

## Структурно-параметрическая модель системы проектирования

В. Г. Мешков<sup>1</sup> ✉, Д. Е. Искра<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»  
ГСП-4, Вадковский пер. 1, г. Москва 127994, Российская Федерация

✉ e-mail: 111675@mail.ru

### Резюме

**Цель исследования.** В процессе проектирования у разработчиков, занимающихся решением профессиональных вопросов, связанных с разработкой новых методов и средств проектирования, неизбежно появляются проблемы, связанные с моделированием автоматизируемых и проектируемых объектов. Проведенный анализ проблем проектирования сложных систем показал, что недостатки процесса проектирования появляются, в частности, из-за неполной генерации возможных вариантов проектов, а также их частичного упорядочения. При этом имеется определенная несбалансированность свойств систем проектирования и возникает проблема отсутствия адекватных методов описания процессов проектирования.

**Методы.** В процессе частичного упорядочения допустимых вариантов проектов при определении структуры системы проектирования на этапе генерации используется структура некоторой порождающей грамматики, которая должна обладать, в первую очередь, управляющими свойствами, обеспечивающими частичное упорядочение вариантов уже в процессе генерации. Кроме этого, для учета изменений состава и параметров проектных решений порождающая грамматика должна обладать адаптивными свойствами, что определяет необходимость в выборе соответствующего способа адаптивного управления процессом порождения, учитывающего, например, частую повторяемость процесса проектирования.

**Результаты.** Определена модель формализованной распознающей системы при выборе варианта проекта, представленного в классе распознающих грамматик. Приведены правила формирования элементов распознающих грамматик, а алфавит может быть представлен многоальтернативной вероятностной сетью проектных вариантов. Рассмотрен выбор типа эталона объекта проектирования, определены элементы структуры системы проектирования.

**Заключение.** Структура системы проектирования может быть параметрически доопределена на основании правил формирования элементов распознающих грамматик, а возможности порождения вариантов могут быть согласованы с ее распознающими возможностями, при этом выбор структуры и прогнозирование параметров проектов производится с учетом количества и свойств ресурсов проектирования. Необходимо отметить, что обеспечение только свойств системы проектирования, сокращающих описание процесса, может привести к трудностям распознавания вариантов. В то же время выбор адаптивной структуры системы проектирования позволяет построить языковую систему с изменяемыми свойствами, обеспечивающими требуемое сокращение или расширение описания проекта.

**Ключевые слова:** система проектирования; порождающая грамматика; распознающие грамматики; эталон объекта проектирования; классы алфавита.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Для цитирования:** Мешков В. Г., Искра Д. Е. Структурно-параметрическая модель системы проектирования // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020; 24(4): 244-255. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-4-244-255>.

Поступила в редакцию 30.09.2020

Подписана в печать 19.10.2020

Опубликована 30.12.2020

## Structural-Parametric Model of the Design System

Valeriy G. Meshkov <sup>1</sup> ✉, Dmitriy E. Iskra <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Moscow State University of Technology «STANKIN»  
GSP-4., 1 Vadkovkiy ave., Moscow 127994, Russian Federation

✉ e-mail: 111675@mail.ru

### Abstract

**Purpose of research.** In the design process developers dealing with professional issues related to the development of new design methods and tools inevitably face problems associated with the modeling of automated and designed objects. The analysis of the problems of designing complex systems have shown that the disadvantages of the design process appear, in particular, due to the incomplete generation of possible project options, as well as their partial ordering. At the same time, there is a certain imbalance in the properties of design systems and the problem of the lack of adequate methods for describing design processes arises.

**Methods.** In the process of partial ordering of acceptable project options, when determining the structure of the design system at the generation stage, the structure of some generative grammar is used, which should have, first of all, control properties that provide a partial ordering of options already in the generation process. In addition, to take into account changes in the composition and parameters of design solutions, the generative grammar must have adaptive properties, which determines the need to choose an appropriate method for adaptive control of the generation process, taking into account, for example, the frequent repetition of the design process.

