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139868.
13. Lohani D., Acharya D. Real Time In-Vehicle Air Quality Monitoring Using Mobile Sensing, *Proceedings of the IEEE Annual India Conference (INDICON 2016), Bangalore, India, December 16–18, 2016*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017, Pp. 1–6. DOI: 10.1109/INDICON.2016.7839099.
14. Williams R., Kaufman A., Hanley T., et al. Evaluation of Field-Deployed Low Cost PM Sensors (EPA/600/R-14/464). Washington (DC), United States Environmental Protection Agency, 2014, 76 p.
15. Jiao W., Hagler G., Williams R., et al. Community Air Sensor Network (CAIRSENSE) project: Evaluation of Low-Cost Sensor Performance in a Suburban Environment in the Southeastern United States, *Atmospheric Measurement Techniques*, 2016, Vol. 9, Is. 11, Pp. 5281–5292. DOI: 10.5194/amt-9-5281-2016.
16. Ruohomaa H., Salminen V., Kunttu I. Towards a Smart City Concept in Small Cities, *Technology Innovation Management Review*, 2019, Vol. 9, Is. 9, Pp. 5–14. DOI: 10.22215/timreview/1264.
17. Monitoring of Atmospheric Air in St. Petersburg Was Discussed at TASS [Monitoring atmosfernogo vozdukh v Sankt Peterburge obsudili v TASS], Official website of the Administration of St. Petersburg [Administratsiya Sankt-Peterburga. Ofitsial'nyy sayt]. Published online at October 18, 2019. Available at: <http://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/news/177107> (accessed 10 Oct 2021).

# Многомерная потоковая агрегация самоподобных данных в информационной безопасности ПКФС

к.т.н. М. А. Полтавцева

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Санкт-Петербург, Россия  
poltavtseva@ibks.spbstu.ru

**Аннотация.** Анализ самоподобных процессов в различных областях, включая информационную безопасность и промышленные киберфизические системы (ПКФС), требует быстрой и эффективной обработки больших объемов данных. Периодичность и масштабируемость во времени самоподобных процессов требуют одновременного анализа данных на нескольких временных промежутках. В то же время свойство самоподобия позволяет разработать эффективные методы агрегации данных. В работе рассматривается иерархическая организация временных рядов и многомерная агрегация на основе графа связей. Оценивается эффективность предложенных методов агрегации и применимость в задачах.

**Ключевые слова:** самоподобные процессы, анализ данных, большие данные, агрегация данных, иерархическая агрегация, многомерная агрегация, информационная безопасность, безопасность киберфизических систем.

## ВВЕДЕНИЕ

Самоподобные процессы встречаются в большом количестве областей: физике, химии, информационных технологиях и других. Сегодня изучение этих процессов связано с обработкой большого количества данных (Big data). Поэтому важной задачей является эффективная агрегация и подготовка данных к анализу.

Для ряда задач также характерны требования по оперативности обработки самоподобных данных. Например, для обнаружения аномалий трафика [1–3]. В этом случае используются не только пакетные системы обработки больших данных технологии Map-Reduce. Для таких задач применяются модули потоковой обработки [4], включая компоненты агрегации больших данных.

Данная работа посвящена развитию методов агрегации данных самоподобных процессов [5] с учетом необходимости совместного анализа различных временных рядов данных на примере многомерного анализа сетевого трафика в системах обнаружения вторжений.

## АГРЕГАЦИЯ ДАННЫХ ПРИ АНАЛИЗЕ САМОПОДОБНЫХ ПРОЦЕССОВ

Неформально самоподобный (фрактальный) процесс можно определить как случайный процесс, статистические характеристики которого проявляют свойства масштабирования. Самоподобный процесс существенно не меняет вида при рассмотрении в различных масштабах по шкале времени. Для анализа самоподобных процессов используются временные ряды данных. Входными данными для систем обнаружения вторжений являются извлеченные из трафика параметры [2] или временные

ряды [2, 6]. Система подготовки данных агрегирует статистические показатели трафика на наборе заданных промежутков времени.

Математические методы понижения размерности, такие как метод главных компонент [7] и метод собственных векторов [8], не подходят в данном случае. Они позволяют выделить в данных наиболее значимые компоненты. Для такого анализа подходят данные на значительном промежутке времени. Эти математические методы не применимы для оперативного анализа.

Так, задача агрегации данных в виде временных рядов параметров на наборе заданных интервалов времени особенно актуальна для современных задач. Требованиями к агрегации данных самоподобных (фрактальных) процессов являются:

- универсальность относительно типа процесса;
- адаптивность к изменениям в числе параметров;
- адаптивность к временной глубине анализа;
- быстрдействие;
- малый объем данных на выходе;
- пригодность к потоковой обработке данных.

В соответствии с этими требованиями предлагаются методы агрегации, основанные на вложенности временных отрезков при анализе самоподобных процессов.

## ИЕРАРХИЧЕСКАЯ АГРЕГАЦИЯ ДАННЫХ САМОПОДОБНЫХ ПРОЦЕССОВ

Подход для преобразования данных во временные ряды — основной при анализе самоподобных (фрактальных) процессов [9]. Для этого данные за определенный временной промежуток группируются во «временное окно агрегации». При этом для каждого параметра  $p_i$  формируется своя очередь  $Q_i$ , содержащая  $m$  значений этого параметра (абсолютных или агрегированных).

Для того, чтобы иметь возможность анализировать данные за разные промежутки времени, введены иерархические связи между временными рядами [10]. Для этого между разными временными рядами необходимо ввести Parent-Child Relation и организовать выполнение сдвига значений внутри каждого временного промежутка для избавления от старых значений и добавления новых, а также переход значений из временных рядов с меньшим промежутком времени во временные ряды с большим промежутком.

Перед началом обработки кортежей входных данных создается иерархическая структура временных окон. Для каждого окна необходимо задать имя, параметры *TimeRange* и *TimeDelta*, и параметр *Parent* для каждого не-

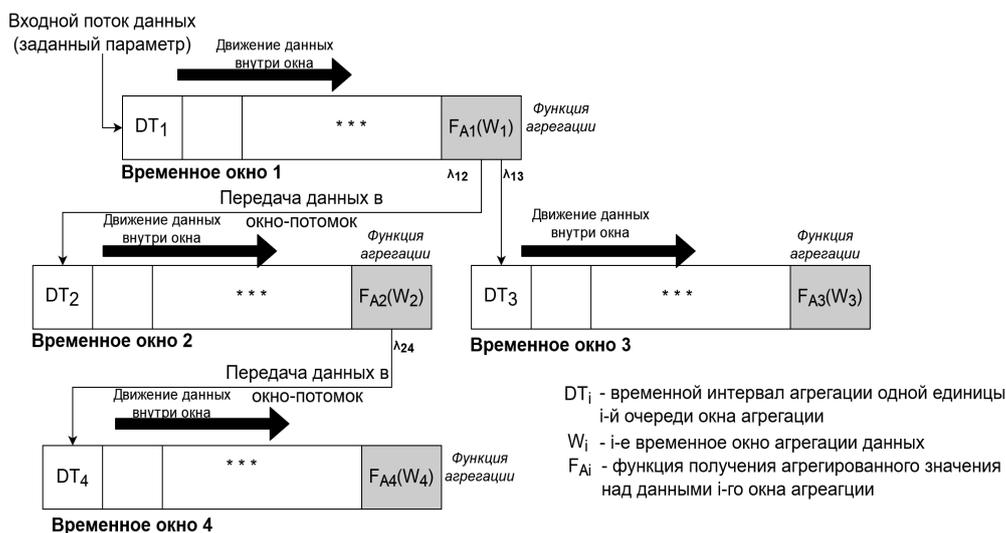


Рис. 1. Иерархическая организация временных окон

корневого окна. Параметр *TimeStart* и очереди значений изначально не инициализированы и задаются в процессе работы программы. Количество очередей (значение *N*) динамически увеличивается в процессе работы программы при появлении новых параметров в обрабатываемых данных (рис. 1).

Значение *TimeRange* должно нацело делиться на значение *TimeDelta* для корректной работы ряда. Значения начала и окончания последнего элемента в очереди могут быть соответственно получены как [*TimeStart* + *TimeRange* – *TimeDelta*; *TimeStart* + *TimeRange*].

При таком подходе последний элемент очереди (самый «новый») неполный, так как значение накапливается в нем еще до того, как будет полностью пройден его временной промежуток. Это позволяет хранить данные не только за уже прошедшие временные промежутки, но и иметь актуальную статистику о самых последних данных. Также нет необходимости хранить текущее число сдвигов родителя и число сдвигов родителя, необходимое для появления нового элемента в окне потомка.

**МНОГОМЕРНАЯ АГРЕГАЦИЯ ДАННЫХ САМОПОДОБНЫХ ПРОЦЕССОВ. ПОДХОД К МНОГОМЕРНОЙ АГРЕГАЦИИ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ СВЯЗАННЫХ ГРАФОВ**

Для более полного анализа необходима также возможность агрегации данных по нескольким параметрам. При

этом необходимо не только хранить агрегированные значения, но и сохранять связи между ними, чтобы была возможность отслеживания относительных параметров. Например, это доля пакетов, пересылаемых между двумя узлами, к общему количеству пакетов, отправляемых/принимаемых каждым из узлов. Для сохранения связей и при этом обеспечения быстрого поиска нужных данных предлагается использовать графы, или деревья.

Графовая структура представляет возможность вычисления относительных показателей в обоих направлениях или только в одну сторону — от потомка к родителю.

Узел графа ассоциирован с агрегируемыми данными. Это — агрегируемые на соответствующем уровне параметры и их значения. С точки зрения реализации, если в графе хранить сами очереди параметров, то усложняется доступ к ним. Поэтому выгоднее, как и в иерархическом подходе, хранить списки очередей и для единичных параметров, и значения для нескольких агрегированных параметров.

Доступ к данным обеспечивается ключами, содержащими параметры и их значения. В графе связей хранятся ключи и связи между ними. Таким образом, для каждого ключа поиска (параметра) можно перебрать все узлы, с которым он связан в графе. В результате будут получены ключи для всех связанных очередей параметров. Затем их относительная агрегация выполняется в любом направлении. Структура связей приведена на рисунке 2.

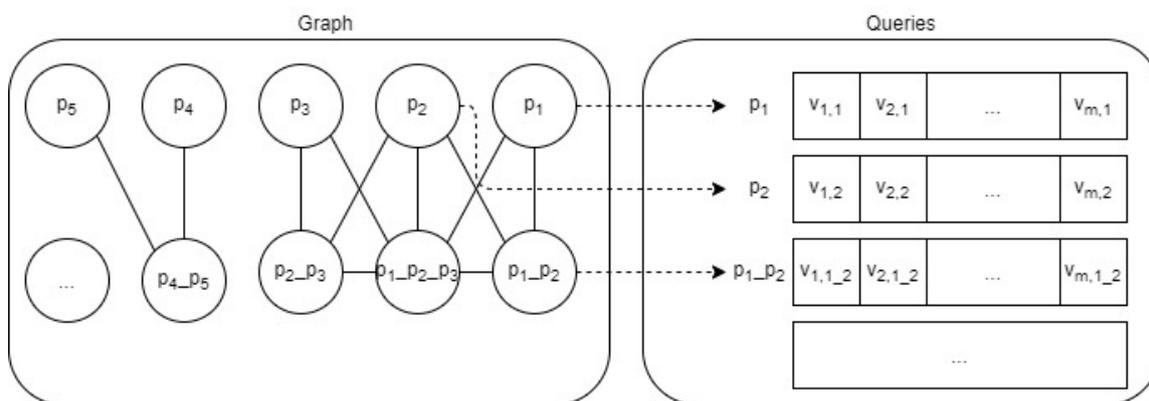


Рис. 2. Граф связей между очередями для одного временного окна агрегации

Перед началом обработки кортежей создается иерархическая структура временных окон. Для каждого окна необходимо задать имя, параметры *TimeRange* и *TimeDelta*, и параметр *Parent* для каждого некорневого окна. Параметр *TimeStart* и очереди значений изначально не инициализированы и задаются в процессе работы программы. Параметр *Graph* изначально инициализируется пустым графом. Количество очередей (значение *N*) динамически увеличивается в процессе работы программы при появлении новых параметров в обрабатываемых данных и уменьшается, если в результате временного сдвига очередь осталась пустой.

Значения начала и окончания последнего элемента в очереди могут быть соответственно получены как [*TimeStart* + *TimeRange* – *TimeDelta*; *TimeStart* + *TimeRange*). Значение *TimeRange* фиксируется так, чтобы нацело делиться на значение *TimeDelta*. Структура временного окна агрегации приведена на рисунке 3.



Рис. 3. Структура временного окна агрегации

Перед началом работы алгоритма происходит считывание конфигурационного файла, который определяет, какие параметры необходимо сохранять во временные окна.

**Преимущества подхода.**

Получение очередей необходимых параметров — быстрая процедура, так как требует лишь найти и извлечь нужную очередь в дереве. Необходимо хранить только числовые очереди параметров и один граф связей между ними на каждое временное окно. Алгоритм переноса элемента из родительского окна в окно-потомок несложен и практически не изменяется по сравнению с изначальным подходом. Последний элемент из каждой очереди окна-родителя переносится к первому элементу окна-потомка. Родительский граф соединяется с графом-потомком. В разные промежутки времени могут существовать разные узлы, и на каждом уровне можно сохранять связи только для существующих на данный момент узлов.

Внутри окна сохраняются связи во всех возможных направлениях, поэтому одного графа достаточно для построения относительных характеристик между любой парой параметров, для которых есть совместные и отдельные очереди.

**Недостатки подхода.**

Необходимо заранее знать по каким параметрам производится агрегация. Введение нового параметра требует расширения графовой структуры и перерасчета графа связей.

Общая схема работы метода, включая этап инициализации, приведена на рисунке 4.

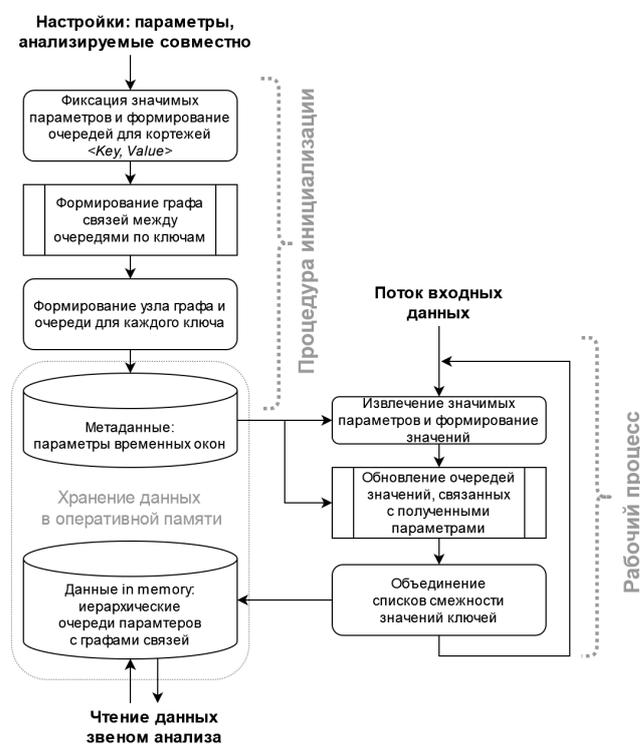


Рис. 4. Схема работы метода

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АГРЕГАЦИИ ПРИ АГРЕГАЦИИ ДАННЫХ ПКФС**

Было проведено тестирование разработанной программы на датасете, полученном в результате работы промышленной киберфизической системы (ПКФС): системы по очистке воды [11]. Данные были собраны в результате 11 дней непрерывной работы системы, в течение которых на систему производились различные атаки. Для реализации иерархической структуры использованы библиотека *anypree*, в частности, ее класс *NodeMixin*, который позволяет работать с любым классом как с узлом дерева. Для реализации хранения графа используется библиотека *networkx* и ее класс *Graph*.

Было проведено сравнение объема хранимой информации для случаев использования иерархической и обычной агрегации данных.

Для многомерной агрегации были оценены размер и характеристики графа, такие как количество узлов и ребер в графе, количество связанных компонент, количество ребер и узлов в самой большой связанной компоненте. Эти параметры напрямую влияют на скорость получения доступа к узлам графа и скорость получения всех узлов,

связанным с заданным. Это нужно для определения связей между узлами и, соответственно, очередями.

Был проведен анализ зависимости аналогичных характеристик графа от глубины вложенности агрегируемых параметров (рис. 5–8) (1 — присутствуют только одиночные параметры, 2 — присутствуют парные параметры вида  $p1\_p2$ , 3 — присутствуют тройки параметров вида  $p1\_p2\_p3$  и т. д.).

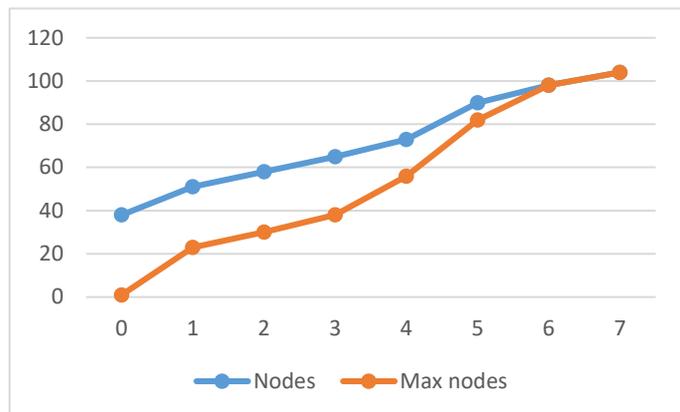


Рис. 5. Зависимость количества узлов в графе от количества пар агрегируемых параметров

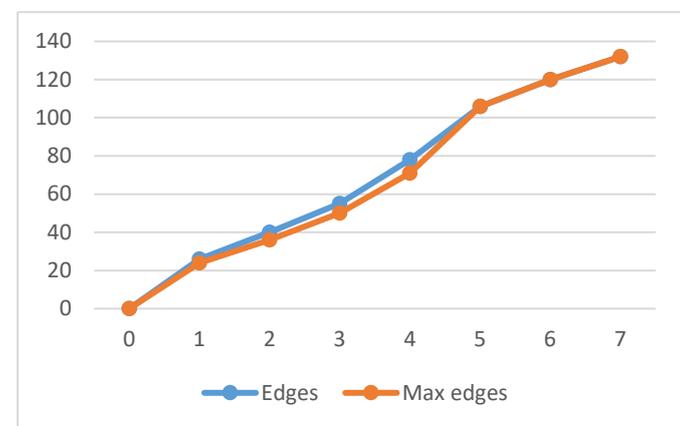


Рис. 6. Зависимость количества ребер в графе от количества пар агрегируемых параметров

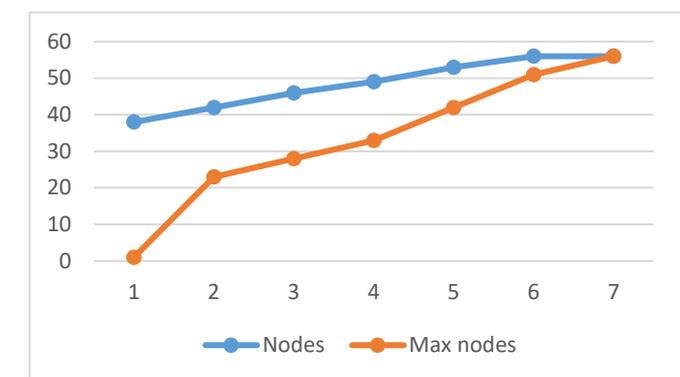


Рис. 7. Зависимость количества узлов в графе от глубины вложенности агрегируемых параметров

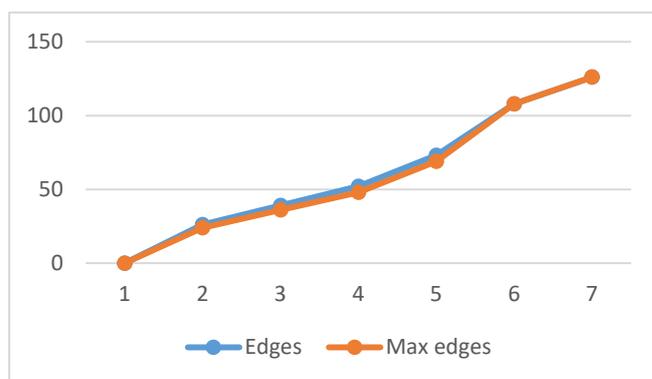


Рис. 8. Зависимость количества ребер в графе от глубины вложенности агрегируемых параметров

Если пар агрегируемых параметров больше 5 или глубина вложенности агрегируемых параметров больше 6, то узлы графа объединяются в связанную компоненту, и эффективность извлечения пар параметров ухудшается (рис. 9–10).

