
**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ
СИСТЕМЫ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**
**MATHEMATICS METHODS AND INFORMATION
SYSTEMS IN CHEMICAL TECHNOLOGY**

ISSN 2410-6593 (Print), ISSN 2686-7575 (Online)

<https://doi.org/10.32362/2410-6593-2020-15-6-77-83>



УДК 666.1:004.942

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

**Информационный метод контроля производства
зеленого стекла**

Р.И. Макаров[@], Е.Р. Хорошева

*Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и
Николая Григорьевича Столетовых, Владимир, 600000 Россия*

[@]Автор для переписки, e-mail: makarov.ruslan@gmail.com

Цели. Технологический процесс производства листового стекла флоат-способом является непрерывным и крупнотоннажным. Европейские автомобили в большинстве (до 90%) имеют зеленую заводскую тонировку стекол, поэтому в процессе производства стекло в своей массе окрашивается в желаемый цвет. Внедрение современных информационных технологий и цифровизация открывают возможности существенного повышения эффективности стекольных производств. Учет количества вытянутого и нарезанного стекла позволяет оценить важный показатель работы производства – коэффициент использования стекла, определяющий долю качественного стекла в процентах в общем объеме выработки. Выход годного стекла зависит от технологических отходов в процессе производства. Для оценки влияния отходов, возникающих на стадиях производства, на коэффициент использования стекла проводился анализ статистических данных работы флоат-линии. Эти выборки отличаются от нормального закона распределения вероятностей, что ограничивает использование традиционных статистических методов контроля. Регрессионные модели не всегда дают точное математическое описание процесса, поскольку дисперсия условного математического ожидания выходной переменной относительно входных не является состоятельной характеристикой связи между входными и выходными переменными. Целью данной работы является исследование применения информационной теории моделирования для анализа и контроля технологического процесса производства зеленого стекла по коэффициенту его использования.

Методы. Методика моделирования технологических цепей имеет некоторые особенности по сравнению с моделированием операций. В ней проводится анализ операций для выявления возможных информационных связей между параметрами, что позволяет проследить за формированием коэффициента использования зеленого стекла в процессе производства. Анализируется влияние на величину коэффициента использования стекла парных и тройных взаимодействий отходов на стадиях производства зеленого стекла.

Результаты. Проведено информационное моделирование технологического процесса формирования коэффициента использования зеленого стекла. Информационный анализ позволяет сделать заключение о достаточности контроля коэффициента использования зеленого стекла в процессе производства по информативно связанными с ним параметрами – отходами на стадиях стекловарения, отжига и отбортовки.

Выводы. Выбранная методика информационного контроля коэффициента использования стекла может применяться в системах менеджмента качества в производстве зеленого стекла флоат-способом.

Ключевые слова: технологический процесс, зеленое листовое стекло, коэффициент использования стекла, информация, моделирование

Для цитирования: Макаров Р.И., Хорошева Е.Р. Информационный метод контроля производства зеленого стекла. *Тонкие химические технологии.* 2020;15(6):77-83. <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2020-15-6-77-83>

RESEARCH ARTICLE

Information method for control of green glass production

Ruslan I. Makarov[@], Elena R. Khorosheva

Alexander and Nikolay Stoletovs Vladimir State University, Vladimir, 600000 Russia

[@]Corresponding author, e-mail: makarov.ruslan@gmail.com

Objectives. The technological process for the production of sheet glass by the float method is continuous and large-scale. Most European cars (up to 90%) are factory-tinted green; the bulk of the glass is painted in the desired color during the production process. The introduction of modern information technologies and digitalization has opened up opportunities for a significant increase in the efficiency of glass production. Accounting for the amount of drawn and cut glass allows you to evaluate an important indicator of the production work—the glass utilization rate, which determines the percentage of quality glass in the total output. The yield of the quality glass depends on the technological waste in the production process. To assess the effect of waste arising at the production stages on the glass utilization rate, an analysis of the statistical data of the float line operation was carried out. These statistical data differ from the normal law of probability distribution, which limits the use of traditional statistical control methods. Regression models do not always give an accurate mathematical description of the process since the variance of the conditional mathematical expectation of the output variable relative to the input is not a consistent characteristic of the relationship between the input and output variables. The purpose of this work is to study the application of information modeling theory for the analysis and control of the technological process of green glass production in terms of its utilization rate.