**Results.** A model of a formalized recognition system is determined when choosing a project variant presented in the class of recognizing grammars. Rules for the formation of elements of recognizing grammars are given, and the alphabet can be represented by a multi-alternative probabilistic network of design options. The choice of the design object type is considered, the elements of the design system structure are determined.

**Conclusion.** The structure of the design system can be parametrically determined based on the rules for generating elements of recognizing grammars, and the possibilities for generating variants can be coordinated with its recognizing capabilities, while the choice of the structure and forecasting of project parameters is made taking into account the number and properties of design resources. It should be noted that providing only the properties of the design system that reduce the description of the process can lead to difficulties in recognizing variants. At the same time, the choice of an adaptive design system structure allows you to build a language system with variable properties that provide the required reduction or expansion of the project description.

**Keywords:** design system; generative grammar; recognizing grammar; standard of design object; alphabet classes.

**Conflict of interest.** The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**For citation:** Meshkov V. G., Iskra D. E. Structural-Parametric Model of the Design System. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2020; 24(4): 244-255 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-4-244-255>.

Received 30.09.2020

Accepted 19.10.2020

Published 30.12.2020

## Введение

При исследовании проблем проектирования сложных систем, к которым, в частности, относятся автоматизированные системы информатизации и управления, выявляются определенные недостатки процесса проектирования. Проведенный анализ проблем показал, что эти недостатки появляются вследствие неполной генерации возможных вариантов проектов, определенной несбалансированности свойств систем проектирования, их неэффективной организации, а также отсутствия адекватных методов описания процессов проектирования.

Сложность проектирования таких систем не позволяет в необходимой степени проводить натурные эксперименты, что предопределяет важную роль моделей построения и организации функционирования систем проектирования.

На ранних этапах развития систем автоматизированного проектирования было невозможно реализовать идею параметрического проектирования по естественной на то время причине – недостаточной компьютерной производительности. Естественно, что в современных условиях возможности, предоставляемые системами в области параметризации, несоизмеримо выше.

## Материалы и методы

Структуру системы проектирования на этапе генерации – частичного упоря-

дочения допустимых вариантов проектов – определяет структура некоторой порождающей грамматики (ПГ). Такая ПГ должна обладать, прежде всего, управляющими свойствами, обеспечивающими частичное упорядочение вариантов уже в процессе генерации [1].

Для учета изменений состава и параметров проектных решений ПГ должна обладать адаптивными свойствами, что определяет необходимость в выборе соответствующего способа адаптивного управления процессом порождения, учитывающего, например, частую повторяемость процесса проектирования.

Такие требования могут быть удовлетворены путем разработки соответствующих методов классификации алфавита ПГ, выбора начального символа ПГ в процессе порождения вариантов, а также правил порождения [2].

Включаемые в алфавит ПГ модели должны обеспечивать полноту отображения объекта проектирования, эффективность, адекватность, агрегируемость и последовательное уточнение параметров проектов. Эти требования позволяют установить основания для классификации алфавита ПГ. Одним из оснований для классификации являются типы моделей производственных функций объектов автоматизации. В алфавите ПГ выделяется класс моделей существования проектных решений, если объект проектирования задан производственной функцией вида

$$Y_c = \Phi(\alpha_k, X_k), k=1, 2, \dots$$

при ограничении вида  $Y_c > B_c$ ,  $\sum_k X_k \geq P_c$ , где  $\alpha$ ,  $B$  и  $P$  – константы;  $Y$  – параметры целей;  $X$  – параметры ресурсов.

Класс моделей-генераторов (настраиваемых проектных решений) отображает производственную функцию вида

$$Y_r = A_c X_1^{\alpha_1} X_1^{\alpha_2},$$

которая существует при  $B_r \leq Y_r \leq B_{r2}$ ;

$$P_{k1} \leq X_k \leq P_{k2}; \alpha_k = \Phi(X_k).$$

Модели-реализации (отдельные проектные решения) отображают производственные функции вида  $Y_p = \alpha_0 X_1^{\alpha_1} X_1^{\alpha_2}$ , которые существуют лишь при фиксированных значениях  $x$  и  $\alpha$ .

