



# ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ / PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS

УДК 621.01:658

DOI: 10.15507/0236-2910.028.201804.511-522

## Проектно-операционное управление в машиностроительном производстве

А. В. Цырков<sup>1</sup>, П. М. Кузнецов<sup>1\*</sup>, Г. А. Цырков<sup>1</sup>,  
Е. А. Ермохин<sup>1</sup>, В. К. Москвин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет)»  
(г. Москва, Россия)

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный технический  
университет им. Н. Э. Баумана» (г. Москва, Россия)

\*[profpol@rambler.ru](mailto:profpol@rambler.ru)

*Введение.* Целью статьи является разработка основных положений проектно-операционного управления на предприятиях машиностроительного производства.

*Материалы и методы.* Проведенный авторами обзор научных работ, посвященных проектно-операционному управлению машиностроительным производством в автоматизированном режиме, свидетельствует о сложности его внедрения из-за большого количества факторов, которые необходимо учитывать. На основании этого был разработан подход, позволяющий решить поставленную задачу посредством автоматизации процессов анализа и принятия решения при управлении производством. *Результаты исследования.* В данной статье установлены основные положения проектно-операционного управления, направленного на повышение производительности и снижение себестоимости выпускаемой продукции на основе моделирования состояния производственной среды. Определены требования, в соответствии с которыми разработана прогностическая модель состояния производственной системы предприятия во времени.

*Обсуждение и заключение.* Задачи, решенные в данной статье, позволяют повысить уровень автоматизации процессов проектно-операционного управления предприятием в условиях быстросменного производства. Реализация разработанного подхода к проектно-операционному управлению предприятием позволяет упорядочить запуск изделий в производство при снижении объемов незавершенного производства и повысить производительность выпуска продукции.

**Ключевые слова:** технологический процесс, проектно-операционное управление, проектирование, прогностическая модель, продукция, трудоемкость, производительность

© Цырков А. В., Кузнецов П. М., Цырков Г. А., Ермохин Е. А., Москвин В. К., 2018



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.  
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

*Для цитирования:* Проектно-операционное управление в машиностроительном производстве / А. В. Цырков [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28, № 4. С. 511–522. DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201804.511-522>

## Project and Operations Management of Machine-Building Production

A. V. Tsyrcov<sup>1</sup>, P. M. Kuznetsov<sup>1\*</sup>, G. A. Tsyrcov<sup>1</sup>,  
Ye. A. Yermokhin<sup>1</sup>, V. K. Moskvina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Moscow Aviation Institute (National Research University)  
(Moscow, Russia)*

<sup>2</sup>*Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia)*

\**prospol@rambler.ru*

*Introduction.* The aim of this work is to develop the main guidelines of project and operations management at machine-building enterprises.

*Materials and Methods.* The authors reviewed the state of application of the project and operations management of machine-building production in the automated mode. The review showed the complexity of its application due to a large number of factors, which must be taken into account when implementing. An approach was developed that allows solving the task using the automation of analysis processes and decision-making in production management.

*Results.* The article establishes the main guidelines of the project and operations management, aimed at increasing productivity and reducing production costs based on modeling the state of production environment. It also defines the requirements for the model. A prognostic time model for forecasting the state of the enterprise production system has been developed.

*Conclusions.* The tasks have been solved in this article allow increasing the level of automation of the processes of project and operations management of the enterprise in the conditions of quick-change production. The implementation of the developed approach to project and operations management of the enterprise will allow streamlining the launch of products with a reduction in the amount of work in progress and increasing the productivity of output.