Methods. The technique of modeling technological chains has some peculiarities with that for operations modeling. It analyzes operations to identify possible information links between parameters. Thus, the process of obtaining the utilization rate of green glass in the production process can be followed. This study analyzes the influence of the paired and triple interactions of waste on the process of affording the utilization rate of glass at the stages of green glass production.

Results. Information modeling of the technological process of affording the utilization rate of green glass in the production process has been carried out. Informational analysis results in a conclusion about the sufficiency of the control of the utilization rate of green glass in the production process according to informatively related parameters—waste at the stages of glass melting, annealing, and flanging.

Conclusions. The selected method of information control of the glass utilization rate can be used in quality management systems in the production of green glass by the float method.

Keywords: technological process, green sheet glass, glass utilization rate, information, modeling

For citation: Makarov R.I., Khorosheva E.R. Information method for control of green glass production. *Tonk. Khim. Tekhnol. = Fine Chem. Technol.* 2020;15(6):77-83 (Russ., Eng.). <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2020-15-6-77-83>

Производство листового стекла флоат-способом относится к химической технологии. Технологический процесс производства является непрерывным и крупнотоннажным. Листовое стекло представляет важнейший вид продукции, вырабатываемой стекольной промышленностью. Наибольшую часть листового стекла используют в промышленности, гражданском, жилищном и сельскохозяйственном строительстве. Крупными потребителями являются автомобилестроение, вагоностроение, железнодорожный транспорт¹.

Европейские автомобили в большинстве (до 90%) имеют зеленую заводскую тонировку стекол, поэтому в процессе производства стекло в своей массе окрашивается в желаемый цвет². Выпуск зеленого стекла освоен на российских стекольных заводах, в том числе в ОАО «Эй Джи Си Борский стекольный завод» (Россия)³ [1].

За последние 10–15 лет в России существенно повысились объемы производства и потребления стекла. Такая ситуация вызвала повышение требований к качеству листового стекла. Планирование и управление многотоннажным производством, к которому относится и производство листового полированного стекла, имеет свои особенности [2]. Технологические процессы таких производств являются непрерывными, многостадийными, взаимообусловленными и инерционными. Внедрение современных информационных технологий и цифровизация открывают возможности существенного повышения эффективности стекольных производств [3–6].

Учет количества вытянутого и нарезанного стекла позволяет оценить важный показатель работы производства – коэффициент использования стекла,

определяющий долю качественного стекла в процентах в общем объеме выработки. Выход годного стекла зависит от технологических отходов в процессе производства^{4,5}. К виду отходов, зависящих от качества ведения процесса варки-выработки листового стекла, относятся пороки варки (пузыри, свиль, камни и др.), пороки формирования ленты стекла (кристаллизация, хлопья олова, разнотолщинность, оптические искажения, видимые в проходящем свете («зебра»), шаговые натиры и посечки от валов, нехватка ширины борта и др.), качество отжига (остаточные напряжения, кривизна, плохая резка стекла), отходы резки и раскроя ленты стекла (посечки, трещины, заколы, царапины с поперечной отрезки и др.).

Для оценки влияния отходов, возникающих в производстве, на коэффициент использования стекла проводился анализ статистических данных работы флоат-линии. Эти выборки отличаются от нормального закона распределения вероятностей, что ограничивает использование традиционных статистических методов контроля. Регрессионные модели не всегда дают точное математическое описание процесса, поскольку дисперсия условного математического ожидания выходной переменной относительно входных, не является состоятельной характеристикой связи между входными и выходными переменными [7–9].

Информационный подход, основанный на принципах дискретизации и разнообразия, позволяет выделить главное, существенное в сложных технических системах [10, 11].

Целью данной работы является исследование применения информационной теории моделирования для анализа и контроля технологического процесса производства зеленого стекла по коэффициенту его использования.

¹ Семенов С. Российский рынок стекла: тенденции, лидеры и перспективы.

URL: https://tybet.ru/content/articles/index.php?SECTION_ID=597&ELEMENT_ID=108091 (обновлено 29.01.2020; дата обращения 23.09.2020) [Semenov S. Rossiiskii rynok stekla: tendentsii, lidery i perspektivy (Russian glass market: trends, leaders and prospects). Available from URL: https://tybet.ru/content/articles/index.php?SECTION_ID=597&ELEMENT_ID=108091 (Updated January 29, 2020; accessed September 23, 2020) (in Russ.).]