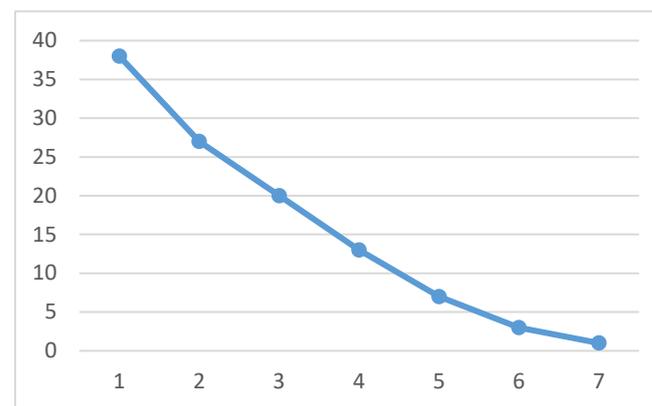


Рис. 9. Зависимость количества связанных компонент в графе от глубины вложенности параметров

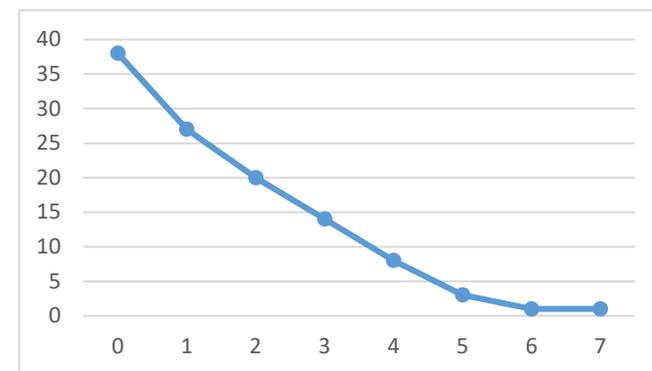


Рис. 10. Зависимость количества связанных компонент в графе от количества пар агрегируемых параметров

Был проведен анализ характеристик графа в зависимости от временного промежутка окна (рис. 11, 12). В процессе тестирования размеры окон варьировались от 10 секунд до 4 часов (14 400 секунд).

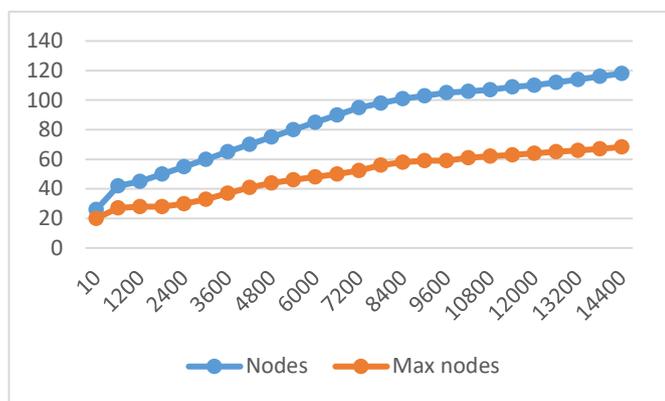


Рис. 11. Зависимость количества узлов в графе от временного промежутка окна (сек)

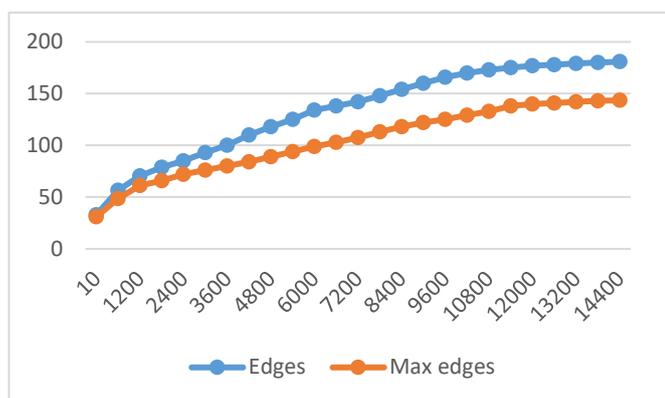


Рис. 12. Зависимость количества ребер в графе от временного промежутка окна (сек)

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Введение иерархической модели окон агрегации позволяет значительно упростить процесс формирования данных в окнах при потоковой обработке данных. Промежутки анализа могут одновременно охватывать от секунды до нескольких дней или месяцев. Проведенные тесты показали, что использование иерархической агрегации данных вместо обычной также позволяет сократить объем хранимой информации.

Дополнение модели возможностью многомерной агрегации данных по нескольким параметрам позволяет проводить более сложный анализ данных и использовать для него не только абсолютные, но и относительные, или коррелированные значения без значительных затрат.

В процессе тестирования были выявлены граничные характеристики количества независимых агрегируемых параметров и глубины вложенности агрегируемых параметров для рассматриваемых данных, а также значение размера временного окна, при котором рост графа замедляется. Эти параметры зависят от самих изначальных данных, количества уникальных значений каждого параметра, интенсивности их поступления.

Таким образом, предложенный подход позволяет агрегировать данные при анализе самоподобных процессов различного генеза. Область эффективности решения — агрегация глубиной вложенности до 5 временных промежутков и до 4 агрегируемых параметров. Такие характеристики

позволяют использовать предложенный метод для агрегации потоковых самоподобных данных ПКФС, так как указанного числа временных промежутков и пар параметров достаточно для анализа отдельного набора параметров промышленной киберфизической системы. Для несвязанных наборов параметров возможно построение нескольких графов связей, что будет более эффективным, чем объединять все наборы в один граф.

Для уменьшения влияния этих характеристик на размер графа можно изначально фиксировать не только анализируемые параметры, но и их значения (конкретные узлы, конкретные приложения, и т. д.). Тогда возможно заранее определить размер графа и иметь константную сложность определения зависимостей между узлами графа и очередями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic (Extended Version) / W. E. Leland, M. S. Taqqu, W. Willinger, D. V. Wilson // IEEE/ACM Transactions on Networking. 1994. Vol. 2, Is. 1. Pp. 1–15. DOI: 10.1109/90.282603.
2. Sheluhin, O. I. Self-Similar Processes in Telecommunications / O. I. Sheluhin, S. M. Smolskiy, A. V. Osin. — Chippingham: John Wiley & Sons Ltd, 2007. — 334 p. DOI: 10.1002/9780470062098.
3. Kleppmann, M. Designing Data-Intensive Applications: The Big Ideas Behind Reliable, Scalable, and Maintainable Systems. — Sebastopol (CA): O'Reilly Media Inc., 2017. — 616 p.
4. Lavrova, D. S. Security Analysis of Cyber-Physical Systems Network Infrastructure / D. S. Lavrova, M. A. Poltavtseva, A. A. Shtyrkina // Proceedings of the First IEEE International Conference on Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS-2018), (St. Petersburg, Russia, 15–18 May 2018). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018. — Pp. 818–823. DOI: 10.1109/ICPHYS.2018.8390812.
5. Mazzini, G. On the Aggregation of Self-Similar Processes / G. Mazzini, R. Rovatti, G. Setti // IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences. 2005. Vol. E88-A, No. 10. Pp. 2656–2663. DOI: 10.1093/ietfec/e88-a.10.2656.
6. Large-Scale Network Traffic Monitoring with DBStream, a System for Rolling Big Data Analysis / A. Bär, A. Finamore, P. Casas, [et al.] // Proceedings of the Second IEEE International Conference on Big Data (IEEE BigData 2014) (Washington, DC, USA, 27–30 October 2014). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2014. — Pp. 165–170. DOI: 10.1109/BigData.2014.7004227.
7. Pearson, K. LIII. On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space // The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science. Series 6. 1901. Vol. 2, Is. 11. Pp. 559–572. DOI: 10.1080/14786440109462720.
8. Golub, G. H. Matrix Computations. Third Edition / G. H. Golub, C. F. Van Loan. — Baltimore (MD): Johns Hopkins University Press, 1996. — 728 p.
9. Антипов, О. И. Фрактальные методы анализа и прогнозирования для самоорганизованных технических, биологических и экономических систем: автореферат дис. ... доктора физико-математических наук: 01.04.03 / Антипов Олег Игоревич; [Место защиты: Поволж. гос. ун-т телекоммуникаций и информатики]. — Самара, 2011. — 32 с.

10. Poltavtseva, M. A. The Hierarchical Data Aggregation Method in Backbone Traffic Streaming Analyzing to Ensure Digital Systems Information Security / M. A. Poltavtseva, P. D. Zegzhda, I. D. Pankov // Proceedings of the Eleventh International Conference «Management of Large-Scale System Development» (MLSD 2018) (Moscow, Russia, 01–03 October 2018). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018. — Article No. 128, 5 p.  
DOI: 10.1109/MLSD.2018.8551916.

11. A Dataset to Support Research in the Design of Secure Water Treatment Systems / J. Goh, S. Adepu, K. N. Junejo, A. Mathur // Critical Information Infrastructures Security: Revised Selected Papers of the 11th International Conference (CRITIS 2016) (Paris, France, 10–12 October 2016) / G. Havarneanu, [et al.] (eds). Lecture Notes in Computer Science. Vol. 10242. Pp. 88–99.  
DOI: 10.1007/978-3-319-71368-7\_8.

# Multidimensional Streaming Aggregation of Self-Similar Data in ICPS Information Security

PhD M. A. Poltavtseva

St. Petersburg Peter the Great Polytechnic University  
Saint Petersburg, Russia  
poltavtseva@ibks.spbstu.ru

**Abstract.** Analysis of self-similar processes in various fields, including information security and industrial cyber-physical systems (ICPS), requires fast and efficient processing of large amounts of data. The periodicity and time scalability of self-similar processes require simultaneous analysis on multiple time intervals. They also allow one to develop effective methods of data aggregation. This paper considers the hierarchical organization of time series and multidimensional aggregation based on the graph of relationships. The effectiveness of the proposed aggregation methods and their applicability to the tasks of analysis of self-similar processes in the security of industrial cyber-physical systems are evaluated.

**Keywords:** self-similar processes, data analysis, Big data, data aggregation, hierarchical aggregation, multidimensional aggregation, information security, cyber-physical systems security.

## REFERENCES

1. Leland W. E., Taquu M. S., Willinger W., Wilson D. V. On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic (Extended Version), *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 1994, Vol. 2, Is. 1, Pp. 1–15. DOI: 10.1109/90.282603.
2. Sheluhin O. I., Smol'skiy S. M., Osin A. V. Self-Similar Processes in Telecommunications. Chippenham, John Wiley & Sons Ltd, 2007, 334 p. DOI: 10.1002/9780470062098.
3. Kleppmann M. Designing Data-Intensive Applications: The Big Ideas Behind Reliable, Scalable, and Maintainable Systems. Sebastopol (CA), O'Reilly Media Inc., 2017, 616 p.
4. Lavrova D. S., Poltavtseva M. A., Shtyrkina A. A. Security Analysis of Cyber-Physical Systems Network Infrastructure, *Proceedings of the First IEEE International Conference on Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS-2018)*, St. Petersburg, Russia, May 15–18, 2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018, Pp. 818–823. DOI: 10.1109/ICPHYS.2018.8390812.
5. Mazzini G., Rovatti R., Setti G. On the Aggregation of Self-Similar Processes, *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, 2005, Vol. E88-A, No. 10, Pp. 2656–2663. DOI: 10.1093/ietfec/e88-a.10.2656.
6. Bär A., Finamore A., Casas P., et al. Large-Scale Network Traffic Monitoring with DBStream, a System for Rolling Big Data Analysis, *Proceedings of the Second IEEE International Conference on Big Data (IEEE BigData 2014)*, Washington, DC, USA, October 27–30, 2014. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2014, Pp. 165–170. DOI: 10.1109/BigData.2014.7004227.
7. Pearson K. LIII. On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space, *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science. Series 6*, 1901, Vol. 2, Is. 11, Pp. 559–572. DOI: 10.1080/14786440109462720.
8. Golub G. H., Van Loan C. F. Matrix Computations. Third Edition. Baltimore (MD), Johns Hopkins University Press, 1996, 728 p.
9. Antipov O. I. Fractal Methods of Analysis and Forecasting for Self-Organized Technical, Biological and Economic Systems [Fraktal'nye metody analiza i prognozirovaniya dlya samoorganizovannykh tekhnicheskikh, biologicheskikh i ekonomicheskikh sistem]: Abstract of the diss. on competition of a scientific degree PhD (Engin.). Samara, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics 2011, 32 p.
10. Poltavtseva, M. A., Zegzhda P. D., Pankov I. D. The Hierarchical Data Aggregation Method in Backbone Traffic Streaming Analyzing to Ensure Digital Systems Information Security, *Proceedings of the Eleventh International Conference «Management of Large-Scale System Development» (MLSD 2018)*, Moscow, Russia, October 01–03, 2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2018, Article No. 128, 5 p. DOI: 10.1109/MLSD.2018.8551916.
11. Goh J., Adepu S., Junejo K. N., Mathur A. A Dataset to Support Research in the Design of Secure Water Treatment Systems. In: *Havarneanu G., et al. (eds) Critical Information Infrastructures Security: Revised Selected Papers of the 11th International Conference (CRITIS 2016)*, Paris, France, October 10–12, 2016. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 10242. Pp. 88–99. DOI: 10.1007/978-3-319-71368-7\_8.

# Подход к оцениванию критичности элементов цепи поставок с позиций их структурного построения в условиях колебания спроса

д.т.н., проф. А. Н. Павлов

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук,  
Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского  
Санкт-Петербург, Россия  
Pavlov62@list.ru

А. Б. Умаров, к.т.н. Е. Н. Алешин

Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского  
Санкт-Петербург, Россия  
Antropicier737@gmail.com

**Аннотация.** Одним из наиболее значимых этапов построения цепей поставок является анализ критичности элементов, входящих в ее состав. При оценивании критичности функциональных элементов адаптивных цепей поставок предлагается использовать соответствующие интегральные показатели. Вводимые показатели, кроме того, позволяют вычислять структурную значимость с учетом колебания спроса, основываясь на идее параметрического генома структуры сложных систем. В настоящей статье представлены результаты оценивания значимости функциональных элементов некоторой цепи поставок при изменяющихся интенсивностях поступления заказов клиентов.

**Ключевые слова:** критичность отказа функциональных элементов, интегральный показатель, параметрический геном, сложный многорежимный объект, совместное и раздельное поступление заказов клиентов.

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящее и будущее модернизации экономики, новых взаимоотношений транспортных организаций и грузовладельцев России развиваются в направлении применения инновационных систем [1, 2]. Время, качество, безопасность, издержки стали едва ли не самыми критическими факторами в управлении транспортно-логистическими системами. По мнению авторов, необходим переход от существующих, преимущественно функциональных методов управления, к процессным, в основе которых находятся системы риск-менеджмента [3]. Для решения этой сложной проблемы необходим не только анализ процессов, но и механизмы менеджмента надежности. Обеспечение безопасности и контроля за транспортно-логистическими процессами в цепях поставок основывается на интегрированном риске, который является новым инструментом управления для транспортной сферы. Новые подходы по повышению эффективности процессов основаны на моделировании, маркировке и идентификации грузов, управлении приемлемыми рисками в транспортно-логистической системе, что способствует обеспечивать комплексную безопасность процесса транспортировки в цепях поставок [4–7].

В данных условиях актуальным становится вопрос исследования структурно-функциональных свойств цепей поставок (ЦП) с позиций рассмотрения их как сложных систем [8–10]. Постоянное усложнение структурных и функциональных особенностей ЦП приводит к распространению методов, учитывающих не только числовые значения показателей надежности функциональных элементов (ФЭ) цепей поставок (склады, заводы-изготовители, поставщики, дистрибуторы и т. д.), но и более общие оценки влияния отказов элементов на функционирование всей рассматриваемой ЦП, а именно, оценки критичности отказов ФЭ [11].

Выявление уровня (степени) критичности отказа для каждого элемента ЦП позволяет сосредоточить внимание на улучшение наиболее важных в плане функционирования ЦП узлов [12]. Критичность отказов ФЭ необходимо рассматривать как комплексное свойство, которое включает в себя несколько частных показателей: степень резервирования элемента; вероятность отказа; устойчивость функциональных элементов к внешнему воздействию; структурная значимость и т. д. [13].

Другим важным условием при решении задач оценивания, анализа и синтеза облика ЦП является необходимость учёта различных вариантов поступления заказов клиентов, которые значительным образом влияют на живучесть и структурно-функциональную надежность как отдельных элементов, так и всей ЦП в целом [11, 14–16].

В представленной статье приведены результаты исследования структурной значимости функциональных элементов цепей поставок в зависимости от характера и интенсивности поступления динамических заказов клиентов.

## МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРНОЙ ЗНАЧИМОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЦЕПИ ПОСТАВОК

Для оценивания структурной значимости элементов ЦП целесообразно воспользоваться возможностями общего логико-вероятностного метода (ОЛВМ) и программного комплекса логико-вероятностного моделирования (ПК ЛВМ) «Арбитр» [17], являющееся универсальным

графическим средством структурного представления исследуемых свойств сложных объектов.

Как правило, анализ структурно-сложных объектов начинается с построения схемы функциональной целостности (СФЦ) объекта [3]. В состав построенной схемы входят функциональные элементы (ФЭ), представляющие собой различные технологические операции, подсистемы, блоки, узлы, связи различной физической природы, элементы и т.п.