Основаниями для классификации элементов библиотеки являются классы проектных решений по различным видам обеспечения, по области применения ( типовые проектные решения, пакеты прикладных программ) и т.д.

Для массовых объектов проектирования начальный символ ПГ должен быть представлен как эталон объекта проектирования, под которым понимается такой реализуемый вариант проекта, «подражание» которому гарантирует достижение за минимальное время заданных проектных параметров по множеству разрабатываемых проектов.

Оценка и выбор эталона объекта проектирования могут быть выполнены на основе анализа асимптотических рядов функций, отображающих изменение проектных параметров на заданных временных интервалах или этапах проектирования.

На этой основе построена методика определения научно-технического уров-

ня проектов АСУП. При этом процедура формирования асимптотических рядов выполнялась с применением экспертных оценок.

Заданные таким образом алфавит (библиотека), классы алфавита и начальные символы (эталонные) существенно неоднородны. Это приводит к необходимости разработки специальных правил подстановки для различных подмножеств алфавита ПГ и эталонных элементов объекта проектирования (инструктивная часть системы проектирования), закрепленных за различными проектировщиками, специализирующимися на выполнении отдельных проектных операций (организационная часть системы проектирования) [3, 4].

Развитие инструктивной части определяется, таким образом, необходимостью введения новых правил подстановки при появлении новых классов проектных решений, а развитие организационной части – числом реализаций проектных решений различных классов.

Установленные таким образом элементы порождающей грамматики определяют структуру системы проектирования (табл. 1).

Классификация способов представления множества вариантов проектов определяется двумя факторами: характером отношения между эталоном и элементом библиотеки, которое устанавливает проектировщик на основе локальных правил порождения, и характером связывания одних фрагментов сети вариантов с другими фрагментами [5].

**Таблица 1.** Структура системы проектирования**Table 1.** Structure of the design system

Элемент системы проектирования / Element of the design system	Характеристика / Characteristics
Библиотека (алфавит ПГ и классы алфавита)	Множество проектных решений, описанных на семантическом языке и распределенных по классам
Эталон (начальный символ ПГ)	Вариант проекта, который задает состав классов элементов проекта, определяет топологию многоальтернативной сети вариантов, обеспечивает требуемые временные параметры процесса достижения проектных параметров
Организационная часть (виды правил порождения частичного упорядочения вариантов)	Определяет специализацию экспертов-проектировщиков на множестве классов проектных решений
Инструктивная часть	Процедуры генерации вариантов, осуществляемые экспертами

Для того чтобы в полной мере использовать возможности генерации вариантов проектов, осуществляемой в системе проектирования на основе правил порождающих грамматик (ПГ), необходимо обеспечить также соответствующие распознающие возможности для выбора максимального варианта проекта за минимальное время при ограниченных ресурсах проектирования. Формализованная распознающая система, обеспечивающая согласованную работу проектировщиков при выборе варианта проекта, может быть представлена в классе распознающих грамматик (РГ). РГ состоит из таких элементов, как классы алфавита, начальный символ (распознаваемый класс проектов), правила распознавания, обеспечивающие в совокупности заданные свойства РГ.

Алфавит РГ образуется в результате работы ПГ и может быть представлен многоальтернативной вероятностной сетью проектных вариантов (МВС) [6].

Классификация алфавита должна учитывать необходимость представления РГ как управляющей системы, обеспечивающей направленный характер процесса выбора максимального варианта проекта. Выбор управлений определяют методы оценки отдельных свойств отношений между вариантами проектов (транзитивность, рефлексивность, симметричность и т. д.). В качестве управляемого параметра целесообразно применение некоторой интегральной оценки отношений между вариантами, объединенными в МВС. Значения этой оценки, ограниченные так, что они соответствуют условиям перехода к но-

вому типу отношений (толерантность – эквивалентность, эквивалентность – частичный порядок и т. д.), могут быть выбраны как основания для классификации алфавита РГ.

Основанием для классификации алфавита РГ, заданного МВС, может быть величина энтропии  $H$  [7].