² Определение цвета автостекла. URL: <https://www.mega-glass.ru/tsvet/> (дата обращения 23.09.2020) [Opredelenie tsveta avtostekla (Determination of the color of auto glass). Available from URL: <https://www.mega-glass.ru/tsvet/> (Accessed September 23, 2020) (in Russ.).]

³ Автостекла Борского стекольного завода. URL: <https://www.mega-glass.ru/bor/> (дата обращения 23.09.2020) [Autoglasses of the Bor Glass Plant. Available from URL: <https://www.mega-glass.ru/bor/> Accessed September 23, 2020) (in Russ.).]

⁴ Молодкин А.В. Анализ и управление производством листового стекла: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Владимир: Изд. ВлГУ; 2005. 22 с. URL: https://new-disser.ru/_avtoreferats/01002753521.pdf [Molodkin A.V. Analysis and management of sheet glass production. Vladimir: Izd VIGU; 2005. 22 p. URL: https://new-disser.ru/_avtoreferats/01002753521.pdf (in Russ.).]

⁵ Щукин М.В. Исследование и разработка управления производством листового стекла с учетом экологических аспектов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Владимир: Изд. ВлГУ; 2007. 19 с. URL: https://new-disser.ru/_avtoreferats/01003327407.pdf [Shchukin M.V. Research and development of management of the production of sheet glass, taking into account environmental aspects. Vladimir: Izd VIGU; 2007. 19 p. URL: https://new-disser.ru/_avtoreferats/01003327407.pdf (in Russ.).]

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для выявления влияния отходов, возникающих на разных стадиях производства, на коэффициент использования стекла проводился анализ с использованием ретроспективных данных работы флоат-линии в течение 60 суток. Выработка зеленого стекла характеризовалась средней производительностью 168 т в смену со среднеквадратичным отклонением 15 т. Средняя толщина вырабатываемого стекла составляла 3.1 мм со среднеквадратичным отклонением 1.0 мм.

Для проведения анализа был выполнен переход от непрерывных случайных величин к дискретным. Количество интервалов разбиения выбиралось равным четырем из условий оптимальной фильтрации [10, 12]. Оценивание энтропии проводилось для полученных дискретных случайных величин.

Вычисленные по экспериментальным данным значения энтропии анализируемых переменных находились за пределами доверительного интервала кривой нормального распределения, что подтвердило отличие их от нормального закона распределения.

Информационный анализ технологического процесса производства стекла по отдельным стадиям заключается в последовательном определении количества информации с помощью уравнений:

$$I(X_i \rightarrow Y) = H(X_i) + H(Y) - H(X_i Y), \quad i = 1, 2, 3, 4. \quad (1)$$

где $H(X_i)$, $H(Y)$ – оценки энтропии (количественной меры неопределенности) X_i и Y , т.е. оценки информативности; $H(X_i Y)$ – энтропия взаимосвязанных систем (энтропия совместного появления статистически зависимых величин $X_i Y$).

Система уравнений (1) позволяет оценить влияние каждой технологической операции на коэффициент использования стекла.

Степень влияния информации об отходах на стадиях производства на коэффициент использования стекла оценивается с помощью коэффициентов информационной связи:

$$R_i(X_i \rightarrow Y) = I(X_i \rightarrow Y) / H(Y), \quad i = 1, 2, 3, 4. \quad (2)$$

Методика моделирования технологических цепей имеет некоторые особенности по сравнению с моделированием операций. В ней проводится анализ операций для выявления возможных информационных связей между параметрами, что позволяет проследить за процессом формирования коэффициента использования зеленого стекла в производстве [10].

Анализируется влияние на формирование коэффициента использования стекла парных и тройных взаимодействий параметров, связанных с отходами на разных стадиях производства. Информационный

анализ позволяет сделать заключение о достаточности контроля коэффициента использования зеленого стекла в процессе производства по информативно связанным с ним параметрами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведем информационное моделирование технологического процесса формирования коэффициента использования зеленого стекла.

Технологическая цепь производства зеленого стекла (стадии производства) представляется в виде информационного канала, в который поступает информация об отходах на стадиях производства X_i ($i = 1, 2, 3, 4$), последовательно преобразуемая в информацию о коэффициенте использования стекла Y на выходе технологической цепочки.