На основе СФЦ рассчитаем вероятностный полином успешного функционирования ЦП [12, 13, 17], учитывая условия совместного и раздельного поступления динамических заказов клиентов.

Пусть вероятностный полином успешного функционирования ЦП (обслуживание клиентов) имеет вид

$$\mathfrak{R}(P_1, \dots, P_n, P_{n+1}, \dots, P_{n+m}, Q_1, \dots, Q_n, Q_{n+1}, \dots, Q_{n+m}), \quad (1)$$

где  $P_i (Q_i = 1 - P_i)$ ,  $i = 1, \dots, n$  — вероятности безотказной работы (отказа) ФЭ ЦП, а  $P_{n+i} (Q_{n+i} = 1 - P_{n+i})$ ,  $i = 1, \dots, m$  будем понимать как интенсивности поступления (отсутствия) заказа клиента на рассматриваемом интервале времени, изменяющуюся в пределах от 0 до 1, и обозначим их через  $\alpha_i = P_{n+i}$ ,  $i = 1, \dots, m$ .

Основываясь на введенной ранее авторами концепции параметрического генома структуры [18] ЦП

$$\vec{\chi}(\alpha_1, \dots, \alpha_m) = (\chi_0(\alpha_1, \dots, \alpha_m), \chi_1(\alpha_1, \dots, \alpha_m), \dots, \chi_n(\alpha_1, \dots, \alpha_m))^T$$

— вектора, элементами которого являются коэффициенты вероятностного полинома (2) успешного функционирования ЦП для случая однородной структуры (равная вероятность безотказной работы ФЭ  $P_1 = P_2 = \dots = P_n = P$ )

$$\mathfrak{R}(P, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m) = \chi_0(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m) + \chi_1(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)P + \dots + \chi_n(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)P^n, \quad (2)$$

рассчитаем показатели структурно-функциональной надежности для однородной и неоднородной структуры ЦП по формулам (3) [18, 19].

$$F_{\text{однор}}(\vec{\chi}(\alpha_1, \dots, \alpha_m)) = \int_0^1 \mathfrak{R}(P, \alpha_1, \dots, \alpha_m) dP = \vec{\chi}(\alpha_1, \dots, \alpha_m) \times \left(1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \dots, \frac{1}{n+1}\right)^T,$$

$$F_{\text{неоднор}}(\vec{\chi}(\alpha_1, \dots, \alpha_m)) = \vec{\chi}(\alpha_1, \dots, \alpha_m) \times \left(1, \frac{1}{2}, \frac{1}{2^2}, \dots, \frac{1}{2^n}\right)^T, \quad (3)$$

$$F_{\text{однорвозм}}(\vec{\chi}(\alpha_1, \dots, \alpha_m)) = \sup_{\gamma \in [0,1]} \min\{\gamma, G(\{\mu | \mathfrak{R}(\mu, \alpha_1, \dots, \alpha_m) \geq \gamma\})\}.$$

Для оценивания структурной значимости ФЭ вычислим полином (4) с учетом динамически изменяющихся интенсивностей поступления заказов клиентов и назовем его полиномом значимости. Полученный полином вычисляется путем дифференцирования вероятностного полинома успешного функционирования ЦП по коэффициенту готовности (вероятности безотказной работы)  $i$ -го элемента [17].

$$\xi_i(P_1, \dots, P_n, \alpha_1, \dots, \alpha_m) = \frac{\partial \mathfrak{R}(P_1, \dots, P_n, \alpha_1, \dots, \alpha_m)}{\partial P_i} = \mathfrak{R}(P_1, \dots, P_n, \alpha_1, \dots, \alpha_m) |_{P_i = 1} - \mathfrak{R}(P_1, \dots, P_n, \alpha_1, \dots, \alpha_m) |_{P_i = 0}. \quad (4)$$

Тогда каждому полиному значимости

$\xi_i(P_1, \dots, P_n, \alpha_1, \dots, \alpha_m)$  ( $\forall i = 1, \dots, n$ ) можно поставить в соответствие параметрический геном  $\vec{\chi}^i(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)$ , подстановка которых в формулы (3) позволяет вычислять значимости функциональных элементов однородных и неоднородных цепей поставок.

Нетрудно заметить, что структурная значимость ФЭ ЦП зависит от характера и интенсивности поступления динамических заказов клиентов [20, 21]. Получаем, что кроме раздельного или совместного поступления заказов, интенсивности поступления могут быть равноценными ( $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_m = \alpha$ ) или неравноценными. Для рассматриваемых в примере четырех вариантов поступления динамических заказов клиентов, используя предложенный в работах [11, 17] подход, для оценивания структурной значимости ФЭ ЦП введем следующие интегральные показатели (5)–(8):

$$J_{pp} = m \times \int_0^1 F_* (\vec{\chi}_p(\alpha)) d\alpha, \quad (5)$$

$$J_{cp} = \int_0^1 F_* (\vec{\chi}_c(\alpha)) d\alpha, \quad (6)$$

$$J_{pn} = m! \times \iiint_{\substack{\alpha_1 + \dots + \alpha_m \leq 1 \\ 0 \leq \alpha_i \leq 1, i=1, \dots, m}} F_* (\vec{\chi}_p(\alpha_1, \dots, \alpha_m)) d\alpha_1 d\alpha_2 \dots d\alpha_m, \quad (7)$$

$$J_{cn} = \int_0^1 \int_0^1 \dots \int_0^1 F_* (\vec{\chi}_c(\alpha_1, \dots, \alpha_m)) d\alpha_1 d\alpha_2 \dots d\alpha_m. \quad (8)$$

Интегральные показатели (5) и (6) предназначены для оценивания структурной значимости ФЭ однородной и неоднородной ЦП при соответственно раздельном и совместном поступлении равноценных по интенсивности заказов клиентов, а показатели (7) и (8) — при соответственно раздельном и совместном поступлении неравноценных по интенсивности заказов. Легко понять, что в качестве подынтегральной функции  $F_*$  в формулах (5)–(8) могут быть использованы  $F_{\text{однор}}$ ,  $F_{\text{неоднор}}$  или  $F_{\text{однорвозм}}$  для соответствующих параметрических геномов  $\vec{\chi}_p(\alpha)$ ,  $\vec{\chi}_c(\alpha)$ ,  $\vec{\chi}_p(\alpha_1, \dots, \alpha_m)$ ,  $\vec{\chi}_c(\alpha_1, \dots, \alpha_m)$ .

Здесь  $\vec{\chi}_p(\alpha) = \vec{\chi}_p^i(\alpha)$ ,  $\vec{\chi}_c(\alpha) = \vec{\chi}_c^i(\alpha)$ ,  $\vec{\chi}_p(\alpha_1, \dots, \alpha_m) = \vec{\chi}_p^i(\alpha_1, \dots, \alpha_m)$ ,  $\vec{\chi}_c(\alpha_1, \dots, \alpha_m) = \vec{\chi}_c^i(\alpha_1, \dots, \alpha_m)$  ( $\forall i = 1, \dots, n$ ) соответственно параметрические геномы структурной значимости функциональных элементов адаптивной цепи поставок при несовместном (раздельном) поступлении равноценных по интенсивности заказов клиентов, при совместном поступлении равноценных по интенсивности заказов, при раздельном поступлении неравноценных по интенсивности заказов, при совместном поступлении неравноценных по интенсивности заказов клиентов.

#### ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ВЫРАЖЕНИЙ В ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЯХ ДЛЯ УПРОЩЕННОГО ОЦЕНИВАНИЯ СТРУКТУРНОЙ ЗНАЧИМОСТИ ФЭ ЦП

Для вычисления значений интегральных показателей структурной значимости функциональных элементов с учетом характера и интенсивности поступления динамических заказов клиентов воспользуемся формулами (5)–(8). Обозначим параметрический геном полинома значимости рассматриваемого элемента для случая равноценных (неравноценных) по интенсивности поступлений заказов клиентов через  $\vec{\chi}(\alpha)$  ( $\vec{\chi}(\alpha_1, \dots, \alpha_m)$ ). При этом для однородной или неоднородной структуры в качестве  $F_*$  в формулах (5)–(8) используем либо

$$F_*(\vec{\chi}(\alpha_1, \dots, \alpha_m)) = \vec{\chi}(\alpha_1, \dots, \alpha_m) \times \left(1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \dots, \frac{1}{n+1}\right)^T,$$

$$F_*(\vec{\chi}(\alpha)) = \vec{\chi}(\alpha) \times \left(1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \dots, \frac{1}{n+1}\right)^T,$$

либо

$$F_*(\vec{\chi}(\alpha_1, \dots, \alpha_m)) = \vec{\chi}(\alpha_1, \dots, \alpha_m) \times \left(1, \frac{1}{2}, \frac{1}{2^2}, \dots, \frac{1}{2^n}\right)^T,$$

$$F_*(\vec{\chi}(\alpha)) = \vec{\chi}(\alpha) \times \left(1, \frac{1}{2}, \frac{1}{2^2}, \dots, \frac{1}{2^n}\right)^T.$$

Применение полинома успешного функционирования цепи поставок (1) позволяет получать параметрические генномы как всей ЦП, так и значимостей ее ФЭ. Необходимо отметить, что выражение (1) имеет вид полинома [17], мономы которого включают переменные со степенью либо 1, либо 0. Подынтегральная функция в таком случае в самом общем виде может быть представлена следующим образом (9):

$$F_*(\vec{\chi}(\alpha_1, \dots, \alpha_m)) = \beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i \alpha_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=i+1}^m \beta_{ij} \alpha_i \alpha_j +$$

$$+ \sum_{i=1}^m \sum_{j=i+1}^m \sum_{k=j+1}^m \beta_{ijk} \alpha_i \alpha_j \alpha_k + \dots + \beta_{12\dots m} \alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_m. \quad (9)$$

Используя полученное равенство (9), получим упрощенные выражения интегральных показателей структурной значимости ФЭ однородной или неоднородной ЦП.

Тогда, как видно из рассуждений, формулы (5), (6) и (8) примут следующий вид:

$$J_{pp} = m \times \int_0^{1/m} F_*(\vec{\chi}(\alpha)) d\alpha = m \times \int_0^{1/m} \left(\beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i \alpha + \sum_{i=1}^m \sum_{j=i+1}^m \beta_{ij} \alpha^2 + \dots + \beta_{12\dots m} \alpha^m\right) d\alpha =$$

$$= \frac{\beta_0}{m^0 \times 1} + \frac{\sum_{i=1}^m \beta_i}{m \times 2} + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=i+1}^m \beta_{ij}}{m^2 \times 3} + \dots + \frac{\beta_{12\dots m}}{m^m \times (m+1)},$$

$$J_{cp} = \int_0^1 F_*(\vec{\chi}(\alpha)) d\alpha = \int_0^1 \left(\beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i \alpha + \sum_{i=1}^m \sum_{j=i+1}^m \beta_{ij} \alpha^2 + \dots + \beta_{12\dots m} \alpha^m\right) d\alpha =$$

$$= \frac{\beta_0}{1} + \frac{\sum_{i=1}^m \beta_i}{2} + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=i+1}^m \beta_{ij}}{3} + \dots + \frac{\beta_{12\dots m}}{(m+1)},$$

$$J_{cn} = \int_0^1 \int_0^1 \dots \int_0^1 F_*(\vec{\chi}(\alpha_1, \dots, \alpha_m)) d\alpha_1 d\alpha_2 \dots d\alpha_m =$$

$$= \int_0^1 \int_0^1 \dots \int_0^1 \left(\beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i \alpha_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=i+1}^m \beta_{ij} \alpha_i \alpha_j + \dots + \beta_{12\dots m} \alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_m\right) d\alpha_1 d\alpha_2 \dots d\alpha_m =$$

$$= \frac{\beta_0}{2^0} + \frac{\sum_{i=1}^m \beta_i}{2^1} + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=i+1}^m \beta_{ij}}{2^2} + \dots + \frac{\beta_{12\dots m}}{2^m}.$$

Упростив выражение (7), получим

$$J_{pn} = m! \times \iiint_{\substack{\alpha_1 + \dots + \alpha_m \leq 1 \\ 0 \leq \alpha_i \leq 1, i=1, \dots, m}} F_*(\vec{\chi}_p(\alpha_1, \dots, \alpha_m)) d\alpha_1 d\alpha_2 \dots d\alpha_m =$$

$$= m! \times \iiint_{\substack{\alpha_1 + \dots + \alpha_m \leq 1 \\ 0 \leq \alpha_i \leq 1, i=1, \dots, m}} \left(\beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i \alpha_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=i+1}^m \beta_{ij} \alpha_i \alpha_j + \dots + \beta_{12\dots m} \alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_m\right) d\alpha_1 d\alpha_2 \dots d\alpha_m = \frac{\beta_0}{1} + \frac{\sum_{i=1}^m \beta_i}{m+1} +$$

$$+ \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=i+1}^m \beta_{ij}}{(m+1) \times (m+2)} + \dots + \frac{\beta_{12\dots m}}{(m+1) \times (m+2) \times \dots \times (m+m)}.$$

В данном  $m$ -кратном интеграле значение интеграла от любого одночлена, состоящего из  $k \leq m$  различных переменных и входящего в полином (9), является величиной постоянной, равной

$$m! \times \iiint_{\substack{\alpha_1 + \dots + \alpha_m \leq 1 \\ 0 \leq \alpha_i \leq 1, i=1, \dots, m}} \alpha_{i_1} \times \alpha_{i_2} \times \dots \times \alpha_{i_k} d\alpha_1 d\alpha_2 \dots d\alpha_m = m! \times$$

$$\times \int_0^1 \alpha_1 d\alpha_1 \int_0^{1-\alpha_1} \alpha_2 d\alpha_2 \dots \int_0^{1-\alpha_1-\dots-\alpha_{k-1}} \alpha_k d\alpha_k \int_0^{1-\alpha_1-\dots-\alpha_k} d\alpha_{k+1} \dots \int_0^{1-\alpha_1-\dots-\alpha_{m-1}} d\alpha_m.$$

Если проинтегрировать данный одночлен по переменным  $\alpha_{k+1}, \alpha_{k+2}, \dots, \alpha_m$ , получаем следующее выражение:

$$\frac{m!}{1 \times 2 \times \dots \times (m-k)} \times \int_0^1 \alpha_1 d\alpha_1 \int_0^{1-\alpha_1} \alpha_2 d\alpha_2 \dots$$

$$\dots \int_0^{1-\alpha_1-\dots-\alpha_{k-1}} (1 - \alpha_1 - \dots - \alpha_k)^{m-k} \times \alpha_k d\alpha_k.$$

Нетрудно заметить, что последний интеграл этого выражения равен

$$\int_0^{1-\alpha_1-\dots-\alpha_{k-1}} (1 - \alpha_1 - \dots - \alpha_k)^{m-k} \times \alpha_k d\alpha_k =$$

$$= \frac{(1 - \alpha_1 - \dots - \alpha_{k-1})^{m-k+2}}{(m-k+1) \times (m-k+2)}.$$

Значит, в результате получаем

$$m! \times \iiint_{\substack{\alpha_1 + \dots + \alpha_m \leq 1 \\ 0 \leq \alpha_i \leq 1, i=1, \dots, m}} \alpha_{i_1} \times \alpha_{i_2} \times \dots \times \alpha_{i_k} d\alpha_1 d\alpha_2 \dots d\alpha_m =$$

$$= \frac{m!}{m! \times (m+1) \times (m+2) \times \dots \times (m+k-2)} \times$$

$$\times \int_0^1 (1 - \alpha_1)^{m+k-2} \times \alpha_1 d\alpha_1 =$$

$$= \frac{1}{(m+1) \times (m+2) \times \dots \times (m+k)}.$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ ЗНАЧИМОСТИ ФЭ ЦП ПРИ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ИНТЕНСИВНОСТЯХ ПОСТУПЛЕНИЯ ЗАКАЗОВ КЛИЕНТОВ

Вычислим структурную значимость элементов некоторой адаптивной цепи поставок в условиях динамически изменяющихся заказов клиентов. В настоящей статье будем использовать результаты, полученные в работе [11], а именно: в качестве функциональных элементов, как уже указывалось выше, в цепях поставок могут выступать дистрибуторы, склады, заводы-производители, провайдеры, поставщики и др. Схема функциональной целостности не-

которой ЦП с учетом различных вариантов поступления динамических заказов клиентов представлена на рисунке 1.

Необходимо отметить, что в представленной СФЦ вершины 1–10 отражают работоспособность (вероятность безотказной работы) ФЭ рассматриваемой ЦП, вершины 11–14 отражают интенсивности поступления динамических заказов клиентов (либо могут интерпретироваться как вероятности поступления заказов клиентов), а вершины 15–33 являются фиктивными и описывают логические взаимосвязи элементов цепи поставок.

Используя ПК ЛВМ «Арбитр» [17], для СФЦ ЦП получим два полинома, отражающих вероятность ее успешного функционирования (10):

$$\mathfrak{R}_c(P_1, \dots, P_{10}, P_{11}, \dots, P_{14}, Q_1, \dots, Q_{10}, Q_{11}, \dots, Q_{14}),$$

$$\mathfrak{R}_p(P_1, \dots, P_{10}, P_{11}, \dots, P_{14}, Q_1, \dots, Q_{10}, Q_{11}, \dots, Q_{14}), \quad (10)$$

где  $\mathfrak{R}_p(P_1, \dots, P_{10}, P_{11}, \dots, P_{14}, Q_1, \dots, Q_{10}, Q_{11}, \dots, Q_{14})$  — функция вероятности удовлетворения заказов клиентов, представляющих собой группу несовместных событий (ГНС);  $\mathfrak{R}_c(P_1, \dots, P_{10}, P_{11}, \dots, P_{14}, Q_1, \dots, Q_{10}, Q_{11}, \dots, Q_{14})$  — функция вероятности удовлетворения заказов клиентов, не являющихся ГНС;  $P_i(Q_i), i = 1, \dots, 10$  — вероятности безотказной работы (отказа) ФЭ ЦП;  $P_{10+i}(Q_{10+i}), i = 1, \dots, 4$  — интенсивности поступления динамических заказов клиентов.