Выбор начального символа РГ должен определяться оценками отношений на множестве вариантов проекта, величиной и свойствами ресурсов, расходуемых на упорядочение и выбор вариантов. Это требует получения единых оценок различных видов ресурсов, затрачиваемых на натурный эксперимент, организацию деятельности проектировщика (экспертный эксперимент), построение характеристик отношений при выборе максимального варианта проекта [8, 9].

Выбор начального символа РГ может быть основан на анализе соотношения, связывающего оценки отношений на множестве вариантов проектов  $H$  с расходом ресурсов проектирования  $R$ , в виде

$$H = H_{\max} \Phi(R),$$

где  $H_{\max}$  – исходная энтропия МВС;  $\Phi(R)$  – функция, отображающая влияние расхода ресурса  $R$  на изменение  $H$ .

Свойства  $\Phi(R)$  позволяют представить ее в классе экспонент, поскольку при  $R \rightarrow \infty$   $H \rightarrow 0$ ,

$$\text{при } R \rightarrow 0 \quad H \rightarrow H_{\max}, \quad \frac{\partial H}{\partial R} < 0, \quad \frac{\partial^2 H}{\partial R^2} > 0.$$

Полученное соотношение позволяет выбрать класс распознаваемых проектов при заданных ресурсах. Однако

при этом эквивалентность используемых ресурсов существенно зависит от возможности различать проектные варианты экспертом-проектировщиком при различных видах отношения между ними. Это обстоятельство обосновывает необходимость установления связи между информационными оценками отношений и ресурсами проектирования в виде последовательности функций, отображающих особенности каждого этапа выбора [10-12].

Характеристику моделей, входящих в состав системы проектирования (библиотека, инструктивная часть), целесообразно находить как функцию, зависящую от величины ресурсов, затрачиваемых на натурный эксперимент при решении некоторой проектной проблемы с учетом максимально возможной скорости их расхода, а также от затрат ресурсов на построение моделей, проверку их адекватности и затрат времени на моделирование. Такая оценка моделей системы проектирования в конкретных условиях характеризует ее информационный ресурс при выборе из множества вариантов, отображаемых некоторой МВС.

Эти результаты обеспечивают возможность выбора начального символа РГ, отображающего класс распознаваемых проектов с учетом свойств ресурсов проектирования, их количества, особенностей деятельности эксперта-проектировщика, и позволяют выбрать структуру проекта. Эффективность применения многоступенчатой функции

соответствия  $H = \Phi(R)$  определяется целесообразностью представления проекта сложного объекта в виде нескольких частей проекта с различными свойствами, например, части проекта с ненулевым риском (Д-проект) и части проекта, определяющей компенсацию риска при внедрении (С-проект). Проект такой структуры определяет начальный символ РГ, отображающий процедуры выбора варианта в системе проектирования [13].

При ограничении на ресурсы и время выбор такого начального символа позволяет оптимизировать соотношение между ресурсами, которые могут быть эффективно использованы при проектировании и внедрении, повышает готовность к компенсации риска на стадии внедрения проектов.

Правила подстановки при описании процесса распознавания максимального варианта проекта выбираются на основе оптимизации затрат ресурсов при достижении заданного значения  $H$  при ограничении на ресурсы и время упорядочения с учетом свойств различных ресурсов [7]. Изменение ценности  $\Phi_c(R)$  различных ресурсов в процессе упорядочения множества вариантов проектов можно представить как монотонную дифференцируемую функцию, которая может быть представлена в виде

$$\Phi_c(R) = a^{-\gamma R} R^k = e^{-\delta R} R^k,$$

где  $\gamma, k$  – некоторые положительные константы;  $\delta = \gamma \ln a$ .

Переменные функции  $\Phi_c(R)$  имеют определенный физический смысл.

Величина  $a$  характеризует среднее число альтернатив, приходящихся на один узел МВС:

$$a = \frac{1}{r} \sum_{i>1}^r m_i,$$

где  $m_i$  – мощность подмножества библиотеки системы проектирования, соответствующего  $i$ -му элементу эталона объекта проектирования. Величина  $u$  характеризует число узлов МВС. Величина  $k$  интерпретируется как модуль разности энтропий – исходной и упорядоченной с помощью данного ресурса МВС [14, 15].