Оценим количество информации, заключенное в параметре вырабатываемого зеленого стекла по стадиям производства: отходы варки $H(X_1)$, отходы формования $H(X_2)$, отходы отжига $H(X_3)$, отходы отбортовки $H(X_4)$. Количество информации, заключенное в параметрах вырабатываемого стекла, составляет $H(X) = 1.38 \text{ {nat}}$. (Здесь {nat} – логарифмическая единица измерения количества информации).

Определим влияние отходов отдельных стадий производства (X_1, X_2, X_3, X_4) на коэффициент использования стекла (Y). Расчет параметров информационной модели сводится к определению количества информации, передаваемой коэффициенту использования стекла Y от отходов на стадиях производства (X_1, X_2, X_3, X_4). Анализ заключается в последовательном определении количества взаимной информации I между параметрами с помощью системы уравнений (1). Результаты расчетов приведены в таблице.

Информация, передаваемая от параметров X_2 и X_3 к Y , оказалась статистически не значимой, что характеризует отсутствие влияния отходов стадий формование ленты стекла и отжига на коэффициент использования зеленого стекла. Информация, передаваемая от параметра X_1 – отходы варки стекла и X_4 – отходы отбортовки к коэффициенту использования стекла Y , оказалась статистически значимой, что характеризует наличие влияния отходов стекловарения и отбортовки на коэффициент использования зеленого стекла в процессе производства.

Степень влияния информации об отходах на стадиях производства на коэффициент использования стекла определялась с помощью коэффициентов информационной связи (2). Эти результаты также приведены в таблице.

Информационная связь между параметрами трактуется следующим образом: параметр X_1 (отходы варки) 16% информации передает параметру Y (коэффициенту использования стекла), параметр X_4 (отходы отбортовки) 20% информации передает Y .

Анализ влияния отходов отдельных стадий производства
на коэффициент использования стекла
Analysis of the impact of waste from individual stages of production
on the glass utilization rate

Стадии производства листового стекла Stages of sheet glass production	Количество информации, передаваемое коэффициенту использования стекла $I(X \rightarrow Y)$ Amount of information transmitted to the glass utilization rate $I(X \rightarrow Y)$	Степень влияния информации об отходах на коэффициент использования стекла $R(X \rightarrow Y)$ Impact of waste information on the glass utilization rate $R(X \rightarrow Y)$	Статистическая значимость передаваемой информации Statistical significance of transmitted information
Отходы варки, X_1 Melting waste, X_1	0.23	0.16	значимая significant
Отходы формования, X_2 Molding waste, X_2	0.05	0.04	не значимая insignificant
Отходы отжига X_3 Annealing waste, X_3	0.13	0.10	не значимая insignificant
Отходы отбортовки, X_4 Flanging waste, X_4	0.27	0.20	значимая significant

Расчеты показали слабую информационную связь между отходами на отдельных стадиях производства с коэффициентом использования зеленого стекла.

Используя основные положения теории информации, определим последовательное приращение информации, передаваемой выходному параметру Y после каждой операции [10]:

$$I(X_1 \rightarrow Y) = 0.23;$$

$$I(X_4 \rightarrow Y / X_1, X_3) = 0.52.$$

Степень влияния приращения информации на коэффициент использования стекла Y определим с помощью коэффициента информационной связи:

$$R_1(X_1 \rightarrow Y) = 0.16;$$

$$R_4(X_4 \rightarrow Y / X_1, X_3) = 0.38.$$

Проведем анализ влияния на процесс формирования коэффициента использования стекла парных и тройных взаимодействий параметров, связанных с отходами на разных стадиях производства [10]:

$$I(X_1, X_4 \rightarrow Y) = 0.52;$$

$$R_{14}(X_1, X_4 \rightarrow Y) = 0.38;$$

$$I(X_1, X_3, X_4 \rightarrow Y) = 1.04;$$

$$R_{134}(X_1, X_3, X_4 \rightarrow Y) = 0.75.$$

Так, информация от парного взаимодействия параметров X_1, X_4 составляет 38% информации параметра Y , информация от тройного взаимодействия параметров X_1, X_3, X_4 – 75% информации Y .