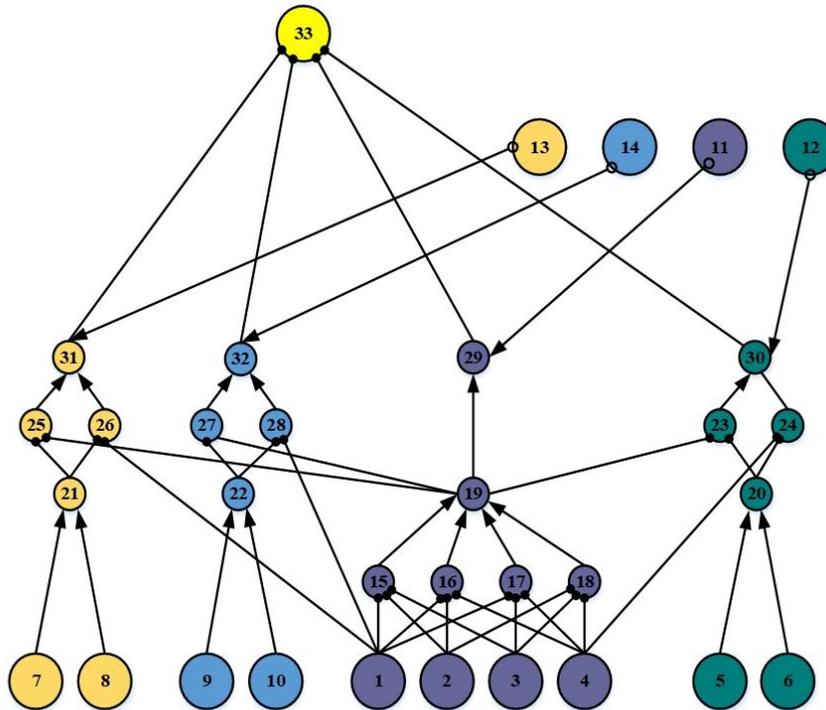


Рис. 1. Схема функциональной целостности рассматриваемой цепи поставок

Вычислим полиномы (9) для неоднородной ( $F_{неоднор}(\vec{\chi}_c^i(\alpha_1, \dots, \alpha_4)), F_{неоднор}(\vec{\chi}_p^i(\alpha_1, \dots, \alpha_4))$ ) и однородной ( $F_{однор}(\vec{\chi}_c^i(\alpha_1, \dots, \alpha_4)), F_{однор}(\vec{\chi}_p^i(\alpha_1, \dots, \alpha_4))$ ) структуры ЦП, определив для каждого  $i$ -го функционального элемента полином значимости по формуле (4) для случаев наличия и отсутствия ГНС среди поступающих заказов клиентов и соответствующие им параметрические геномы  $\vec{\chi}_c^i(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4), \vec{\chi}_p^i(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4)$ .

Тогда, например, для ФЭ, представленного на СФЦ вершиной 1, искомые полиномы будут иметь следующий вид:

$$F_{однор}(\vec{\chi}_c^1(\alpha_1, \dots, \alpha_4)) = 0,25\alpha_1 + 0,066667\alpha_2 + 0,433333\alpha_3 + 0,433333\alpha_4 - 0,11667\alpha_1\alpha_2 - 0,48333\alpha_1\alpha_3 - 0,48333\alpha_1\alpha_4 - 0,46429\alpha_2\alpha_3 - 0,13095\alpha_2\alpha_4 - 0,55357\alpha_3\alpha_4 + 0,482143\alpha_1\alpha_2\alpha_3 + 0,14881\alpha_1\alpha_2\alpha_4 + 0,577381\alpha_1\alpha_3\alpha_4 + 0,386508\alpha_2\alpha_3\alpha_4 - 0,40079\alpha_1\alpha_2\alpha_3\alpha_4,$$

$$F_{неоднор}(\vec{\chi}_c^1(\alpha_1, \dots, \alpha_4)) = 0,375\alpha_1 + 0,09375\alpha_2 + 0,65625\alpha_3 + 0,65625\alpha_4 - 0,1875\alpha_1\alpha_2 - 0,75\alpha_1\alpha_3 - 0,75\alpha_1\alpha_4 - 0,5\alpha_2\alpha_3 - 0,4375\alpha_2\alpha_4 - 0,82031\alpha_3\alpha_4 + 0,523438\alpha_1\alpha_2\alpha_3 + 0,460938\alpha_1\alpha_2\alpha_4 + 0,851563\alpha_1\alpha_3\alpha_4 + 0,5625\alpha_2\alpha_3\alpha_4 - 0,57617\alpha_1\alpha_2\alpha_3\alpha_4,$$

$$F_{однор}(\vec{\chi}_p^1(\alpha_1, \dots, \alpha_4)) = 0,25\alpha_1 + 0,066667\alpha_2 + 0,433333\alpha_3 + 0,433333\alpha_4,$$

$$F_{неоднор}(\vec{\chi}_c^1(\alpha_1, \dots, \alpha_4)) = 0,375\alpha_1 + 0,09375\alpha_2 + 0,65625\alpha_3 + 0,65625\alpha_4.$$

Результаты исследования структурной значимости ФЭ ЦП при раздельном (с учетом ГНС) и совместном (без учета ГНС) поступлении равноценных или неравноценных по интенсивности заказов клиентов однородной или неоднородной структуры ЦП приведены в таблице 1 и на рисунке 2.

Значения структурной значимости ФЭ ЦП

Номера ФЭ ЦП	Совместное поступление заказов				Раздельное поступление заказов			
	Неравноценные		Равноценные		Неравноценные		Равноценные	
	Однор.	Неоднор.	Однор.	Неоднор.	Однор.	Неоднор.	Однор.	Неоднор.
1	0,20794	0,29309	0,16617	0,22656	0,23667	0,35625	0,14792	0,22266
2	0,13008	0,17224	0,11119	0,14160	0,09000	0,13125	0,05625	0,08203
3	0,12860	0,17126	0,11000	0,14082	0,09000	0,13125	0,05625	0,08203
4	0,16895	0,23157	0,13927	0,18438	0,16333	0,24375	0,10208	0,15234
5	0,04878	0,07166	0,04474	0,06322	0,03667	0,05625	0,02292	0,03516
6	0,04878	0,07166	0,04474	0,06322	0,03667	0,05625	0,02292	0,03516
7	0,04998	0,07556	0,04508	0,06517	0,03667	0,05625	0,02292	0,03516
8	0,05146	0,07654	0,04627	0,06595	0,03667	0,05625	0,02292	0,03516
9	0,04998	0,07556	0,04508	0,06517	0,03667	0,05625	0,02292	0,03516
10	0,05146	0,07654	0,04627	0,06595	0,03667	0,05625	0,02292	0,03516

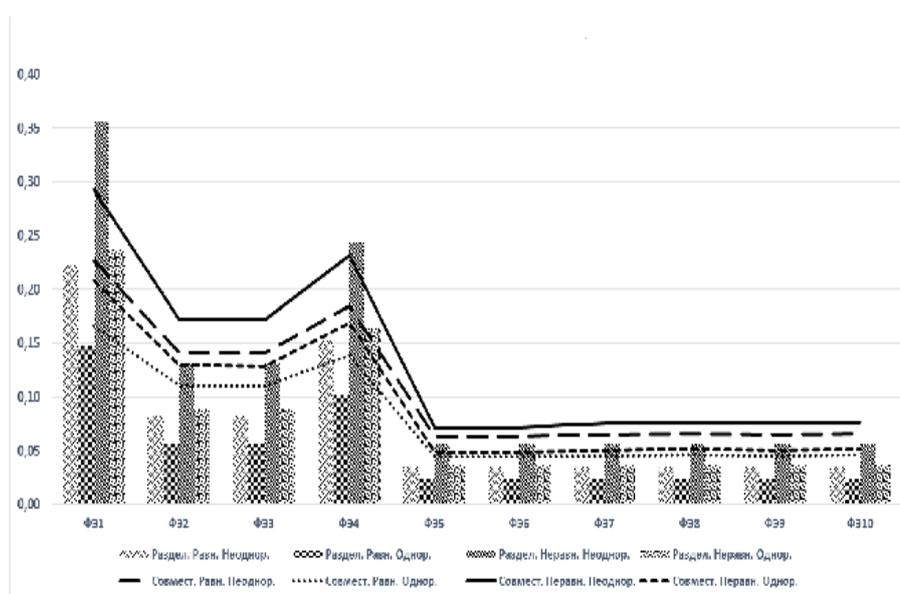


Рис. 2. Структурная значимость ФЭ ЦП в условиях колебания спроса

Анализ результатов вычисления структурной значимости ФЭ ЦП дает возможность сделать следующие выводы.

Независимо от характера и интенсивностей поступления заказов наибольшей структурной значимостью обладают первые четыре элемента, а максимальное значение показателей их значимости при этом достигается при раздельном поступлении неравноценных по интенсивности заказов, когда рассматриваемая цепь поставок состоит из неоднородных по вероятности безотказной работы ФЭ. Остальные ФЭ ЦП обладают приблизительно равной значимостью, существенно отличающейся от значимостей элементов 1–4.

Кроме того, приняв значение показателя структурной значимости ФЭ1 за 1, при совместном поступлении заказов клиентов, независимо от равенственности поступления заказов и однородности структуры ЦП, структурная значимость остальных ФЭ будет иметь следующие доли от этого значения: для ФЭ4 0,79–0,84, для ФЭ2 и ФЭ3 — 0,59–0,67, для прочих составит приблизительно 0,23–0,29. А в случае поступления заказов клиентов, представляющих собой

ГНС: для ФЭ4 она составляет 0,68–0,69, для ФЭ2 и ФЭ3 — 0,37–0,38, для прочих — около 0,15. Это говорит о том, что при совместном поступлении динамических заказов клиентов при достижении цели функционирования цепи поставок – удовлетворения заказов клиентов, структурная значимость первых четырех функциональных элементов становится более однородной, в то время как для других она возрастает в два раза в отличие от варианта поступления заказов клиентов, представляющих собой ГНС.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Для вычисления структурной значимости функциональных элементов некоторой цепи поставок был определен полином значимости для каждого отдельно взятого ФЭ как результат дифференцирования вероятностного полинома успешного функционирования ЦП по переменной, характеризующей вероятность безотказной работы данного элемента. Основываясь на концепции параметрического генома и используя выведенные формулы расчета структурно-функциональной надежности ЦП, получены выражения для показателей структурной значимости ФЭ

ЦП, которые отражают вклады в структурно-функциональную надежность ЦП при переводе элементов из неработоспособного состояния в работоспособное с учетом колебания спроса. Наконец, рассмотрен пример исследования структурной значимости функциональных элементов адаптивной цепи поставок в условиях динамических заказов клиентов.

Анализ результатов, полученных в настоящей статье, позволяет сделать вывод о значительном влиянии изменения интенсивностей и характера поступления заказов клиентов на значения интегральных показателей структурной значимости ФЭ ЦП, что предопределяет необходимость учета таких изменений при дальнейших исследованиях структурно-функциональных свойств ЦП.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Villegas, F. A. Supply Chain Dynamics: Analysis of Inventory vs. Order Oscillations Trade-Off / F. A. Villegas, N. R. Smith // *International Journal of Production Research*. 2006. Vol. 44, Is. 6. Pp. 1037–1054. DOI: 10.1080/00207540500338203.
2. Quantifying the Bullwhip Effect in a Simple Supply Chain: The Impact of Forecasting, Lead Times, and Information / F. Chen, Z. Drezner, J. K. Ryan, D. Simchi-Levi // *Management Science*. 2000. Vol. 46, No. 3. Pp. 436–443. DOI: 10.1287/mnsc.46.3.436.12069.
3. Fox, M. S. Agent-Oriented Supply Chain Management System / M. S. Fox, M. Barbuceanu, R. Teigen // *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*. 2000. Vol. 12, No. 2. Pp. 165–188. DOI: 10.1023/A:1008195614074.
4. Ivanov, D. A. Exact and Heuristic Methods for Integrated Supply Chain Design Reliability Analysis / D. A. Ivanov, A. N. Pavlov, B. V. Sokolov // *International Journal of Integrated Supply Management*. 2016. Vol. 10, Is. 2. Pp. 206–224. DOI: 10.1504/IJISM.2016.077075.
5. Иванов, Д. А. Неопределенность и риски в цепях поставок: классификация проблем и направления будущих исследований / Д. А. Иванов, М. А. Иванова // *Российский журнал менеджмента*. 2015. Т. 13, № 2. С. 99–128.
6. Ivanov, D. A. Adaptive Supply Chain Management / D. A. Ivanov, B. V. Sokolov. — London: Springer-Verlag, 2010. — 301 p. DOI: 10.1007/978-1-84882-952-7.
7. Rabelo, R. J. Multi-Agent System for Smart Coordination of Dynamic Supply Chains / R. J. Rabelo, A. A. Pereira-Klen, E. R. Klen // *Collaborative Business Ecosystems and Virtual Enterprises: Proceedings of the Third Working Conference on Infrastructures for Virtual Enterprises (PRO-VE'2002), (Sesimbra, Portugal, 01–03 May 2002)* / L. M. Camarinha-Matos (ed.) // IFIP — The International Federation for Information Processing. Vol. 85. — Boston (MA): Springer, 2002. — Pp. 379–386. DOI: 10.1007/978-0-387-35585-6\_41.
8. Baghalian, A. Robust Supply Chain Network Design with Service Level Against Disruptions and Demand Uncertainties: A Real-Life Case / A. Baghalian, S. Rezapour, R. Z. Farahani // *European Journal of Operational Research*. 2013. Vol. 227, Is. 1. Pp. 199–215. DOI: 10.1016/j.ejor.2012.12.017.
9. Acar, Y. A Decision Support Framework for Global Supply Chain Modelling: An Assessment of the Impact of Demand, Supply and Leadtime Uncertainties on Performance / Y. Acar, S. N. Kadipasaoglu, P. Schipperijn // *International Journal of Production Research*. 2010. Vol. 48, Is. 11. Pp. 3245–3268. DOI: 10.1080/00207540902791769.
10. Daganzo, C. F. On the Stability of Supply Chains // *Operations Research*. 2004. Vol. 52, No. 6. Pp. 909–921. DOI: 10.1287/opre.1040.0147.
11. Structural and Functional Analysis of Supply Chain Reliability in the Presence of Demand Fluctuations / A. N. Pavlov, D. A. Ivanov, V. N. Vorotyagin, A. B. Umarov // *Models and Methods for Researching Information Systems in Transport: Proceedings of the Workshop on the Basis of the Departments «Information and Computer Systems» and «Higher Mathematics» Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (MMRIST 2020), (St. Petersburg, Russia, 11–12 December 2020)*. CEUR Workshop Proceeding. 2021. Vol. 2803. Pp. 61–66. DOI: 10.24412/1613-0073-2803-61-66.
12. Системный анализ организационно-технических систем космического назначения: Учебник / Е. Н. Алешин, С. В. Зиновьев, Е. В. Копкин, [и др.]; под общ. ред. А. Н. Павлова. — Санкт-Петербург: ВКА имени А. Ф. Можайского, 2018. — 370 с.
13. Jafari, M. Optimal Redundant Sensor Configuration for Accuracy Increasing in Space Inertial Navigation System // *Aerospace Science and Technology*. 2015. Vol. 47. Pp. 467–472. DOI: 10.1016/j.ast.2015.09.017.
14. Lin, C.-C. Build-To-Order Supply Chain Network Design Under Supply and Demand Uncertainties / C.-C. Lin, T.-H. Wang // *Transportation Research Part B: Methodological*. 2011. Vol. 45, Is. 8. Pp. 1162–1176. DOI: 10.1016/j.trb.2011.02.005.
15. Goh, M. A Stochastic Model for Risk Management in Global Chain Networks / M. Goh, J. Y. S. Lim, F. Meng // *European Journal of Operational Research*. 2007. Vol. 182, Is. 1. Pp. 164–173. DOI: 10.1016/j.ejor.2006.08.028.
16. A Multi-Objective Stochastic Programming Approach for Supply Chain Design Considering Risk / A. Azaron, K. N. Brown, S. A. Tarim, M. Modarres // *International Journal of Production Economics*. 2008. Vol. 116, Is. 1. Pp. 129–138. DOI: 10.1016/j.ijpe.2008.08.002.
17. Dynamic Modelling and Classical Control Theory for Supply Chain Management / E. Perea Lopez, I. Grossmann, E. Ydstie, T. Tahmassebi // *Computers and Chemical Engineering*. 2000. Vol. 24, Is. 2–7. Pp. 1143–1149. DOI: 10.1016/S0098-1354(00)00495-6.
18. Применение общего логико-вероятностного метода для анализа технических, военных организационно-функциональных систем и вооруженного противоборства: Монография / В. И. Поленин, И. А. Рябинин, С. К. Свиринов, И. А. Гладкова; под ред. А. С. Можаяева. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургское региональное отделение РАЕН, 2011. — 416 с.
19. Kopytov, E. A. New Methods of Calculating the Genome of Structure and the Failure Criticality of the Complex Objects' Elements / E. A. Kopytov, A. N. Pavlov, V. A. Zelentsov // *Transport and Telecommunication*. 2010. Vol. 11, No. 4. Pp. 4–13.
20. Hybrid Fuzzy-Probabilistic Approach to Supply Chain Resilience Assessment / A. N. Pavlov, D. A. Ivanov, A. B. Dolgui, B. V. Sokolov // *IEEE Transactions on Engineering Management*. 2018. Vol. 65, Is. 2. Pp. 303–315. DOI: 10.1109/TEM.2017.2773574.
21. Blackhurst, J. An Empirically Derived Framework of Global Supply Resiliency / J. Blackhurst, K. S. Dunn, C. W. Craighead // *Journal of Business Logistics*. 2011. Vol. 32, Is. 4. Pp. 374–391. DOI: 10.1111/j.0000-0000.2011.01032.x.

# Study of Structural Significance of Supply Chain Elements with Variable Order Rate

Grand PhD, Prof. A. N. Pavlov  
St. Petersburg Federal Research Center  
of the Russian Academy of Sciences,  
Mozhaisky Military Space Academy  
Saint Petersburg, Russia  
Pavlov62@list.ru

A. B. Umarov, PhD Ye. N. Aleshin  
Mozhaisky Military Space Academy  
Saint Petersburg, Russia  
Antropicier737@gmail.com

**Abstract.** One of the most significant stages of building a supply chain is the analysis of the criticality of the elements that make up it. When assessing the criticality of functional elements of adaptive supply chains, it is proposed to use the corresponding integral indicators. The introduced indicators, in addition, allow calculating the structural significance taking into account fluctuations in demand, based on the idea of a parametric genome of the structure of complex systems. This article presents the results of evaluating the significance of the functional elements of a certain supply chain with varying intensities of customer orders.

**Keywords:** criticality of failure of elements, integral indicator, parametric genome, complex multi-mode object, joint and separate receipt of customer orders.