**Keywords:** technological process, project and operations management, design, prognostic model, production, labor intensity, productivity

**For citation:** Tsyrcov A. V., Kuznetsov P. M., Tsyrcov G. A., Yermokhin Ye. A., Moskvina V. K. Project and Operations Management of Machine-Building Production. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2018; 28(4):511–522. DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201804.511-522>

### Введение

Современное машиностроительное производство – сложная система, представляющая собой большое количество взаимодействующих друг с другом разнородных частей производственной и технологической подсистем, направленных на решение производственных задач. Успешное функционирование системы характеризуется конкурентоспособностью выпускаемой продукции. Конкурентоспособность продукции

обеспечивается прежде всего снижением себестоимости ее изготовления, повышением производительности и сокращением времени на подготовку производства новых видов продукции. Снижение производственных мощностей для выполнения каждого производственного задания является основой соответствия перечисленным факторам и достигается путем рационального изменения структуры и параметров производственной системы в кратчайшие сроки.



Изменение состояния производственной системы определяется и обеспечивается организацией такого воздействия на нее, в результате которого она переходит в состояние, когда оказывается возможным выпуск новой продукции при положительных условиях.

Таким образом, важным является обеспечение процесса управления системой, при котором она гарантировала бы максимальные производственные показатели.

### Обзор литературы

Под технологическим процессом, согласно ГОСТ 3.1109-73<sup>1</sup>, будем понимать часть производственного процесса, непосредственно связанную с последовательным изменением состояния объекта производства. Проектирование технологического процесса определяется двумя взаимосвязанными частями – структурным и параметрическим синтезом. При проектировании технологических процессов нужно исходить из таких общепринятых критериев, как себестоимость, производительность, трудоемкость. Проектированию трудно формализуемой структуры технологических процессов посвящено достаточно большое количество исследований. Предлагается формирование массивов технологических операций с учетом особенностей конкретного предприятия [1] и создание на их основе матриц распределения временных ресурсов в зависимости от структуры технологического процесса [2]. В ряде работ рассматриваются методы получения информации,

учитываемой при формировании указанных матриц для конкретных условий проектирования: например, качества поверхностного слоя [3] и обработки (в частности, лазерной [4]). Отмечается, что процесс проектирования носит итерационный характер [5], и прежде всего на стадиях проектирования опытной продукции [6]. Однако при малых партиях данная тенденция сохраняется [7]; особенно итерационный характер проявляется при дальнейшем улучшении качества продукции [8] по мере совершенствования производственного процесса ее выпуска.

Процессы проектирования регламентируются рядом документов, определяющих обмен графической информацией<sup>2</sup>, формой представления данных<sup>3</sup>, организацией баз данных<sup>4</sup>. Важными аспектами являются: требования к вопросам конфиденциальности и целостности используемой информации [9], к определению файла и независимости логических данных [10], а также структура хранения и независимость физических данных [11]. Стандарт «ISO 10303: Industrial automation system and integration: Product data representation and exchange: Integrated generic resources»<sup>5</sup> регламентирует геометрическое и топологическое представление о проектируемом объекте.

В связи с этим особое значение приобретает формирование структуры маршрутной технологии. В. В. Борзенков предлагает создать структуру на основе топологических свойств макроэлементов, структуры деталей в САПР

<sup>1</sup> Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Процессы технологические. Основные термины и определения : ГОСТ 3.1109-73. Введ. 1975-01-07. М. : Изд-во стандартов, 1973. 11 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200115338>

<sup>2</sup> The initial graphics exchange specification (IGES) Version 6.0. Draft baseline. 2001. № 1. URL: <https://filemonger.com/specs/igs/devdept.com/version6.pdf>

<sup>3</sup> STEP ISO 10303-203 Industrial automation systems and integration: Product data representation and exchange. Part 203 (IS). Application protocol. Configuration controlled design. URL: <http://docs.cntd.ru/document/461920360>

<sup>4</sup> Database management systems: relational, object-relational, and object-oriented data models. URL: <http://www.cit.dk/COT/reports/reports/Case4/05-v1.1/cot-4-05-1.1.pdf>

<sup>5</sup> ISO 10303: Industrial automation system and integration: Product data representation and exchange: Integrated generic resources. Part 42. Geometric and topological representation. G.: ISO, 1998. P. 451.

ТП<sup>6</sup>. Д. Е. Максимовский рассматривает способы выбора технологических баз для корпусных деталей в автоматизированном производстве с использованием САПР ТП [12–13].