Применению информационных методов в управ-

лении качеством посвящены работы, приведенные в монографии [10]. Полученные результаты исследований согласуются с ранее опубликованными авторами работами [13, 14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный информационный анализ позволяет сделать заключение о том, что контроль зеленого стекла в процессе производства достаточно вести по трем параметрам – отходам на стадиях стекловарения X_1 , отжига X_3 и отбортовки X_4 как наиболее информативно связанных с коэффициентом использования стекла.

Предложенная методика информационного контроля коэффициента использования зеленого стекла может использоваться в системах менеджмента качества в производстве стекла флоат-способом.

Финансовая поддержка

Данное исследование не имело какой-либо финансовой поддержки от сторонних организаций.

Financial support

This study did not have any financial support from outside organizations.

Вклад авторов

Все авторы в равной степени внесли свой вклад в исследовательскую работу.

Authors' contribution

All authors equally contributed to the research work.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жималов А.Б., Горина И.Н., Полкан Г.А., Бондарева Л.Н. Способ производства зеленого теплопоглощающего стекла для транспорта и строительства: пат. РФ 2514868. Заявка № 2012152683/03; заявл. 06.12.2012; опубл. 10.05.2014. Бюл. № 13.
<http://www.freepatent.ru/patents/2514868>
2. Mokiychenko A.V., Makarov R.I. Effectiveness of control of the float glass production process. *Glass Ceram.* 2013;70(7-8):245-246.
<https://doi.org/10.1007/s10717-013-9553-2>
3. Makarov R.I., Khorosheva E.R. Salient aspects of the implementation of digital economics in glass plants in Russia. *Glass Ceram.* 2019;75(11-12):438-440.
<https://doi.org/10.1007/s10717-019-00107-4>
4. Levkovskii D.I., Makarov R.I. Use of neural net models for statistical analysis and regulation of glass ribbon formation on tin melt. *Glass Ceram.* 2008;65(5-6):190-192.
<https://doi.org/10.1007/s10717-008-9036-z>
5. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации, пер. с польск. И.Д. Рудинского. М.: Горячая линия – Телеком; 2019. 448 с. ISBN 978-5-9912-0510-8
6. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. Серия «Системы и проблемы управления». М.: СИНТЕГ; 2000. 528 с. ISBN 5-89638-042-9
7. Makarov R.I. Statistical description of technological process in class production. *Glass Ceram.* 2014;71(3-4):121-123.
<https://doi.org/10.1007/s10717-014-9632-z>
8. Райбман Н.С., Чадеев В.М. Построение моделей процессов производства. М.: Энергия; 1975. 376 с.
9. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: ЮНИТИ-ДАНА; 2009. 573 с. ISBN 978-5-238-01270-4
10. Григорович В.Г., Юдин С.В., Козлова Н.О., Шильдин В.В. Информационные методы в управлении качеством. М.: Стандарты и качество; 2001. 208 с. ISBN 5-901397-03-7.
11. Кавалеров Г.И., Мандельштам С.М. Введение в информационную теорию измерений. М.: Энергия; 1974. 376 с.
12. Боровков А.А. Математическая статистика. Оценка параметров. Проверка гипотез. М.: Наука; 1984. 472 с.
13. Makarov R.I. Sheet-Class quality improvement based on statistical analysis of class-production monitoring. *Glass Ceram.* 2015;71(9-10):350-352.
<https://doi.org/10.1007/s10717-015-9685-7>
14. Makarov R.I., Khorosheva E.R. Information Analysis of the Sheet-Glass Utilization Factor in Production. *Glass Ceram.* 2020;77:295-297.
<https://doi.org/10.1007/s10717-020-00292-7>