Оптимальные значения

$$R_{\text{опт}} = k/\delta \quad [\text{при } \Phi_c(R) \rightarrow \max] \text{ и}$$

$$H_{\text{опт}} = \exp\left(-k/\delta\right) \text{ следуют из соотношения } \frac{\partial \Phi_c(R)}{\partial R} = 0.$$

Анализ  $\Phi_c(R)$  позволяет оптимизировать допустимый риск  $H_{\text{доп}}$ , выбрать число ступеней функций соответствия, однако для этого требуется оценить величину  $R$  для каждого из видов ресурсов проектирования, в том числе ресурсов натурального эксперимента, а также моделей системы проектирования.

## Результаты и их обсуждение

Оценки моделей как информационных ресурсов определяются свойствами конкретной многоальтернативной вероятностной сетью. Важнейшее свойство моделей как информационных ресурсов заключается в существенно более высокой скорости получения информации

по сравнению с другим заменяющим ее ресурсом. Для оценки величины информационных ресурсов некоторой модели может быть использовано следующее соотношение:

$$R_M = R_{н.э.}(T_{н.э.}) - Z_{м.р.} \Gamma(n) - R_{н.э.}^a(T_{н.э.}^a, X_{н.э.}^a) - Z_{м.п.}(T_M; X_M),$$

где  $R_{н.э.}(T_{н.э.})$  – ресурсы, требуемые для проведения натурального эксперимента по упорядочению множества проектных вариантов за время  $T_{н.э.}$ ;  $Z_{м.р.}$  – затраты на разработку модели;  $\Gamma(n)$  – функция, зависящая от числа случаев  $n$  применения модели [ $\Gamma(1)=1$  в случае однократного использования модели];  $Z_{м.п.}(T_M; X_M)$  – затраты на упорядочение множества вариантов проектов в зависимости от времени моделирования и точности воспроизведения моделируемого процесса  $X_M$ ),  $R_{н.э.}^a(T_{н.э.}^a, X_{н.э.}^a)$  – затраты на оценку адекватности применяемой модели средствами натурального эксперимента за время  $T_{н.э.}^a$  и с точностью  $X_{н.э.}^a$ .

## Выводы

Структура системы проектирования может быть параметрически доопределена на основании правил формирования элементов распознающих грамматик, а возможности порождения вариантов могут быть согласованы с ее распознающими возможностями, при этом выбор структуры и прогнозирование параметров проектов производится с учетом количества и свойств ресурсов проектирования.

При этом полученные результаты дают возможность определения перечня проектных работ, который необходимо провести с применением автоматизированных методов проектирования. Кроме того, будут оптимизированы ресурсы проектирования, а также появится возможность сокращения затрат на проведение эксперимента и уменьшение срока процесса проектирования.

При рассмотренном подходе к формализации объектами автоматизации процесса проектирования могут быть:

- операции классификации алфавита семантического языка, используемого для порождения допустимых вариантов проектов в соответствии с составом структурных компонентов адаптивной системы управления процессом проектирования;
- операции выбора начального символа ПГ в виде эталона объекта проектирования при генерации вариантов;
- операции генерации вариантов, завершающиеся синтезом многоальтернативных вероятностных графов, отображающих варианты проектов и отношения между ними;
- операции классификации множества допустимых проектов на основе информационных оценок отношений между ними;
- операции выбора распознаваемого класса проектов на основе оценок типа отношений между вариантами, достигаемого с учетом ограничений на величину и вид ресурсов проектирования;

– операции распознавания максимального варианта проекта, основанные на процедурах оптимизации соотношения между экспертным, натурным и модельным экспериментами. Автоматизация этих операций определяется ис-

пользованием языковых средств рассмотренной структуры и может обеспечить согласованную работу проектировщиков на различных этапах процесса проектирования.