## REFERENCES

1. Villegas F. A., Smith N. R. Supply Chain Dynamics: Analysis of Inventory vs. Order Oscillations Trade-Off, *International Journal of Production Research*, 2006, Vol. 44, Is. 6, Pp. 1037–1054. DOI: 10.1080/00207540500338203.
2. Chen F., Drezher Z., Ryan K., Simchi-Levi D. Quantifying the Bullwhip Effect in a Simple Supply Chain: The Impact of Forecasting, Lead Times, and Information, *Management Science*, 2000, Vol. 46, No. 3, Pp. 436–443. DOI: 10.1287/mnsc.46.3.436.12069.
3. Fox M. S., Barbuceanu M., Teigen R. Agent-Oriented Supply Chain Management System, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 2000, Vol. 12, No. 2, Pp. 165–188. DOI: 10.1023/A:1008195614074.
4. Ivanov D. A., Pavlov A. N., Sokolov B. V. Exact and Heuristic Methods for Integrated Supply Chain Design Reliability Analysis, *International Journal of Integrated Supply Management*, 2016, Vol. 10, Is. 2, Pp. 206–224. DOI: 10.1504/IJISM.2016.077075.
5. Ivanov D. A., Ivanova M. A. Uncertainty and Risks in Supply Chains: Problem Classification and Future Research Avenues [Neopredelennost' i riski v tsepyakh postavok: klassifikatsiya problem i napravleniya budushchikh issledovaniy], *Russian Management Journal [Rossiyskiy zhurnal menedzhmenta]*, 2015, Vol. 13, No. 2, Pp. 99–128.
6. Ivanov D. A., Sokolov B. V. Adaptive Supply Chain Management. London, Springer-Verlag, 2010, 301 p. DOI: 10.1007/978-1-84882-952-7.
7. Rabelo R. J., Pereira-Klen A. A., Klen E. R. Multi-Agent System for Smart Coordination of Dynamic Supply Chains. In: *Camarinha-Matos L. M. (ed.) Collaborative Business Ecosystems and Virtual Enterprises: Proceedings of the Third Working Conference on Infrastructures for Virtual Enterprises (PRO-VE'2002), Sesimbra, Portugal, May 01–03, 2002. IFIP — The International Federation for Information Processing*, Vol. 85. Boston (MA), Springer, 2002, Pp. 379–386. DOI: 10.1007/978-0-387-35585-6\_41.
8. Baghalian A., Rezapour S., Farahani R. Z. Robust Supply Chain Network Design with Service Level Against Disruptions and Demand Uncertainties: A Real-Life Case, *European Journal of Operational Research*, 2013, Vol. 227, Is. 1, Pp. 199–215. DOI: 10.1016/j.ejor.2012.12.017.
9. Acar Y., Kadipasaoglu S. N., Schipperijn P. A Decision Support Framework for Global Supply Chain Modelling: An Assessment of the Impact of Demand, Supply and Leadtime Uncertainties on Performance, *International Journal of Production Research*, 2010, Vol. 48, Is. 11, Pp. 3245–3268. DOI: 10.1080/00207540902791769.
10. Daganzo C. F. On the Stability of Supply Chains, *Operations Research*, 2004, Vol. 52, No. 6, Pp. 909–921. DOI: 10.1287/opre.1040.0147.
11. Pavlov A. N., Pavlov D. A., Vorotyagin V. N., Umarov A. B. Structural and Functional Analysis of Supply Chain Reliability in the Presence of Demand Fluctuations, *Models and Methods for Researching Information Systems in Transport: Proceedings of the Workshop on the Basis of the Departments «Information and Computer Systems» and «Higher Mathematics» Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (MMRIST 2020), Saint Petersburg, Russia, December 11–12, 2020. CEUR Workshop Proceeding*, 2021, Vol. 2803, Pp. 61–66. DOI: 10.24412/1613-0073-2803-61-66.
12. Aleshin E. N., Zinovyev S. V., Kopkin E. V., et al. System analysis of organizational and technical systems for space application: Textbook [Sistemnyy analiz organizatsionno-tehnicheskikh sistem kosmicheskogo naznacheniya: Uchebnik]. Saint Petersburg, Mozhaisky Military Space Academy, 2018, 370 p.
13. Jafari M. Optimal Redundant Sensor Configuration for Accuracy Increasing in Space Inertial Navigation System, *Aerospace Science and Technology*, 2015, Vol. 47, Pp. 467–472. DOI: 10.1016/j.ast.2015.09.017.

14. Lin C.-C., Wang T.-H. Build-To-Order Supply Chain Network Design Under Supply and Demand Uncertainties, *Transportation Research Part B: Methodological*, 2011, Vol. 45, Is. 8, Pp. 1162–1176. DOI: 10.1016/j.trb.2011.02.005.

15. Goh M., Lim J. Y. S., Meng F. A Stochastic Model for Risk Management in Global Chain Networks, *European Journal of Operational Research*, 2007, Vol. 182, Is. 1, Pp. 164–173. DOI: 10.1016/j.ejor.2006.08.028.

16. Azaron A., Brown K. N., Tarim S. A., Modarres M. A Multi-Objective Stochastic Programming Approach for Supply Chain Design Considering Risk, *International Journal of Production Economics*, 2008, Vol. 116, Is. 1, Pp. 129–138. DOI: 10.1016/j.ijpe.2008.08.002.

17. Perea Lopez E., Grossmann I., Ydstie E., Tahmassebi T. Dynamic Modelling and Classical Control Theory for Supply Chain Management, *Computers and Chemical Engineering*, 2000, Vol. 24, Is. 2–7, Pp. 1143–1149. DOI: 10.1016/S0098-1354(00)00495-6.

18. Polenin V. I., Ryabinin I. A., Svirin S. K., Gladkova I. A. Application of the general logical-probabilistic method for the analysis of technical, military organizational-functional systems and armed confrontation: Monography [Primenenie obshchego logiko-veroyatnostnogo metoda dlya analiza tekhnicheskikh, voennykh organizatsionno-funktsional'nykh sistem i vooruzhennogo protivoborstva: Monografiya]. Saint Petersburg, St. Petersburg Regional Department of the Russian Academy of Natural Sciences, 2011, 416 p.

19. Kopytov E. A., Pavlov A. N., Zelentsov V. A. New Methods of Calculating the Genome of Structure and the Failure Criticality of the Complex Objects' Elements, *Transport and Telecommunication*, 2010, Vol. 11, No. 4, Pp. 4–13.

20. Pavlov A. N., Ivanov D. A., Dolgui A. B., Sokolov B. V. Hybrid Fuzzy-Probabilistic Approach to Supply Chain Resilience Assessment, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2018, Vol. 65, Is. 2, Pp. 303–315. DOI: 10.1109/TEM.2017.2773574.

21. Blackhurst J., Dunn K. S., Craighead C. W. An Empirically Derived Framework of Global Supply Resiliency, *Journal of Business Logistics*, 2011, Vol. 32, Is. 4, Pp. 374–391. DOI: 10.1111/j.0000-0000.2011.01032.x.

# О живучести объектов инфраструктуры в Арктике при пожарах

к.т.н. А. Д. Ищенко, Андрей А. Таранцев  
Академия Государственной противопожарной службы  
МЧС России  
Москва, Россия  
adinko@mail.ru, dask\_cradle@mail.ru

д.т.н., проф. Александр А. Таранцев  
Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН,  
Санкт-Петербургский университет Государственной  
противопожарной службы МЧС России  
Санкт-Петербург, Россия  
t\_54@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы обеспечения устойчивости при пожарах объектов инфраструктуры в северных широтах. Показан риск выхода из строя различных модулей (жилых, складских, хозяйственных, энергообеспечивающих и др.) при пожарах и влияние этого на целевые функции и персонал объектов. Введено понятие живучести арктических объектов в случае пожаров и сформулированы основные показатели живучести. Обоснована необходимость максимально оперативного сдерживания и тушения пожаров на вышеуказанных объектах с целью обеспечения необходимого уровня их живучести.

**Ключевые слова:** арктические объекты, инфраструктура, пожар, живучесть.

## ВВЕДЕНИЕ

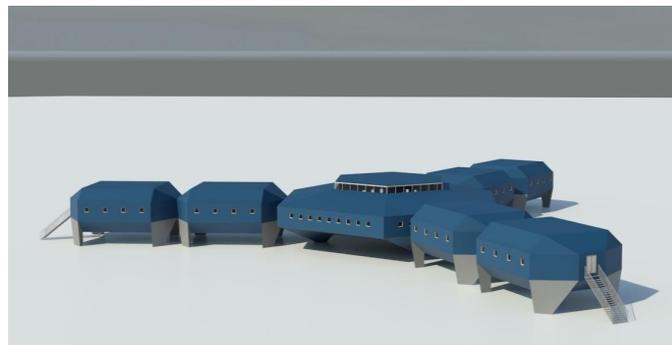
Современный этап развития нашей страны предполагает интенсивное развитие Арктической Зоны (АЗ) и

районов Крайнего Севера (КС). Следствием этого является необходимость создания устойчивой транспортной инфраструктуры — реконструкции и строительства морских и речных портов, аэропортов, наземных транспортных магистралей и др. [1–3]. Предполагается создание в АЗ и на КС сети различных объектов — метеостанций, систем связи, исследовательских станций, энергообъектов и др.

Крайне тяжелые условия Арктики и Севера (низкие температуры, ветра, снежные заносы, вечная мерзлота) предполагают модульность структуры объектов (рис. 1), что позволяет ее развивать и наращивать модулями различного функционального назначения — жилыми, складскими, административными, производственными, энергообеспечивающими и др.



а)



б)

Рис. 1. Модульные объекты в АЗ

а — действующий с цилиндрическими универсальными блоками (ЦУБ), б — проектируемый с октагонными модулями

Арктические модули различного функционального назначения имеют две общих особенности:

а) высокую энергонасыщенность (отношение обращаемой мощности к объему, на порядок большую, чем аналогичные помещения в умеренном климате);

б) пониженную огнестойкость [3, 4].

Этим во многом объясняется статистика пожаров и аварийных ситуаций на начало XXI века, представленная на рисунке 2, характеризующаяся высоким риском повреждения модулей и находящихся в них оборудования и материальных ценностей [5–7].

Особенностью пожара в арктическом модуле является быстрый рост опасных факторов (ОФП) [4] ввиду ограниченности объема и его высокой энергонасыщенности. Тушение пожара с применением известной тактики [8] звеньями газодымозащитной службы (ГДЗС) осложняется:

– низкими температурами наружного воздуха и исключительной сложностью использования воды [9];

– невозможностью оказания оперативной помощи извне ввиду ограниченной транспортной доступности (большие расстояния между объектами, снежные заносы, нелетная погода и т. п.) и удаленности от крупных

населенных пунктов и Арктических спасательных центров (АСЦ) МЧС России;

– ограниченным количеством персонала (каждый член персонала обязан владеть несколькими дополни-

тельными специальностями, в том числе пожарного и парамедика).

В результате пожар может привести к значительному ущербу [10] вплоть до потери функционального назначения объекта и угрозе его персоналу (рис. 3).

Аварии и ЧС	В процентном соотношении	
Обрушения и пожары жилых и административных зданий	21%	39%
Взрывы и пожары технологического оборудования	18%	39%
Транспортные аварии	25%	32%
Аварии на коммунальных сетях и системах жизнеобеспечения	7%	15%
Аварии с выбросом токсичных веществ и АХОВ	8%	12%
Аварии на трубопроводах	4%	8%

Рис. 2. Данные об аварийности на объектах АЗ России

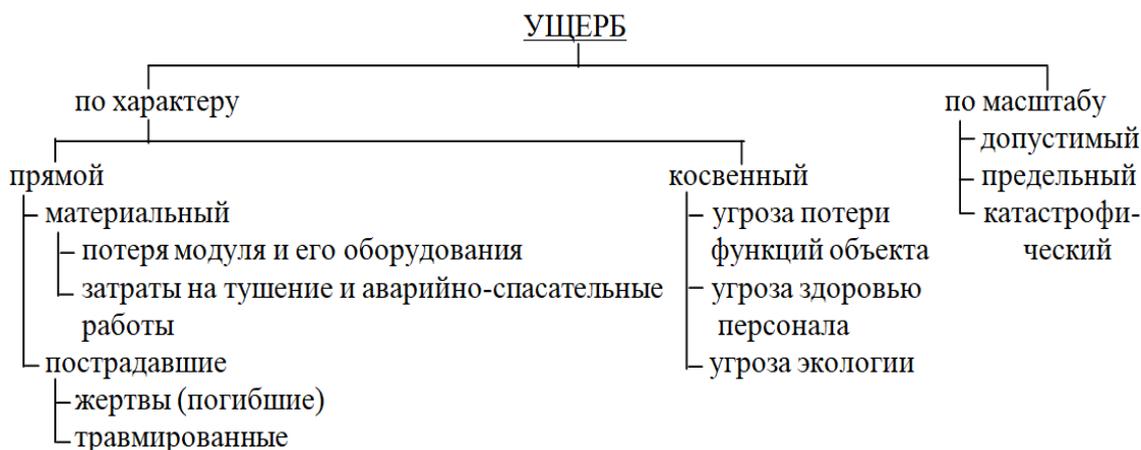


Рис. 3. Структура ущерба при пожаре на модульном арктическом объекте

Это ставит задачу разработки принципиально нового способа сдерживания и тушения пожара в модуле, не требующего применения воды и использования дорогостоящей пожарной техники арктического исполнения. Также важными требованиями являются высокая оперативность (модуль может быть невозвратно поврежден через несколько минут свободного развития пожара) и безопасность для участников тушения.

**СПОСОБ СДЕРЖИВАНИЯ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРА В МОДУЛЕ, НЕ ТРЕБУЮЩИЙ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДЫ И ДОРОГОСТОЯЩЕЙ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ АРКТИЧЕСКОГО ИСПОЛНЕНИЯ**

С участием автора статьи такой способ был предложен, обоснован и запатентован [11, 12]. Сущность его в том, что модуль снабжен в торце встроенным вентилятором, который в исходном положении закрыт люком, а другой нормально закрытый люк находится в противоположном торце модуля. При возникновении пожара люки вскрываются и включается вентилятор, продувая объем модуля наружным низкотемпературным воздухом. Это приводит к резкому снижению среднеобъем-

ной температуры, срыву пламени, удалению продуктов горения из модуля, замедлению горения и сдерживанию тем самым пожара. Прибывшие пожарные проникают в модуль со стороны вентилятора и осуществляют тушение первичными средствами пожаротушения (ПСПТ) под защитой низкотемпературной струи: как показали расчеты и эксперимент, из промежутка между очагом пожара и вентилятором ОФП будут удалены [13, 14], пожарные смогут работать даже без средств защиты органов дыхания и зрения. Для ускорения тушения другими участниками тушения снаружи на вентилятор может дозированно подаваться снег, а при положительных температурах — распыленная вода. Фактически это является новой тактикой тушения пожаров в модулях арктических объектов.

В качестве пояснения в таблицах 1–3 приведены сравнительные эффекты тушения пожаров известными и предложенными способами на примере некоторых типов модулей — жилого, хозяйственного и энергообеспечивающего.

Таблица 1

Сравнительный эффект применения новой тактики тушения жилого модуля

Условия возгорания	Тушение	Ущерб	Влияние на объект (%)
Персонал в бодрствующем состоянии	Применение ПСПТ, прибытие отделения дежурной смены	Незначительный, требуется мелкий ремонт	Незначительное (до 5%)
	Применение ПСПТ, включение системы продува		
Персонал отсутствует, сработала АПС	Прибытие отделения дежурной смены, тушение звеньями ГДЗС, АСР	Значительный, выход модуля из строя	Среднее, нужно переселять людей (15-20%)
	Включение системы продува, ликвидация горения силами отделения дежурной смены	Незначительный, требуется мелкий ремонт	Незначительное (до 5%)
Люди в состоянии сна	Возможно отравление продуктами горения, тушение звеньями ГДЗС, проведение АСР	Требуется медицинская помощь, выход модуля из строя	Значительное, часть специалистов потеряна, требуется срочная медпомощь (50-80%)
	Включение системы продува, эвакуация, ликвидация горения силами отделения дежурной смены	Незначительный, требуется мелкий ремонт, жертв нет	Незначительное (до 5%)

Таблица 2

Сравнительный эффект применения новой тактики тушения при пожаре в пищеблоке

Условия возгорания	Тушение	Ущерб	Влияние на объект (%)
КЗ в электрооборудовании варочного цеха	Применение персоналом ПСПТ, тушение звеньями ГДЗС	Средний, требуется ремонт модуля, ремонт (замена) оборудования	Средний, временный переход на сухпак (20-30%)
	Включение системы продува, ликвидация горения силами отделения дежурной смены	Незначительный, требуется мелкий ремонт, основное оборудование сохранено	Незначительное, сдвиг графика питания (до 15%)
Продуктовый склад без постоянных рабочих мест	Прибытие отделения дежурной смены, тушение звеньями ГДЗС, проведение АСР	Часть продуктов испорчена, выход склада из строя	Значительное, перебой в питании, требуется подвоз продуктов (50-70%)
	Включение системы продува, АСР, ликвидация горения силами отделения дежурной смены	Незначительный, продукты сохранены, требуется мелкий ремонт	Незначительное (до 15%)

Таблица 3

Сравнительный эффект применения новой тактики тушения энергомодуля

Условия возгорания	Тушение	Ущерб	Влияние на объект (%)
КЗ в электрошите, кабельном хозяйстве	Отключение электрооборудования, применение ПСПТ персоналом, тушение и проведение АСР звеньями ГДЗС	Значительный, требуется ремонт или замена оборудования, частичный выход модуля из строя	Частичная потеря функций из-за обесточивания объекта, ухудшение отопления (40-60%)
	Отключение электрооборудования, включение системы продува, ликвидация горения силами отделения дежурной смены	Незначительный, требуется мелкий ремонт, модуль сохранен	Незначительное, временный перебой в электроснабжении (до 10%)
Утечка и воспламенение топлива	Угроза вспышки или взрыва, отключение подачи топлива, применение ПСПТ персоналом, тушение и проведение АСР звеньями ГДЗС	Значительный, требуется ремонт или замена оборудования, частичный выход модуля из строя	Временное обесточивание объекта (30-50%)
	Отключение подачи топлива, включение системы продува, ликвидация горения силами отделения дежурной смены	Незначительный, требуется мелкий ремонт, модуль сохранен	Незначительное, временный перебой в электроснабжении (до 10%)
Плановый или внеплановый ремонт, сварочные работы	Отключение электрооборудования, применение ПСПТ, тушение и проведение АСР звеньями ГДЗС	Значительный, требуется ремонт или замена оборудования, частичный выход модуля из строя	Временное обесточивание объекта (30-50%)
	Отключение подачи топлива, включение системы продува, ликвидация горения силами отделения дежурной смены	Незначительный, требуется мелкий ремонт, модуль сохранен	Незначительное, временный перебой в электроснабжении (до 10%)

С учетом вышеизложенного представляется целесообразным ввести новое понятие — «живучесть модульного арктического объекта при пожаре». По аналогии с известной формулировкой адмирала С. О. Макарова «живучесть корабля — способность корабля вести бой при повреждении противником некоторых его частей» можно предложить следующую формулировку: «живучесть модульного арктического объекта при пожаре — способность объекта выполнять свои функции при повреждении пожаром некоторых его модулей».

При этом влияние пожара на живучесть арктического объекта может быть (см. таблицы 1–3):

- незначительным (объект не утратил основных целевых функций, персонал практически не пострадал);
- предельным (некоторые функции объекта частично утрачены и могут быть восстановлены своими силами, пострадало незначительное количество персонала);
- катастрофическим (объект утратил свое функциональное назначение, которое может быть восстановлено только после оказания помощи извне, существует угроза жизни и здоровью персонала, есть жертвы).