С. Ю. Калякулин разработал систему автоматизированной конструкторско-технологической параметризации процессов изготовления деталей типа тел вращения [14]. Использование предложенной системы позволяет проектировать процессы технологической подготовки для производства деталей указанного класса.

С. В. Байбаков разработал методику выбора комплектов технологических баз на операциях механической обработки машиностроительных деталей [15]. В. Н. Бровцин предложил метод адаптивного управления и структуры настраиваемых моделей технологических процессов сельскохозяйственного производства [16]. З. Т. Акашев описал методологию совершенствования и выбора структуры технологических процессов горнодобывающих предприятий [17].

Важным аспектом автоматизации операционно-проектного управления является смещение процессов построения систем в область организации целеустремленных систем проектирования производственных процессов [18–20]. Подобные системы отличаются наличием поведенческого характера при определении стратегии управления производством [21–22]. Важное значение здесь приобретает графическое представление данных [23] и методы параметризации<sup>7</sup>.

### Материалы и методы

Важным аспектом выпуска новых изделий является повышение риска их затоваривания или даже не востребо-

ванности вследствие ошибок маркетинга, внезапных изменений конъюнктуры рынка и т. д. [20; 24]. Это обстоятельство явилось, в частности, причиной появления венчурных предприятий. В данных условиях принимаются активные меры по снижению подобных рисков, в частности, путем оперативного изготовления пробных партий, верификации полученных решений и, в случае положительных результатов, отработки на них технологических аспектов выпуска основной части партии продукции.

Создание адекватной прогностической модели является одним из основных условий успешного осуществления проектно-операционного управления. Успех ее использования определяется наличием необходимой и достоверной информации о процессе. Адекватность прогностической модели в проектно-операционном управлении предполагает, что поведение системы под влиянием различных внешних возмущений будет совпадать с прогнозом, представленным моделью, при условии, что рассматриваемое состояние объекта достаточно полно представлено в модели. Возникает задача получения достоверного описания текущего процесса, что может быть обеспечено постоянным наблюдением за объектом управления, а также регистрацией и обработкой информации о его состоянии.

Формирование необходимой информации о состоянии объекта осуществляется путем правильного определения точек съема информации и последовательности опроса, а также объемом съема и частотой опроса. Кроме того, требуется получение информации о предполагаемых событиях, связанных с перспективной загрузкой управляемой

<sup>6</sup> Борзенков В. В. Топологические свойства макроэлементов, описывающих структуру деталей в САПР ТП механической обработки // Сотрудничество в области машиностроительных производств, реинжиниринга и образования : сб. мат-лов науч.-практ. конф. с междунар. уч. Смоленск : Изд-во Филиала МГОУ им. В. С. Черномырдина в Смоленске. 2013. С. 18–21. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22658937>

<sup>7</sup> ProTechnologies. Оформление чертежей в Creo Parametric 1.0. М. : Pro Technologies, 2011. 326 с. URL: <https://dwg.ru/dnl/11722>



системы. Планирование перспективных событий должно осуществляться на самых ранних этапах их наступления даже при недостаточной степени их определенности. Уточнение информации осуществляется по мере приближения времени наступления событий.

Поведенческий характер системы проектно-операционного управления можно охарактеризовать активной и пассивной составляющими реакции. Активная составляющая системы управления позволяет ей вмешиваться в текущий ход событий и менять состояние объекта в соответствии с выработанной стратегией управления. Пассивная составляющая предусматривает накопление информации, на основе которой вырабатывается стратегия управления. Целью вмешательства в работу управляемой системы является нахождение лучшей стратегии выполнения производственных процессов.

При оперативном планировании запуска изделий в производство основополагающей является информация о требуемых сроках их выполнения, которая необходима для планирования загрузки складского хозяйства, транспортных служб и т. д. Кроме того, осуществляется синхронизация работы различных производств, например, работа поставщиков. В противном случае приходится принимать организационно-производственные решения в состоянии неопределенности.