### Список литературы

1. Мешков В.Г., Искра Д.Е. Структурная модель системы проектирования // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2020. № 4 (55). С. 88-90.
2. Velykodniy S. Analysis and synthesis of the results of complex experimental research on reengineering of open cad systems // Applied Aspects of Information Technology. 2019. Vol. 2. № 3. P. 186-205.
3. Капитанов А.В., Попов А.П., Феофанов А.Н. Интегрированные производственные системы // Сварочное производство. 2019. № 7. С. 53-56.
4. Баранов Н.Е., Феофанов А.Н. Управление изменениями в АСУ производством: проблематика исследований // Технология машиностроения. 2019. № 2. С. 65-71.
5. Феофанов А.Н., Баранов Н.Е. Обзор развития АСУ производством и типовые риски внедрения системы // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2019. № 3. С. 116-119.
6. Kapitanov A., Kozlova A., Tyasto S. The information model of the modern digital production // MATEC Web of Conferences. 2018. С. 20–25.
7. Дьяченко А.Г., Савостина Т.П. Методологические особенности использования параметризации при проектировании // Инновации в машиностроении: сборник трудов IX Международной научно-практической конференции / под ред. А.М. Маркова, А.В. Балашова, М.В. Доц. Барнаул, 2018. С. 513-517.
8. Соломенцев Ю.М., Фролов Е.Б., Феофанов А.Н. Эффективное управление производством – основа потенциала технологической системы // Вестник машиностроения. 2017. №5. С. 84-86.
9. Использование моделирования для решения задач проектирования технологической оснастки в компьютерной среде / А.В. Рыбаков, С.А. Евдокимов, А.А. Краснов, С.А. Шептунов, А.Н. Шурпо // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2019. Т. 1, №3(39). С. 68-74.
10. Личаргин Д.В., Усова А.А., Ладе А.В. Генерация подмножеств естественного языка на основе гибридизации порождающих грамматик и многомерных баз данных // Современные наукоемкие технологии. 2017. №1. С. 46-50.
11. Рязанов Ю.Д., Назина С.В. Минимизация контекстно-свободных грамматик // Прикладная дискретная математика. 2019. №45. С. 90-96.

12. Митрофанов В.Г., Капитанов А.В., Попов А.П. Проектирование автоматизированных машиностроительных производств: монография // Сер. Управление качеством технологических процессов в машиностроении / ЗАО «ОНИКС». Тольятти, 2013.

13. Ivashkin Y.A., Blagoveschensky I.G., Nikitina M.A. Neural network and agent technologies in the structural-parametric modeling of technological systems // CEUR Workshop Proceedings. «ОПТА-SCL 2018 - Proceedings of the School-Seminar on Optimization Problems and their Applications» 2018. P. 169-180.

14. Колыбенко Е.Н. Разграничение понятий «структурно-функционально-параметрическая модель» и «параметрическая модель» информационных объектов знаний // Вестник Донского государственного технического университета. 2020. Т. 20, № 1. С. 106-111.

15. Gabriele Pasetti Monizza, Cristina Bendetti, Dominik T.Matt. Parametric and generative design techniques in mass-production environments as effective enablers of Industry 4.0 approaches in the Building Industry // Automation in Construction. 2018. Vol. 92. P. 270-285.

## References

1. Meshkov V. G., Iskra D. E. Strukturnaya model' sistemy proektirovaniya [Structural model of the design system]. *Vestnik MGTU «STANKIN» = Bulletin MSTU «STANKIN»*, 2020, no. 4 (55), pp. 88-90 (In Russ.).

2. Velykodniy S. Analysis and synthesis of the results of complex experimental research on reengineering of open cad systems. *Applied Aspects of Information Technology*, 2019, vol. 2, no. 3, pp. 186-205.

3. Kapitanov A.V., Popov A.P., Feofanov A.N. Integrirovannyye proizvodstvennyye sistemy [Integrated production systems]. *Svarochnoe proizvodstvo = Welding Production*, 2019, no. 7, pp. 53-56 (In Russ.).

4. Baranov N.E., Feofanov A.N. Upravlenie izmeneniyami v ASU proizvodstvom: problematika issledovaniy [Management of changes in automated control systems by production: problems of research]. *Tekhnologiya mashinostroeniya = Mechanical Engineering Technology*, 2019, no. 2, pp. 65-71 (In Russ.).