Живучесть арктического объекта будет во многом зависеть от двух факторов: а) в модуле какого функционального назначения произошел пожар и находится ли там персонал в бодрствующем состоянии; б) насколько большой ущерб причинен модулю. Количественно живучесть модульного арктического объекта при пожаре может быть оценена тремя показателями: вероятностью  $p_{\phi}$  выполнения своих функций, временем  $t_{\text{в}}$  восстановления функций и числом пострадавших  $N_{\text{п}}$ .

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе изложены особенности конструкции и условий функционирования объектов инфраструктуры в АЗ и на КС; приведен принципиально новый тактический прием сдерживания и тушения пожара путем продувки объема модуля наружным низкотемпературным воздухом с последующим проникновением пожарных в модуль и безопасной работой там, а также с дозированной подачей снега для ускорения тушения; показано критическое влияние пожара в энергомодуле на функциональные возможности объекта и безопасность его персонала; введено и обосновано новое понятие «живучести арктического объекта».

В дальнейшем планируется более подробно осветить данные вопросы и сформулировать рекомендации проектировщикам модульных арктических объектов и должностным лицам, отвечающим за пожарную и общую безопасность таких объектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Инфраструктура Сибири, Дальнего Востока и Арктики: состояние и три этапа развития до 2050 года / А. А. Макоско, В. В. Цыганов, И. Г. Малыгин, [и др.]; под ред. чл.-корр. РАН А. А. Макоско. — Санкт-Петербург: Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН, 2019. — 465 с.
2. Чижков, Ю. В. Пути совершенствования транспортного обеспечения Арктической зоны Российской Федерации. — Санкт-Петербург: Сезам-принт, 2017. — 122 с.
3. Таранцев, А. А. Арктика. Пожары. Транспорт: Монография / Ал-др А. Таранцев, Анд. А. Таранцев. —

Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России, 2021. — 166 с.

4. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021 № 117-ФЗ): принят Государственной думой 04 июля 2008 года: одобрен Советом Федерации 04 июля 2008 года.

5. Крымский, В. В. Система риск-контроллинга, ориентированная на конкурентное развитие промышленного предприятия / В. В. Крымский, А. Е. Панков // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2013. Вып. 6-1(185). С. 275–278.

6. Об утверждении Методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404 (с изм. и доп. от 14.12.2010 № 649).

7. Об утверждении Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности: приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 (с изм. и доп. от 02.12.2015 № 632).

8. Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ: приказ МЧС России от 16.10.2017 № 444 (с изм. и доп. 28.02.2020 № 129).

9. История развития технических средств борьбы с пожарами в условиях низких температур / М. В. Алешков, М. Д. Безбородько, И. А. Ольховский, О. В. Двоенко // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25, № 11. С. 77–83. DOI: 10.18322/PVВ.2016.25.11.77-83.

10. Крымский, В. В. О построении функции ущерба / В. В. Крымский, А. Д. Ищенко, А. А. Таранцев // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 4 (56). С. 54–59.

11. Патент № 2714272 Российская Федерация, МПК А62С 3/00 (2006.01). Способ тушения пожара в помещении в условиях низких температур и устройство для его реализации: № 2018109002: заявл. 13.03.2018: опубл. 13.02.2020 / Таранцев Ал-др А., Таранцев Анд. А.; заявитель ФГОУ ВО «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России». — 12 с.

12. Патент № 2747410 Российская Федерация, МПК А62С 3/00 (2006.01). Способ повышения эффективности тушения пожара в модуле: № 2020126126: заявл. 05.08.2020: опубл. 04.05.2021 / Ищенко А. Д., Таранцев Ал-др А., Таранцев Анд. А. — 9 с.

13. О способе подавления пожара на объектах Северного морского пути, в том числе на энергообъектах / Ал-др А. Таранцев, А. Д. Ищенко, Анд. А. Таранцев, А. П. Горохов // Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 4 (42), Т. 4. С. 202–207.

14. Таранцев, А. А. Обоснование инновационного способа тушения пожара на объектах инфраструктуры в условиях низких температур / Ал-др А. Таранцев, А. Д. Ищенко, Анд. А. Таранцев // Морские интеллектуальные технологии. 2021. №1 (51), Т. 1. С. 84–89. DOI: 10.37220/МІТ.2021.51.1.012.

# On the Survivability of Infrastructure Facilities in the Arctic During Fires

PhD A. D. Ishchenko, Andrey A. Tarantsev  
The State Fire Academy of EMERCOM of Russia  
Moscow, Russia  
adinko@mail.ru, dask\_cradle@mail.ru

Grand PhD, Prof. Alexander A. Tarantsev  
Solomenko Institute of Transport Problems of the RAS,  
Saint-Petersburg University of State Fire Service  
of EMERCOM of Russia  
Saint Petersburg, Russia  
t\_54@mail.ru

**Abstract.** The issues of ensuring stability during fires of infrastructure facilities in northern latitudes are considered. The risk of failure of various modules (residential, warehouse, household, energy supply, etc.) in case of fires and the impact of this on the target functions and personnel of objects is shown. The concept of survivability of Arctic objects in the event of fires is introduced and the main indicators of survivability are formulated. The necessity of maximum operational containment and extinguishing of fires at the above-mentioned objects in order to ensure the necessary level of their survivability is justified.

**Keywords:** arctic objects, infrastructure, fire, survivability.

## REFERENCES

1. Makosko A. A., Tsyganov V. V., Malygin I. G., et al. Infrastructure of Siberia, the Far East and the Arctic. Status and Three Stages of Development Until 2050 [Infrastruktura Sibiri, Dal'nego Vostoka i Arktiki: sostoyanie i tri etapa razvitiya do 2050 goda]. St. Petersburg, Solomenko Institute of Transport Problems of the RAS, 2019, 465 p.
2. Chizhkov Yu. V. Ways to improve transport support for the Arctic zone of the Russian Federation [Puti sovershenstvovaniya transportnogo obespecheniya Arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii]. St. Petersburg, Sezam-Print Publishing House, 2017, 122 p.
3. Tarantsev Aleksandr A., Tarantsev Andrey A., The Arctic. Fires. Transport: Monography [Arktika. Pozhary. Transport: Monografiya]. St. Petersburg, Saint Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2021, 166 p.
4. Technical Regulations on Fire Safety Requirements: Federal Law [Tekhnicheskiiy reglament o trebovaniyakh pozharnoy bezopasnosti: Federal'nyy zakon] from July 22, 2008 No. 123-FZ (last ed. April 30, 2021 No. 117-FZ).
5. Krinskiy V. V., Pankov A. E. System of Risk Controlling, Focused on the Competitive Development of Industrial Enterprises [Sistema risk-kontrollinga, orientirovannaya na konkurentnoe razvitie promyshlennogo predpriyatiya], *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics [Nauchno-tehnicheskije vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheskije nauki]*, 2013, Is. 6-1 (185), Pp. 275–278.
6. On Approval of the Methodology for Determining the Calculated Values of Fire Risk at Production Facilities: Order of EMERCOM of Russia [Ob utverzhdenii Metodiki opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennykh ob'ektakh: prikaz MChS Rossii] from July 10, 2009 No. 404 (last ed. December 14, 2010 No. 649).
7. On Approval of the Methodology for Determining the Calculated Values of Fire Risk in Buildings, Structures and Fire Compartments of Various Classes of Functional Fire Hazard: Order of EMERCOM of Russia [Ob utverzhdenii Metodiki opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska v zdaniyakh, sooruzheniyakh i pozharnykh otekakh razlichnykh klassov funktsional'noy pozharnoy opasnosti: prikaz MChS Rossii] from June 30, 2009 No. 382 (last ed. December 02, 2015 No. 632).
8. On Approval of the Combat Regulations of Fire Protection Units Which Determines the Procedure for Organizing Fire Extinguishing and Conducting Emergency Rescue Operations: Order of EMERCOM of Russia [Ob utverzhdenii Boevogo ustava podrazdeleniy pozharnoy okhrany, opredelyayushchego poryadok organizatsii tusheniya pozharov i provedeniya avariyno-spatatel'nykh rabot] from October 16, 2017 No. 444 (last ed. February 28, 2020 No. 129).
9. Aleshkov M. V., Bezborodko M. D., Olkhovskiy I. A., Dvoenko O. V. History of the Development of Technical Means to Fight Fire, Adapted for Work at Low Temperatures [Istoriya razvitiya tekhnicheskikh sredstv bor'by s pozharami v usloviyakh nizkikh temperatur], *Fire and Explosion Safety [Pozharovzryvobezopasnost']*, 2016, Vol. 25, No. 11, Pp. 77–83. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.77-83.
10. Krymsky V. V., Ishchenko A. D., Tarantsev A. A. About Constructing the Damage Function [O postroenii funktsii ushcherba], *Problems of Technosphere Risk Management [Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere]*, 2020, No. 4 (56), Pp. 54–59.
11. Tarantsev Aleksandr A., Tarantsev Andrey A. Method of Fire Extinguishing in Room in Conditions of Low Temperatures and Device for Implementation Thereof [Sposob tusheniya pozhara v pomeshchenii v usloviyakh nizkikh temperatur i ustroystvo dlya ego realizatsii], patent RU No. 2714272, published at February 13, 2020, 12 p.
12. Ishchenko A. D., Tarantsev Aleksandr A., Tarantsev Andrey A. Method for Increasing Efficiency of Fire Extinguishing in Module [Sposob povysheniya effektivnosti tusheniya pozhara v module], patent RU No. 2747410, published at May 04, 2021, 9 p.

13. Tarantsev Alexander A., Ishchenko A. D., Tarantsev Andrey A., Gorokhov A. P. On the Method of Suppression a Fire at the Facilities of Northern Seaway, Including Power Facilities [O sposobe podavleniya pozhara na ob"ektakh Severnogo morskogo puti, v tom chisle na energoob"ektakh], *Marine Intellectual Technologies [Morskie intellektual'nye tekhnologii]*, 2018. No. 4 (42), Vol. 4, Pp. 202–207.

14. Tarantsev Alexander A., Ishchenko A. D., Tarantsev Andrey A. On the Justification of an Innovative Method of Extinguishing a Fire at Infrastructure Facilities in Low Temperature Conditions [Obosnovanie innovatsionnogo sposoba tusheniya pozhara na ob"ektakh infrastruktury v usloviyakh nizkikh temperatur], *Marine Intellectual Technologies [Morskie intellektual'nye tekhnologii]*, 2021. No. 1 (51), Vol. 1, Pp. 84–89. DOI: 10.37220/MIT.2021.51.1.012.

# Экосистемы квантовых вычислений и перспективы использования их на транспорте

П. В. Поликарпов

ООО «Абакус»  
Санкт-Петербург, Россия  
p.polikarpov@abacus.spb.ru

Н. К. Уваров

Санкт-Петербургский информационно-  
вычислительный центр  
Санкт-Петербург, Россия  
nick553@mail.ru

д.т.н. А. Д. Хомоненко

Петербургский государственный  
университет путей сообщения  
Императора Александра I  
Санкт-Петербург, Россия  
khomon@mail.ru

**Аннотация.** Представлен обзор современных экосистем программного обеспечения, позволяющих производить квантовые вычисления. Выделены отличия экосистем квантовых вычислений (ЭКВ) от экосистем классических вычислений. Проанализировано текущее состояние ЭКВ, возможности их использования для различных применений и перспективы развития. Рассмотрены перспективные области применения квантовых вычислений на транспорте.

**Ключевые слова:** экосистемы квантовых вычислений, квантовые вычисления на транспорте, большие данные, проблема оптимизации логистики, квантовые коммуникации, квантовое машинное обучение.

## ВВЕДЕНИЕ

В передовых странах, в том числе в России, приняты программы развития технологий, объединяемых общим термином «квантовые вычисления» [1]. Достигнутый за последние годы прогресс в этой области позволяет говорить о «квантовой революции 2.0». Россия входит в число семнадцати стран, в которых принята и реализуется государственная стратегия в области квантовых технологий. Основными направлениями развития здесь являются собственно квантовые вычисления, квантовая коммуникация и квантовое машинное обучение.

Достигнутый прогресс можно охарактеризовать результатом [2], демонстрирующим превосходство квантовых вычислений над классическими, пока что для специальных («удобных» для квантовых вычислений) задач. Этот результат был частично оспорен в [3], что говорит о конкуренции и высоком темпе развития в данной отрасли. В этой же работе говорится о приближении технологий к пределу возможностей моделирования существующих 53-кубитных квантовых компьютеров с помощью классических суперкомпьютеров.

Как показано в [4], в настоящее время квантовые компьютеры уже существуют, но еще не могут быть широко использованы ввиду недостатков аппаратуры. Проблемными и основными направлениями развития являются увеличение числа кубит, снижение уровня шума и увеличение времени жизни квантовых состояний (так называемой «глубины вычислений»). Рост числа кубит при прочих равных условиях позволяет использовать алгоритмы, корректирующие за счет избыточности ошибки, вызываемые шумом.

Разработка алгоритмов, устойчивых к ошибкам, является одной из приоритетных задач в развитии квантовых вычислительных технологий. Сейчас имеет место время шумных квантовых компьютеров среднего масштаба, так называемых NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum).

Как показано в [5], самостоятельно квантовые вычисления в настоящее время не могут быть использованы. Необходима инфраструктура подготовки данных, управления вычислениями, интерпретации выходных данных и представления результатов.

## О ТЕРМИНЕ «ЭКОСИСТЕМА КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ»

Термин «экосистема», как упомянуто в [6], был введен английским ученым Артуром Тенсли (Arthur Tansley) в 1935 году для обозначения интеграции биотического сообщества и его физической среды в качестве фундаментальной единицы экологии в иерархии физических систем, которые охватывают диапазон от атома до вселенной. Экосистемы являются основными структурными единицами, составляющими биосферу. Системы, обеспечивающие функционирование в современном обществе, обозначаются в настоящее время термином «бизнес-экосистемы». В фундаментальной работе [7] группы предприятий и взаимоотношения между ними, взаимодействующие друг с другом в рамках одной ниши на рынке программного обеспечения и услуг, определяются как «экосистемы программного обеспечения». Взаимоотношения между частями экосистемы часто опираются на общую технологическую платформу.

Примерами экосистем программного обеспечения являются экосистемы Apple, Google, Microsoft и экосистема открытого программного обеспечения.

Среди экосистем программного обеспечения выделяют экосистемы разработки программного обеспечения. В частности, в [8] представлен краткий актуальный обзор текущего состояния и распространенности среди разработчиков средств разработки программного обеспечения.

Экосистема разработки программного обеспечения должна включать в себя следующие основные компоненты:

- языки программирования;
- средства создания программного кода;
- средства построения диаграмм, отображающих структуру программного кода (диаграммы классов);

- средства отладки программного обеспечения;
- наборы библиотек и компонентов для реализации алгоритмов, обмена и представления данных.

Так, например, экосистема разработки программного обеспечения Microsoft [9] включает в себя:

- языки программирования C++, C# и другие;
- комплекс средств разработки MS Visual Studio, включающий, в частности, средства отладки, дизайнер классов, дизайнер структуры данных;
- многочисленные SDK и библиотеки;
- облачную среду для разработки и развертывания программного обеспечения;
- операционные системы Windows различных версий.

С появлением и развитием квантовых вычислений можно выделить экосистемы квантовых вычислений (ЭКВ), отличительной чертой которых является использование квантового вычислительного модуля и/или его эмулятора. Данные экосистемы открывают доступ к квантовым вычислениям и служат для того, чтобы:

- управлять существующими физическими устройствами квантовых вычислений;
- оценивать эффективность выполнения квантовых алгоритмов на будущих устройствах;
- изучать концепции квантовых вычислений;
- проверять квантовые алгоритмы и их реализации;
- обучать квантовым вычислениям.

#### ЭКОСИСТЕМЫ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ.

##### ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Квантовые вычисления состоят из следующих основных этапов:

1. Подготовка данных.
2. Подготовка схемы квантовых вычислений.
3. Загрузка схемы квантовых вычислений и исходных данных в квантовый процессор.
4. Выполнение вычисления в квантовом процессоре.
5. Получение данных от квантового процессора.
6. Интерпретация данных.

На обычном (классическом) процессоре выполняются этапы 1, 2 и 6, этапы 3 и 5 связаны с передачей данных между квантовым и классическим процессорами, этап 4 выполняется на квантовом процессоре. При отладке программного обеспечения на этапе 4 используется симулятор квантового процессора.

Рассмотрим наиболее развитые в настоящее время ЭКВ.

##### ЭКОСИСТЕМА GOOGLE

Google развивает различные инструменты, встроенные в обширную программно-аппаратную инфраструктуру компании [10]. Основными составляющими являются: фреймворк Cirq и прикладные библиотеки TensorFlow Quantum и Fermion.

Cirq работает со схемами квантовых вычислений. Квантовые программы в Cirq представлены «Схемой» и «Расписанием», где «Схема» представляет квантовую схему, а «Расписание» — квантовую схему с информацией о последовательности действий. Программы могут выполняться на локальных симуляторах.

TensorFlow Quantum — специальная библиотека, которая позволяет использовать схемы Cirq как тензоры TensorFlow, кроме того, содержит специализированные

слои (tf.keras.layers) для рекуррентных нейронных сетей. Эта библиотека представляет собой пример смешанного квантово-классического подхода.

Open Fermion — специализированная библиотека алгоритмов моделирования химических процессов.

ЭКВ Google предоставляет доступ к своему 50-кубитному квантовому компьютеру и соответствующим симуляторам.

##### ЭКОСИСТЕМА IBM

ЭКВ, развиваемая компанией IBM, представлена в [11]. Программная оболочка, предоставляющая доступ к квантовому компьютеру IBM, носит название Qiskit. Базовым языком программирования для использования Qiskit является Python. В состав экосистемы входит квантовый ассемблер, предоставляющий доступ к операциям с кубитами самого низкого уровня — OpenQASM.

В состав ЭКВ входят средства построения схем квантовых вычислений IBM Quantum Composer и среда разработки IBM Quantum Lab. Пользователю предоставляются следующие основные модули:

- модуль составления квантовых программ на уровне схем и импульсов с оптимизацией и учетом физических особенностей конкретного физического квантового компьютера (Terra);
- симулятор квантовых вычислений и симулятор шумовых ошибок (Aer);
- подсистема уменьшения шума в квантовых схемах (Ignis);
- библиотека квантовых алгоритмов (Aqua).

ЭКВ предоставляет доступ к линейке собственных квантовых компьютеров. На момент написания статьи самыми мощными являлись 27-кубитный процессор с большим характерным временем жизни квантовых состояний и 67-кубитный компьютер с меньшим характерным временем жизни квантовых состояний.

Для отладки программ и исследования алгоритмов в данной ЭКВ предоставляется доступ к различным симуляторам мощностью вплоть до 1 000 кубит.

##### ЭКОСИСТЕМА RIGETTI

ЭКВ компании Rigetti описана в [12]. Особенностью данной ЭКВ является стремление разработчиков обеспечить минимальную задержку для передачи данных между квантовым и классическим процессорами на этапах загрузки данных в квантовый процессор, передачи схемы вычислений в квантовый процессор и получения результатов вычисления из квантового процессора.