REFERENCES

1. Zhimalov A.B., Gorina I.N., Polkan G.A., Bondareva L.N. Method of producing green heat-absorbing glass for vehicles and construction: RU Pat. 2514 868, 2014. (in Russ.).
<http://www.freepatent.ru/patents/2514868>
2. Mokiychenko A.V., Makarov R.I. Effectiveness of control of the float glass production process. *Glass Ceram.* 2013;70(7-8):245-246.
<https://doi.org/10.1007/s10717-013-9553-2>
3. Makarov R.I., Khorosheva E.R. Salient aspects of the implementation of digital economics in glass plants in Russia. *Glass Ceram.* 2019;75(11-12):438-440.
<https://doi.org/10.1007/s10717-019-00107-4>
4. Levkovskii D.I., Makarov R.I. Use of neural net models for statistical analysis and regulation of glass ribbon formation on tin melt. *Glass Ceram.* 2008;65(5-6):190-192.
<https://doi.org/10.1007/s10717-008-9036-z>
5. Osovskii S. *Neironnye seti dlya obrabotki informatsii.* (Neural networks for information processing), transl. from Polish by I.D. Rudinskiy. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom; 2019. 448 p. (in Russ.). ISBN 978-5-9912-0510-8
6. Prangishvili I.V. *Sistemnyi podkhod i obshchesistemnye zakonomernosti. Seriya "Sistemy i problemy upravleniya"* (System approach and system-wide patterns. Series "Systems and Control Problems"). Moscow: SINTEG; 2000. 528 p. (in Russ.). ISBN 5-89638-042-9
7. Makarov R.I. Statistical description of technological process in class production. *Glass Ceram.* 2014;71(3-4):121-123.
<https://doi.org/10.1007/s10717-014-9632-z>
8. Raibman N.S., Chadeev V.M. *Postroenie modelei protsessov proizvodstva* (Building models of production processes). Moscow: Energiya; 1975. 376 p. (in Russ.).
9. Kremer N.Sh. *Teoriya veroyatnostei i matematicheskaya statistika* (Theory of Probability and Mathematical Statistics). Moscow: UNITI-DANA; 2009. 573 p. (in Russ.). ISBN 978-5-238-01270-4
10. Grigorovich V.G., Yudin S.V., Kozlova N.O., Shil'din V.V. *Informatsionnye metody v upravlenii kachestvom* (Information methods in quality management). Moscow: Standarty i kachestvo; 2001. 208 p. (in Russ.). ISBN 5-901397-03-7.
11. Kavalero G.I., Mandel'shtam S.M. *Vvedenie v informatsionnyuyu teoriyu izmerenii* (An introduction to informational measurement theory). Moscow: Energiya; 1974. 376 p. (in Russ.).
12. Borovkov A.A. *Matematicheskaya statistika. Otsenka parametrov. Proverka gipotez* (Mathematical statistics. Parameter estimation. Hypothesis testing). Moscow: Nauka; 1984. 472 p.
13. Makarov R.I. Sheet-Class quality improvement based on statistical analysis of class-production monitoring. *Glass Ceram.* 2015;71(9-10):350-352.
<https://doi.org/10.1007/s10717-015-9685-7>
14. Makarov R.I., Khorosheva E.R. Information Analysis of the Sheet-Glass Utilization Factor in Production. *Glass Ceram.* 2020;77:295-297.
<https://doi.org/10.1007/s10717-020-00292-7>

Об авторах:

Макаров Руслан Ильич, доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем и программной инженерии ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (600000, Россия, Владимир, ул. Горького, 87). E-mail: makarov.ruslan@gmail.com. Scopus Author ID 7003617820, Researcher ID AAG-7101-2019, <https://orcid.org/0000-0002-6247-424X>

Хорошева Елена Руслановна, доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем и программной инженерии ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (600000, Россия, Владимир, ул. Горького, 87), E-mail: khorosheva@vlsu.ru. Scopus Author ID 6603182519, Researcher ID AAD-6252-2019, <https://orcid.org/0000-0003-4941-0863>

About the authors:

Ruslan I. Makarov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Department of Information Systems and Software Engineering, Alexander and Nikolay Stoletovs Vladimir State University (87, Gorkogo ul., Vladimir, 600000, Russia). E-mail: makarov.ruslan@gmail.com. Scopus Author ID 7003617820, Researcher ID AAG-7101-2019, <https://orcid.org/0000-0002-6247-424X>

Elena R. Khorosheva, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Department of Information Systems and Software Engineering, Alexander and Nikolay Stoletovs Vladimir State University (87, Gorkogo ul., Vladimir, 600000, Russia). E-mail: khorosheva@vlsu.ru. Scopus Author ID 6603182519, Researcher ID AAD-6252-2019, <https://orcid.org/0000-0003-4941-0863>

*Поступила: 21.09.2020; получена после доработки: 12.11.2020; принята к опубликованию: 18.11.2020.
The article was submitted: September 21, 2020; approved after reviewing: November 12, 2020; accepted for publication: November 18, 2020.*