5. Feofanov A. N., Baranov N. E. Obzor razvitiya ASU proizvodstvom i tipovye riski vnedreniya sistemy [Review of the development of automated control systems by production and typical risks of system implementation]. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennyye i tekhnicheskie nauki = Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences*, 2019, no. 3, pp. 116-119 (In Russ.).

6. Kapitanov A., Kozlova A., Tyasto S. The information model of the modern digital production. *MATEC Web of Conferences*, 2018, pp. 20–25.

7. D'yachenko A.G., Savostina T.P. [Methodological features of using parameterization in design]. *Innovacii v mashinostroenii. Sbornik trudov IX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Innovations in mechanical engineering. In the collection Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference]. Barnaul, 2018, pp. 513-517 (In Russ.).

8. Solomentsev Yu. M., Frolov E. B., Feofanov A. N. Effektivnoe upravlenie proizvodstvom – osnova potenciala tekhnologicheskoy sistemy [Effective production management – the basis of the potential of the technological system]. *Vestnik mashinostroeniya. = Bulletin of Mechanical Engineering*, 2017, no.5, pp. 84-86 (In Russ.).

9. Rybakov A.V., Evdokimov S. A., Krasnov A. A., Sheptunov S. A., Shurpo A. N. Ispol'zovanie modelirovaniya dlya resheniya zadach proektirovaniya tekhnologicheskoy osnastki v komp'yuternoy srede [Use of modeling for solving problems of designing technological equipment in a computer environment]. *Uchenye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Scientific Notes of Komsomolsk-on-Amur State Technical University*, 2019, vol. 1, no.3(39), pp. 68-74 (In Russ.).

10. Lichargin D. V., Usova A.A, Lade A.V. Generaciya podmnozhestv estestvennogo yazyka na osnove gibridizacii porozhdayushchih grammatik i mnogomernyh baz dannyh [Generation of natural language subsets based on hybridization of generative grammars and multidimensional databases]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii = Modern Science-Intensive Technologies*, 2017, no.1, pp. 46-50 (In Russ.).

11. Ryazanov Yu. D., Nazina S. V. Minimizaciya kontekstno-svobodnyh grammatik [Minimization of context-free grammars]. *Prikladnaya diskretnaya matematika = Applied Discrete Mathematics*, 2019, no.45, pp. 90-96 (In Russ.).

12. Mitrofanov V. G., Kapitanov A.V., Popov A. P. *Proektirovanie avtomatizirovannyh mashinostroitel'nyh proizvodstv* [Design of automated machine-building productions: monograph.]. Togliatti, 2013 (In Russ.).

13. Ivashkin Y.A., Blagoveschensky I.G., Nikitina M.A. Neural network and agent technologies in the structural-parametric modeling of technological systems. CEUR Workshop Proceedings. «OPTA-SCL 2018 - Proceedings of the School-Seminar on Optimization Problems and their Applications», 2018, pp. 169-180.

14. Kolybenko E.N. Razgranichenie ponyatij «strukturno-funktional'no-parametricheskaya model'» i «parametricheskaya model'» informacionnyh ob'ektov znaniy [Delineation of concepts «structural-functional-parametric model» and «parametric model» of information objects of knowledge]. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Don State Technical University*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 106-111 (In Russ.).

15. Gabriele Pasetti Monizza, Cristina Bendetti, Dominik T.Matt. Parametric and generative design techniques in mass-production environments as effective enablers of Industry 4.0 approaches in the Building Industry. *Automation in Construction*, 2018, vol. 92, pp. 270-285.

### Информация об авторах / Information about the Authors

**Мешков Валерий Геннадьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления, ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва, Российская Федерация, e-mail: 111675@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5749-3457>,

**Искра Дмитрий Евгеньевич**, доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления, ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва, Российская Федерация, e-mail: mkt3@mail.ru

**Valeriy G Meshkov**, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Department of «Automated information processing and management systems», Moscow State University of Technology «STANKIN», Moscow, Russian Federation, e-mail: 111675@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5749-3457>,

**Dmitriy E. Iskra**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, department «Automated information processing and management systems», Moscow State University of Technology «STANKIN», Moscow, Russian Federation, e-mail: mkt3@mail.ru