ЭКВ Rigetti содержит все необходимые модули для выполнения квантовых вычислений.

Квантовая операционная система. Доступ к квантовой операционной системе предоставляется через сетевые API. На этом уровне реализованы базовые сервисы, такие как:

- аутентификация пользователей, авторизация сервисов;
- управление схемой вычислений и передача ее квантовому процессору;
- управление памятью;
- управление одновременно выполняемыми процессами.

Доступ к этому API осуществляется с помощью программного обеспечения Rigetti SDK.

Язык инструкций Quil [13] предназначен для программирования квантовых вычислений. На этом языке описываются квантовые схемы на самом низком уровне, взаимодействие с классическим процессором и управление памятью. Расширение Quil-T обеспечивает доступ к управлению работой кубитов на самом низком уровне.

Инструменты для программирования Forest SDK включают в себя библиотеку на языке программирования Python pyQuil и оптимизирующий компилятор Quilc, который может быть сконфигурирован для создания программы на квантовых процессорах производителей, отличных от Rigetti.

Для исполнения программ используется 31-кубитный квантовый компьютер. Для отладки используются различные симуляторы с моделированием шума.

#### ЭКОСИСТЕМА AZURE QUANTUM

Компания Microsoft разрабатывает набор инструментов и технологий [14, 15], интегрированных с экосистемой классического программного обеспечения. В ЭКВ используется язык программирования Q# и библиотека инструментов SDK Quantum. Доступ пользователей осуществляется с помощью облачной платформы Azure Quantum.

Своего квантового компьютера в данной ЭКВ нет. Предоставляется доступ к квантовым компьютерам Honeywell и Quantum Circuits.

#### ЭКОСИСТЕМА AMAZON

ЭКВ, развиваемая компанией Amazon, носит коммерческое наименование Amazon Braket [16]. ЭКВ использует широко распространенные открытые инструменты разработки классического программного обеспечения: блокноты Jupiter с установленными в них библиотеками. SDK Amazon Braket — это платформа разработки, с помощью которой можно создавать квантовые алгоритмы и выполнять их на любом совместимом оборудовании, доступ к которому предоставляется через сервис Amazon Braket. Данная платформа содержит популярные квантовые алгоритмы и компоненты для работы с обучением нейронных сетей. Для отладки используется несколько симуляторов с добавлением шума и симулятор тензорной нейронной сети. Запуск программ осуществляется на квантовых компьютерах Rigetti, Wave-D, IonQ.

#### ЭКОСИСТЕМА INTEL

Компания Intel сообщает, что ведутся работы по созданию ЭКВ [17], но пока ничего не представлено.

#### ЭКОСИСТЕМА STRANGWORKS

Данная экосистема собирает различные квантовые сервисы для доступа через единую точку входа [18]. Предоставляется собственная среда разработки программ на языке Python и доступ к квантовым компьютерам Honeywell, Rigetti и другим.

#### ЭКОСИСТЕМА IONQ

ЭКВ IonQ предоставляет доступ к собственному квантовому компьютеру [19] через собственное программное обеспечение, основанное на языке Python, а также через сервисы Amazon Braket и Azure Quantum.

#### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ТРАНСПОРТЕ

В материале [20], представленном специалистами одного из лидеров отрасли — фирмы IBM, описан план развития ЭКВ. Этот план отражает общие для отрасли перспективы: к концу 2022 года достижение 400 кубит и реальное использование ЭКВ в научных исследованиях, машинном обучении, решении задач оптимизации и в финансовой отрасли.

Предполагается, что с развитием ЭКВ будут развиваться программные оболочки, скрывающие от пользователя детали реализации квантовых алгоритмов. Развитие ЭКВ позволит, таким образом, решать прикладные задачи, для решения которых вычислительной мощности классических суперкомпьютеров недостаточно.

С развитием квантовых компьютеров и ЭКВ будут развиваться и алгоритмы квантовых вычислений в приложении для задач оптимизации и для анализа больших данных. Значение анализа больших данных на транспорте показано в работе [21].

#### ЗАДАЧА ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Рассмотрим возможный подход к решению задачи оптимизации транспортной логистики с помощью квантового компьютера.

Задача оптимизации логистики Монжа — Канторовича в тривиальной формулировке задачи линейного программирования может быть представлена в следующем виде:

$$\begin{aligned} \sum_j^n x_{i,j} &= a_i, \quad i = 1, \dots, m \\ \sum_i^m x_{i,j} &= b_j, \quad j = 1, \dots, n \\ \sum_i^n \sum_j^m C_{i,j} x_{i,j} &\rightarrow \min, \end{aligned}$$

где  $m, n$  — число пунктов потребления и производства однородного товара;

$a_i$  — объем производства в  $i$ -м пункте производства;

$b_j$  — объем производства в  $j$ -м пункте потребления;

$C_{i,j}$  — затраты на транспортировку единицы товара между узлами  $i$  и  $j$ .

Эта задача, как неоднократно показано, является NP-сложной, а это значит, что не существует полиномиальный по времени алгоритм решения данной задачи.

Как показано в [22], задача комбинаторной оптимизации, к которой сводится задача оптимизации транспортной логистики, может быть сведена к задаче выполнения граничных условий, определенных с помощью  $n$  бит и  $m$  ограничений:

$$C(z) = \sum_{a=1}^m C_a(z),$$

где  $z$  —  $n$ -битовая строка, а  $C_a(z) = 1$ , если  $z$  удовлетворяет ограничению  $a$ , и 0 — в противном случае.

Учитывая представление  $n$  бит  $n$  кубитами, в [23] представлен алгоритм квантовой приближенной

оптимизации (Quantum Approximate Optimization Algorithm, QAOA). В [24] показано, что QAOA позволяет решить задачу за полиномиальное время. Функциональность QAOA реализована в наиболее распространенных ЭКВ, таких как Azure Quantum, Cirq, Qiskit.

#### БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ НА ТРАНСПОРТЕ

Во-первых, мы должны подтвердить, что методы больших данных действительно так важны в современной транспортной сфере. Первоначально признаком больших данных был набор из 3 V: объем, скорость и разнообразие [25]. Даже начального анализа современного состояния транспорта достаточно, чтобы сказать, что он работает с большими данными.

**Объем.** Как указано выше, транспорт сейчас в значительной степени цифровизован, несмотря на то что многого еще предстоит добиться. Благодаря этому было обнаружено множество новых источников данных. Больше источников означает больше данных. Сегодня каждое транспортное средство оснащено тоннами датчиков, данные которых нуждаются в анализе. Данные могут быть взяты из логистических систем, дорожных датчиков, систем видеонаблюдения и т. д. — и это лишь несколько примеров источников данных.

**Разнообразие.** Сами источники стали более неоднородными. Некоторые представляют собой потоковые битовые данные, некоторые — текстовые данные. Есть источники с видео- и аудиоданными. Все зависит от источника и возможностей применения его данных.

**Скорость.** Современные данные передаются через потоки. Для обеспечения соответствующей обработки и анализа данных системы должны обладать достаточной мощностью. Это касается и транспорта, где своевременное вычисление может предотвратить задержки или даже аварии.

Некоторые классификации добавляют различные признаки больших данных, например достоверность. Стоит упомянуть и объем [26]. Это означает целесообразность обработки данных в экономических целях. В современной транспортной сфере применение этого признака очевидно, правильный анализ данных может оптимизировать техническую и логистическую сторону бизнеса, что может привести к снижению расходов.

Обработка больших данных открывает двери для многих новых сервисов и возможностей модернизации старых. Вот лишь немногие из них [21]:

1. Мониторинг инфраструктуры. С увеличением объема данных инфраструктурный анализ становится более точным, что приводит к более эффективному управлению самой инфраструктурой.

2. Повышение мобильности сервисов. Сегодня пользователям нужно иметь в руках все — на смартфоне. Транспортные услуги не являются исключением. Обработка больших данных предоставляет возможность предоставления сервисов, ориентированных на пользователя, а также предоставляет бизнесу дополнительные данные, которые могут быть полезны в будущем.

3. Понимание потребностей клиента. Один из самых популярных источников больших данных — социальные сети. Анализ информации оттуда может дать много полезных бизнес-деталей. В первую очередь это касается

требований клиента, что имеет важное значение для транспорта, как и для любой другой области.

4. Визуализация потока людей. Визуализация иногда добавляется к признакам больших данных, что подчеркивает ее важность. Действительно, это очень мощный инструмент, который может решать массу задач управления транспортом также будучи простым и понятным среднестатистическому человеку, а не только IT-экспертам.

5. Управление движением. Этот пункт говорит сам за себя. Больше количество источников и данных приводит к более точному прогнозированию, что позволяет правильнее управлять трафиком.

6. Диагностика состояния транспортного средства. Этот пункт особенно актуален на железной дороге, поскольку технический осмотр и ремонт являются одной из важнейших составных частей железнодорожных перевозок, и они невозможны без больших данных.

Стоит упомянуть инициативу Smart Transport в концепции Smart city. Существует множество определений Smart city, но для простоты давайте сосредоточимся на этом городе, где все основные компоненты инфраструктуры являются наиболее интеллектуальными, связанными и эффективными благодаря использованию информационных технологий [27].

Сама инициатива подразумевает интеллектуализацию транспорта в городе, включая общественный транспорт и дороги. Это основные аспекты Smart Transport [28]:

- интеллектуальные дороги (изменение дорожной разметки, обнаружение ДТП, интеллектуальное освещение, оборудование датчиков);
- интеллектуальные светофоры (анализ данных для регулирования трафика на основании его плотности);
- умные автомобили (обработка данных из различных источников для обеспечения безопасности автопилота и водителя);
- умные дорожные знаки (анализ данных о состоянии дорог, изменение знаков).

Во введении к данной статье рассматривается проблема производительности современных информационных систем. Одно из решений — квантовые компьютеры. Далее приводится краткая спецификация квантовых вычислений и их возможностей по обработке больших данных.

#### КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ И БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ

Основным отличием квантовых и классических вычислений является наличие двух физических явлений, наблюдаемых только в микромире: квантовой суперпозиции и запутанности.

Квантовые компьютеры работают не битами, как классические ПК, а кубитами. Разница между ними заключается в количестве их возможных состояний. Классический бит интерпретирует наличие или отсутствие электрического тока и может быть равен либо 0, либо 1.

Кубит интерпретирует одно из свойств частицы (например, спин электрона или поляризация фотона) и может быть в виде  $|0\rangle$  и  $|1\rangle$ , но в состоянии суперпозиции эти величины  $(d_0|0\rangle + d_1|1\rangle)$ , где  $|d_0|^2$  и  $|d_1|^2$  — вероятности обнаружения кубита в этом состоянии в результате измерений.

Квантовые явления суперпозиции трудно описать, потому что в классической физике нет подходящих

экспериментальных примеров. Проще говоря, суперпозиция — это состояние, где кубит равен 0 и 1 одновременно. К сожалению, это явление невозможно увидеть или почувствовать человеку. Каждая попытка измерить его приводит к свертыванию кубита в одном из состояний с определенной возможностью. Однако с кубитом в этом состоянии все еще можно работать.

Важно знать, что состояния кубита записываются в брeкетах, поскольку они на самом деле векторы. Например, вектор  $|0\rangle$  может быть записан как  $\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$ , и  $|1\rangle$  может быть записан как  $\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$ .

Вторая отличительная особенность квантового мира — явление запутанности. Два или более кубитов могут переходить в одну суперпозицию для всех них. Изменение одного из этих кубит мгновенно разрушит суперпозицию не только для него, но для каждого другого запутанного кубита. Все они переходят в одно определенное состояние. Например, если первый кубит будет в состоянии  $(d|00\rangle + d|11\rangle)$  и получит значение 0, то это означает, что второй кубит будет в состоянии 0 также.

Запутанные явления используются в вычислениях, но не дают никаких ускорений. Они в основном пригодны для квантовой безопасности. С другой стороны, суперпозиция может дать необходимую мощность компьютера для обработки больших данных.

Например, мы можем рассмотреть два бита и два кубита. Два бита потенциально могут превратиться в одно из четырех состояний (00, 01, 10, 11). Но в этот момент времени два бита могут представлять только одно из этих состояний. Два кубита также могут перейти в одно из этих состояний плюс их суперпозиция. Это означает, что два кубита могут представлять в данный момент времени все эти состояния одновременно [29].

Это приводит нас к идеальной модели превосходства квантовых вычислений над классическими вычислениями, представленной на рисунке 1.

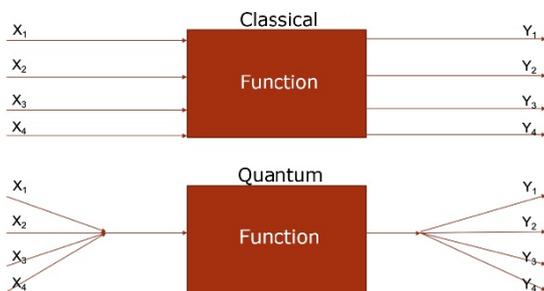


Рис. 1. Идеализированное объяснение превосходства квантовых вычислений

Нам нужно представить какую-то функцию и наборы данных на входе в нее. Задача состоит в том, чтобы получить каждое значение результата для каждого набора входных данных. В классических вычислениях мы должны выполнять функцию для каждого набора входных данных. В квантовых вычислениях мы можем установить все значения входных данных в суперпозицию и запустить функцию только для этого состояния. С помощью этого метода мы можем вычислить функцию только один раз, вместо  $n$ .

Конечно, эта модель очень абстрактна и на практике все не так просто. Есть много подводных камней, препятствующих идеальному ходу вещей. Чтобы показать это, можно посмотреть на уже реализованную на реальной модели квантовых компьютеров — алгоритм квантового поиска Гровера [30, 31].

АЛГОРИТМ ГРОВЕРА

Подробное описание алгоритма является отдельной темой. Это взгляд на суть его работы. Схема алгоритма приведена на рисунке 2.

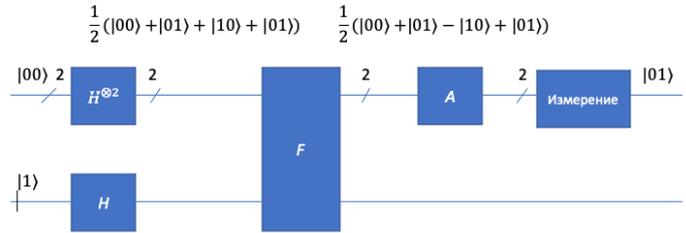


Рис. 2. Упрощенная схема алгоритма Гровера

Схема состоит из квантовых вентилях — ортогональных матриц, которые применяются к кубитным состояниям с тензорным произведением. Также схема имеет так называемый «Оракул» —  $F$ -функцию, представляющую черный ящик. Это также ортогональная матрица.

Эта схема рассчитана на два кубита. Существует функция  $f(x_0, x_1)$  и 4 возможные состояния кубитов ( $|00\rangle, |01\rangle, |10\rangle, |11\rangle$ ). Функция  $F$  может вернуть 0 или 1, а возвращает 1 только для одного из возможных состояний. Нам нужно найти это состояние.

На входе в цепь два кубита переводятся в состояние  $|00\rangle$  и один дополнительный кубит — в состояние  $|1\rangle$ . Давайте понаблюдаем за двумя верхними кубитами. Эта пара проходит через ворота Адамара и переходит в суперпозицию с равными возможностями для каждого состояния. После оракула одно из состояний меняет свой оператор на «-». Это правильное состояние. Чтобы получить ответ, нам нужно увеличить его вероятность и уменьшить вероятность других состояний.

Для этого суперпозиция проходит через ворота А — элемент, который переворачивает вероятности относительно среднего значения. В конце необходимое состояние имеет вероятность 1, а любое другое имеет 0.

КВАНТОВОЕ УСКОРЕНИЕ

К сожалению, алгоритм Гровера не сможет работать так идеально с 3 или более кубитами. В этой ситуации, после того как вероятности инвертируются, вероятности неправильных ответов не перейдут в 0. Эта проблема решается повторением схемы для исходящих данных результата. Каждый раз неправильные вероятности будут уменьшаться.

Гровер сам рассчитал значение необходимого числа повторного выполнения алгоритма для получения наиболее достоверного ответа. Это  $O(\sqrt{n})$  раз [31]. С другой стороны, классический алгоритм требует выполнения  $O(n)$  вычислений. Квантовый алгоритм дает квадратичное ускорение по сравнению классическим. Теоретически классический

поиск, запуск в течение 100 часов может выполняться в течение 10 часов на квантовом компьютере.

Несмотря на резкое сокращение времени вычислений, для среднего человека ускорение может показаться не таким впечатляющим. Однако это показывает, что квантовые технологии уже могут быть использованы в реальных задачах как более эффективный способ.

Нужно помнить, что квантовые вычисления находятся на заре своего развития и многие вещи просто еще не открыты. Потенциал квантовых вычислений хорошо показан алгоритмом Шора [32]. Эта операция займет минуты на квантовом компьютере, а на классическом — десятилетия.

Стоит упомянуть область квантового машинного обучения. Машинное обучение широко используется в анализе больших данных и его ускорение сильно повлияет на эту область. На рисунке 3 приведены некоторые методы машинного обучения, которые потенциально могут быть ускорены квантовыми вычислениями. На схеме показаны теоретические ускорения над классическими методами [33].

Machine Learning	
Method	Quantum speedup
Bayesian inference	$O(\sqrt{N})$
Least squares	$O(\log N)$
Principal component analysis	$O(\log N)$
Support-vector machine	$O(\log N)$
Reinforcement learning	$O(\sqrt{N})$

Рис. 3. Теоретическое квантовое ускорение по сравнению с классическими методами

Как видим, некоторые методы дают экспоненциальное ускорение. Тем не менее предстоит еще много работы, чтобы получить фактическую выгоду от использования квантовых вычислений.

#### Выводы

Важным отличием ЭКВ от экосистем классических вычислений является большая роль, которую в квантовых вычислениях играет схема квантовых элементов.

Для отладки ЭКВ используют различные эмуляторы квантовых компьютеров с поддержкой эмуляции различных типов шумов [27].

ЭКВ содержат те же основные модули, что и экосистемы классических вычислений.

Специфические черты ЭКВ:

- среда разработки схем квантовых вычислений;
- набор компонентов для доступа к квантовому компьютеру;
- эмулятор квантового компьютера;
- квантовый компьютер.

Виды ЭКВ по способу развития:

1. На основе развитых экосистем классических вычислений таких компаний, как Microsoft и Google.
2. Полностью заново разработанные системы, например компаний IBM и Rigetti.
3. Некоторые ЭКВ собирают самые разные сервисы: программные библиотеки, эмуляторы и квантовые компьютеры, например Strangeworks.

По области применения выделяется ЭКВ Google, содержащая развитый инструментальный системы машинного обучения TensorFlow Quantum.

С целью обучения могут быть использованы ЭКВ Google, Azure Quantum, IBM и Rigetti, предоставляющие удобный интерфейс пользователя и развитую документацию с примерами.

Как перспективную задачу дальнейших исследований предлагается рассмотреть использование ЭКВ для решения следующих задач:

- использование QAOA [33] для решения задач оптимизации транспортной логистики;
- задачи машинного обучения для мониторинга характеристик киберфизических систем и оценки качества информационно-технологических сервисов [34–36];
- проблемы интеграции средств обработки больших данных и нейронных сетей для классификации изображений и сложных объектов [37].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kung, J. A Quantum Revolution: Report on Global Policies for Quantum Technology / J. Kung, M. Fancy; CIFAR. — 56 p. URL: <http://cifar.ca/wp-content/uploads/2021/05/QuantumReport-EN-May2021.pdf> (дата обращения 10.05.2021).
2. Quantum Supremacy Using a Programmable Superconducting Processor / F. Arute, K. Arya, R. Babbush, [et al.] // Nature. 2019. Vol. 574, Is. 7779. Pp. 505–510. DOI: 10.1038/s41586-019-1666-5.
3. On «Quantum Supremacy» / E. Pednault, J. Gunnels, D. Maslov, J. Gambetta // IBM Research Blog. — 2019. — 21 October. URL: <http://www.ibm.com/blogs/research/2019/10/on-quantum-supremacy> (дата обращения 10.05.2021).
4. Preskill, J. Quantum Computing in the NISQ Era and Beyond // Quantum. 2018. Vol. 2. Art. No. 79. 20 p. DOI: 10.22331/q-2018-08-06-79.
5. Квантовая модель вычислений глазами классического программиста / С. С. Андреев, С. А. Дбар, Ю. А. Климова, [и др.]. — Москва: ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, 2018. — 30 с. — (Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. № 178). DOI: 10.20948/prepr-2018-178.
6. Tansley, A. G. The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms // Ecology. 1935. Vol. 16, No 3. Pp. 284–307. DOI: 10.2307/1930070.
7. Messerschmitt, D. G. Software Ecosystem: Understanding an Indispensable Technology and Industry / D. G. Messerschmitt, C. A. Szyperski. — Cambridge (MA): MIT Press, 2003. — 438 p. DOI: 10.7551/mitpress/6323.001.0001.
8. The State of Developer Ecosystem in 2020 Infographic // JetBrains: Essential Tools for Software Developers and Teams. URL: <http://www.jetbrains.com/lp/devecosystem-2020> (дата обращения 10.05.2021).
9. Overview of the State of Microsoft Software Development Ecosystem 2020 // DEV Community. — 2019. — 16 December. URL: <http://dev.to/endpoint/overview-of-the-state-of-microsoft-software-development-ecosystem-2020-6j6> (дата обращения 10.05.2021).
10. Google Quantum AI. URL: <http://quantumai.google> (дата обращения 10.05.2021).
11. IBM Quantum. URL: <http://quantum-computing.ibm.com> (дата обращения 10.05.2021).

12. Building Scalable, Innovative Quantum Computers // Rigetti Computing. URL: <http://www.rigetti.com/what> (дата обращения 10.05.2021).
13. Quil: A Portable Quantum Instruction Language // GitHub. URL: <http://github.com/quil-lang/quil> (дата обращения 10.05.2021).
14. Обзор Microsoft Quantum // Microsoft Azure. URL: <http://azure.microsoft.com/ru-ru/solutions/quantum-computing> (дата обращения 10.05.2021).
15. What is Azure Quantum? // GitHub. URL: <http://github.com/MicrosoftDocs/quantum-docs/blob/main/articles/overview-azure-quantum.md> (дата обращения 10.05.2021).
16. Сервисы квантовых вычислений — Amazon Braket // Amazon Web Services. URL: <http://aws.amazon.com/ru/braket> (дата обращения 10.05.2021).
17. What is Quantum Computing // Intel. URL: <http://www.intel.com/content/www/us/en/research/quantum-computing.html> (дата обращения 10.05.2021).
18. Strangeworks. Quantum Computing Ecosystem. URL: <http://strangeworks.com> (дата обращения 10.05.2021).
19. IonQ. Trapped Ion Quantum Computing. URL: <http://ionq.com> (дата обращения 10.05.2021).
20. Gambetta, J. IBM's Roadmap for Building an Open Quantum Software Ecosystem / J. Gambetta, I. Faro, K. Wehden // IBM Research Blog. — 2021. — 04 February. URL: <http://research.ibm.com/blog/quantum-development-roadmap> (дата обращения 10.05.2021).
21. Big Data for Transportation and Mobility: Recent Advances, Trends and Challenges / A. I. Torre-Bastida, J. Del Ser, I. Laña, [et al.] // IET Intelligent Transport Systems. 2018. Vol. 12, Is. 8. Pp. 742–755. DOI:10.1049/iet-its.2018.5188.
22. Introduction to Algorithms. Third Edition / T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, C. Stein. — Cambridge (MA): MIT Press, 2009. — 1292 p.
23. Farhi, E. A Quantum Approximate Optimization Algorithm / E. Farhi, J. Goldstone, S. Guttmann // ArXiv. 2014. Vol. 1411.4028. 16 p.
24. Mansouri, B. An Analysis of the Quantum Approximation Optimisation Algorithm // ArXiv. 2021. Vol. 2103.12791. 26 p.
25. Laney, D. 3D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity and Variety // META Group Research Note. 2001. Vol. 6. P. 70.
26. Big Data: Related Technologies, Challenges and Future Prospects / M. Chen, S. Mao, Y. Zhang, V. C. M. Leung. — Springer International Publishing, 2014. — 101 p. — (SpringerBriefs in Computer Science). DOI: 10.1007/978-3-319-06245-7.
27. Nam, T. Conceptualizing Smart City with Dimensions of Technology, People, and Institutions / T. Nam, T. A. Pardo // Digital Government Innovation in Challenging Times: Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference (dg.o 2011), (College Park (MD), USA, 12–15 June 2011). — New York: Association for Computing Machinery, 2011. — Pp. 282–291. DOI: 10.1145/2037556.2037602.
28. Bernhardt, C. R. Quantum Computing for Everyone. — Cambridge (MA): MIT Press, 2019. — 216 p.
29. Pandey, A. Quantum computing for big data analysis / A. Pandey, V. Ramesh // Indian Journal of Science. 2015. Vol. 14, No. 43. Pp. 98–104.
30. Complete 3-Qubit Grover Search on a Programmable Quantum Computer / C. Figgatt, D. Maslov, K. A. Landsman, [et al.] // Nature Communications. 2017. Vol. 8. Art. No. 1918. 9 p. DOI: 10.1038/s41467-017-01904-7.
31. Grover, L. K. A Fast Quantum Mechanical Algorithm for Database Search // Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Theory of Computing (STOC '96), (Philadelphia (PA), USA, 22–24 May 1996). — New York: Association for Computing Machinery, 1996. — Pp. 212–219. DOI: 10.1145/237814.237866.
32. Shor, P. W. Algorithms for Quantum Computation: Discrete Logarithms and Factoring // Proceedings of the 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science (Santa Fe (NM), USA, 22–24 November 1994). — Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1994. — Pp. 124–134. DOI: 10.1109/SFCS.1994.365700.
33. Quantum Machine Learning / J. Biamonte, P. Wittek, N. Pancotti, [et al.] // Nature. 2017. Vol. 549, Is. 7671. Pp. 195–202. DOI: 10.1038/nature23474.
34. Bolshakov, M. A. Comparative Analysis of Machine Learning Methods to Assess the Quality of IT Services / M. A. Bolshakov, I. A. Molodkin, S. V. Pugachev // Proceedings of the Workshop «Models and Methods for Researching Information Systems in Transport 2020» on the Basis of the Departments «Information and Computer Systems» and «Higher Mathematics» (MMRIST 2020) (St. Petersburg, Russia, 11–12 December 2020). CEUR Workshop Proceedings. 2021. Vol. 2803. Pp. 142–149. DOI: 10.24412/1613-0073-2803-142-149.
35. Lohvitskii, V. A. On the Construction of a Cybervisor for the Intelligent Monitoring and Control of Data Centers / V. A. Lohvitskii, A. D. Khomonenko, M. A. Bol'shakov // Automatic Control and Computer Sciences. 2019, Vol. 53, Is. 8. Pp. 870–873. DOI: 10.3103/S0146411619080169.
36. Shardakov, K. S. Modeling the Operation of a Distributed High-Load Monitoring System for a Data Transmission Network in a Non-Stationary Mode / K. S. Shardakov, V. P. Bubnov, S. V. Kornienko // Proceedings of the Workshop «Models and Methods for Researching Information Systems in Transport 2020» on the Basis of the Departments «Information and Computer Systems» and «Higher Mathematics» (MMRIST 2020) (St. Petersburg, Russia, 11–12 December 2020). CEUR Workshop Proceedings. 2021. Vol. 2803. Pp. 107–116. DOI: 10.24412/1613-0073-2803-107-116.
37. Integration of Big Data Processing Tools and Neural Networks for Image Classification / N. E. Kosykh, A. D. Khomonenko, A. P. Bochkov, A. V. Kikot // Proceedings of Models and Methods of Information Systems Research Workshop 2019 (MMISR 2019) (St. Petersburg, Russia, 04–05 December 2019). CEUR Workshop Proceedings. 2020. Vol. 2556. Pp. 52–58. DOI: 10.24412/1613-0073-2556-52-58.

# Characteristics of Ecosystems of Quantum Computing and Prospects for Their Use in Transport

P. V. Polikarpov

Abacus LLC  
Saint Petersburg, Russia  
p.polikarpov@abacus.spb.ru

N. K. Uvarov

St. Petersburg Information  
and Computing Center  
Saint Petersburg, Russia  
nick553@mail.ru

Grand PhD A. D. Khomonenko

Emperor Alexander I St. Petersburg  
State Transport University  
Saint Petersburg, Russia  
khomon@mail.ru

**Abstract.** An overview of modern software ecosystems enabling quantum computing is presented. The differences between ecosystems of quantum computing (EQC) and ecosystems of classical computing are highlighted. Provides a brief description of the most advanced quantum computing ecosystems (Google, IBM, Rigetti, Azure, Amazon, Intel, Strangeworks, IonQ). The current state of EQC, the possibilities of their use for various applications and development prospects are analyzed. Perspective areas of application of quantum computing in transport are considered.

**Keywords:** ecosystems of quantum computing, quantum computing in transport, big data, logistic optimization problem, quantum communication, quantum machine learning.

## REFERENCES

1. Kung J., Fancy M. A Quantum Revolution: Report on Global Policies for Quantum Technology, 56 p. Available at: <http://cifar.ca/wp-content/uploads/2021/05/QuantumReport-EN-May2021.pdf> (accessed 10 May 2021).
2. Arute F., Arya K., Babbush R., et al. Quantum Supremacy Using a Programmable Superconducting Processor, *Nature*, 2019, Vol. 574, Is. 7779, Pp. 505–510. DOI: 10.1038/s41586-019-1666-5.
3. Pednault E., Gunnels J., Maslov D., Gambetta J. On «Quantum Supremacy», *IBM Research Blog*. Published online at October 21, 2019. Available at: <http://www.ibm.com/blogs/research/2019/10/on-quantum-supremacy> (accessed 10 May 2021).
4. Preskill J. Quantum Computing in the NISQ Era and Beyond, *Quantum*, 2018, Vol. 2, Art. No. 79, 20 p. DOI: 10.22331/q-2018-08-06-79.
5. Andreev S. S., Dbar S. A., Klimov Y. A., et al. Quantum Computation Model: The Classical Programmer's Viewpoint [Kvantovaya model' vychisleniy glazami klassicheskogo programmista], *KIAM Preprint [Preprinty IPM im. M. V. Keldysha]*, No. 178. Moscow, Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, 2018, 30 p. DOI: 10.20948/prepr-2018-178.
6. Tansley A. G. The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms, *Ecology*, 1935, Vol. 16, No 3, Pp. 284–307. DOI: 10.2307/1930070.
7. Messerschmitt D. G., Szyperski C. A. Software Ecosystem: Understanding an Indispensable Technology and Industry. Cambridge (MA), MIT Press, 2003, 438 p. DOI: 10.7551/mitpress/6323.001.0001.
8. The State of Developer Ecosystem in 2020 Infographic, *JetBrains: Essential Tools for Software Developers and Teams*. Available at: <http://www.jetbrains.com/lp/devecosystem-2020> (accessed 10 May 2021).
9. Overview of the State of Microsoft Software Development Ecosystem 2020, *DEV Community*. Published online at December 16, 2019. Available at: <http://dev.to/endpoint/overview-of-the-state-of-microsoft-software-development-ecosystem-2020-6j6> (accessed 10 May 2021).
10. Google Quantum AI. Available at: <http://quantumai.google> (accessed 10 May 2021).
11. IBM Quantum. Available at: <http://quantum-computing.ibm.com> (accessed 10 May 2021).
12. Building Scalable, Innovative Quantum Computers, *Rigetti Computing*. Available at: <http://www.rigetti.com/what> (accessed 10 May 2021).
13. Quil: A Portable Quantum Instruction Language, *GitHub*. Available at: <http://github.com/quil-lang/quil> (accessed 10 May 2021).
14. Microsoft Quantum Review [Obzor Microsoft Quantum], *Microsoft Azure*. Available at: <http://azure.microsoft.com/ru-ru/solutions/quantum-computing> (accessed 10 May 2021).
15. What is Azure Quantum? *GitHub*. Available at: <http://github.com/MicrosoftDocs/quantum-docs/blob/main/articles/overview-azure-quantum.md> (accessed 10 May 2021).
16. Quantum Computing Services — Amazon Braket [Servisy kvantovykh vychisleniy — Amazon Braket], *Amazon Web Services*. Available at: <http://aws.amazon.com/ru/braket> (accessed 10 May 2021).
17. What is Quantum Computing, *Intel*. Available at: <http://www.intel.com/content/www/us/en/research/quantum-computing.html> (accessed 10 May 2021).
18. Strangeworks. Quantum Computing Ecosystem. Available at: <http://strangeworks.com> (accessed 10 May 2021).
19. IonQ. Trapped Ion Quantum Computing. Available at: <http://ionq.com> (accessed 10 May 2021).
20. Gambetta J., Faro I., Wehden K. IBM's Roadmap for Building an Open Quantum Software Ecosystem, *IBM Research Blog*. Published online at February 04, 2021.

Available at: <http://research.ibm.com/blog/quantum-development-roadmap> (accessed 10 May 2021).

21. Torre-Bastida A. I., Del Ser J., Laña I., et al. Big Data for Transportation and Mobility: Recent Advances, Trends and Challenges, *IET Intelligent Transport Systems*, 2018, Vol. 12, Is. 8, Pp. 742–755. DOI:10.1049/iet-its.2018.5188.

22. Cormen T. H., Leiserson C. E., Rivest R. L., Stein C. Introduction to Algorithms. Third Edition. Cambridge (MA), MIT Press, 2009, 1292 p.

23. Farhi E., Goldstone J., Guttmann S. A Quantum Approximate Optimization Algorithm, *ArXiv*, 2014, Vol. 1411.4028, 16 p.

24. Mansouri B. An Analysis of the Quantum Approximation Optimisation Algorithm, *ArXiv*, 2021, Vol. 2103.12791, 26 p.

25. Laney D. 3D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity and Variety, *META Group Research Note*, 2001, Vol. 6, P. 70.

26. Chen M., Mao S., Zhang Y., Leung V. C. M. Big Data: Related Technologies, Challenges and Future Prospects. Springer International Publishing, 2014, 101 p. DOI: 10.1007/978-3-319-06245-7.

27. Nam T., Pardo T. A. Conceptualizing Smart City with Dimensions of Technology, People, and Institutions, *Digital Government Innovation in Challenging Times: Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference (dg.o 2011)*, College Park (MD), USA, June 12–15, 2011. New York, Association for Computing Machinery, 2011, Pp. 282–291. DOI: 10.1145/2037556.2037602.

28. Bernhardt C. R. Quantum Computing for Everyone. Cambridge (MA), MIT Press, 2019, 216 p.

29. Pandey A., Ramesh V. Quantum computing for big data analysis, *Indian Journal of Science*, 2015, Vol. 14, No. 43, Pp. 98–104.

30. Figgatt C., Maslov D., Landsman K. A., et al. Complete 3-Qubit Grover Search on a Programmable Quantum Computer, *Nature Communications*, 2017, Vol. 8, Art. No. 1918, 9 p. DOI: 10.1038/s41467-017-01904-7.

31. Grover L. K. A Fast Quantum Mechanical Algorithm for Database Search, *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Theory of Computing (STOC '96)*, Philadelphia (PA), USA, May 22–24, 1996. New York, Association for Computing Machinery, 1996, Pp. 212–219. DOI: 10.1145/237814.237866.

32. Shor P. W. Algorithms for Quantum Computation: Discrete Logarithms and Factoring, *Proceedings of the 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science, Santa Fe (NM), USA, November 22–24, 1994*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1994, Pp. 124–134. DOI: 10.1109/SFCS.1994.365700.

33. Biamonte J., Wittek P., Pancotti N., et al. Quantum Machine Learning, *Nature*, 2017, Vol. 549, Is. 7671, Pp. 195–202. DOI: 10.1038/nature23474.

34. Bolshakov M. A., Molodkin I. A., Pugachev S. V. Comparative Analysis of Machine Learning Methods to Assess the Quality of IT Services, *Proceedings of the Workshop «Models and Methods for Researching Information Systems in Transport 2020» on the Basis of the Departments «Information and Computer Systems» and «Higher Mathematics» (MMRIST 2020)*, St. Petersburg, Russia, December 11–12, 2020. *CEUR Workshop Proceedings*, 2021, Vol. 2803, Pp. 142–149. DOI: 10.24412/1613-0073-2803-142-149.

35. Lohvitskii V. A., Khomonenko A. D., Bol'hakov M. A. On the Construction of a Cybervisor for the Intelligent Monitoring and Control of Data Centers, *Automatic Control and Computer Sciences*, 2019, Vol. 53, Is. 8. Pp. 870–873. DOI: 10.3103/S0146411619080169.

36. Shardakov K. S., Bubnov V. P., Kornienko S. V. Modeling the Operation of a Distributed High-Load Monitoring System for a Data Transmission Network in a Non-Stationary Mode, *Proceedings of the Workshop «Models and Methods for Researching Information Systems in Transport 2020» on the Basis of the Departments «Information and Computer Systems» and «Higher Mathematics» (MMRIST 2020)*, St. Petersburg, Russia, December 11–12, 2020. *CEUR Workshop Proceedings*, 2021, Vol. 2803, Pp. 107–116. DOI: 10.24412/1613-0073-2803-107-116.

37. Kosykh N. E., Khomonenko A. D., Bochkov A. P., Kikot A. V. Integration of Big Data Processing Tools and Neural Networks for Image Classification, *Proceedings of Models and Methods of Information Systems Research Workshop 2019 (MMISR 2019)*, St. Petersburg, Russia, December 04–05, 2019. *CEUR Workshop Proceedings*, 2020, Vol. 2556, Pp. 52–58. DOI: 10.24412/1613-0073-2556-52-58.