Для эффективного оперативного планирования требуется прогнозная модель, достоверно описывающая процесс изменения состояния производственной системы в течение некоторого отрезка предстоящего времени. Прогнозная модель позволяет определять перспективные возможные состояния производственной системы на некотором временном интервале, оценивать последствия возникновения таких состояний и вырабатывать стратегию и тактику оперативного управления ее состоянием с целью получения поло-

жительного эффекта. Прогнозирование представляет собой совокупность процедур синтеза и анализа ситуационной информации в рамках производственной системы. В этом случае прогнозная модель определяется следующими параметрами.

1. Степень достоверности определения времени выполнения производственного задания, а, следовательно, и срока возможного запуска очередного задания.

2. Величина отрезка времени, в течение которого степень достоверности прогноза остается приемлемой величиной, т. к. с увеличением такого отрезка снижается степень достоверности прогноза вследствие возрастающего количества труднопрогнозируемых событий и случайных, непрогнозируемых, изначально возмущающих внешних факторов.

Таким образом, с увеличением глубины прогноза (отрезка времени прогнозирования) увеличивается расхождение предполагаемого срока выполнения производственного задания с реальным сроком его выполнения. Другими словами, глубина прогноза определяется качеством прогнозной модели и полнотой информации о последовательности наступающих как штатных, так и труднопредсказуемых событий. Последние, очевидно, носят стохастический характер.

При построении и эксплуатации прогнозной модели происходит балансировка между затратами на получение информации о дестабилизирующих факторах, степенью адекватности модели и глубиной прогноза.

Прогнозная модель представляет собой информационную модель, потребляющую информацию о текущем состоянии производственной системы о предсказуемых (плановых) событиях и о предполагаемых дестабилизирующих производственную систему событиях. Мы видим здесь совокупность детерминированной и стохастической



информации. При ее разработке были использованы процедуры, связанные с формированием, накоплением, переработкой, анализом и выработкой управляющей информации воздействия на производственную систему.

Состояние производственной системы  $Z$  описывается конечным множеством значений:

$x_1, x_2, \dots, x_m$  с вероятностями  $P_1, P_2, \dots, P_m$ ,  
 $P_i = P(Z \sim x_i)$

$x_i^j$	$X_1^j$	$X_2^j$
$P_i^j$	$P_1^j$	$P_2^j$

Индекс  $j$  отражает признак наступления 1-го или 2-го события. Структура одинакова в любом случае, различаются только их вероятности  $P_i^j$ .

Накопленный статистический материал позволяет достаточно достоверно определять изменения состояния производственной системы на рассматриваемом интервале времени и, следовательно, получать информацию о состоянии производственной системы в любой момент временного отрезка прогноза, а также прогнозировать время выполнения производственных заданий и планирования запуска очередных заданий.

Для прогнозной модели входной информацией является набор свойств предполагаемых событий за прогнозный отрезок времени, причем эти события имеют различную вероятность наступления. Чем больше количество событий и ниже их вероятности, тем хуже достоверность получаемых результатов моделирования и меньше глубина прогноза. Тем не менее, в плане стратегического планирования во многих случаях оказывается полезным моделирование в пределах длительного отрезка времени, имеющего заведомо низкую достоверность, т. к. в этом случае удается получить «черновой вариант» предполагаемого

состояния производственной системы в будущем. Данный вариант оказывается определенным ориентиром, к которому следует или, наоборот, не следует стремиться.

Математически можно записать:

$$T = \sum_{j=1}^N T_j^i + \sum T_{ож}^i,$$

где  $T$  – время выполнения задания;  $T_j$  – длительность  $j$ -ой операции  $i$ -ого задания;  $N$  – количество технологических операций в маршруте изготовления изделия;  $\sum T_{ож}^i$  – суммарная длительность периода прерывания выполнения технологического процесса ввиду отсутствия свободного технологического оборудования производственной системы. Компоненты  $\sum T_{ож}^i$  являются событиями с известными вероятностями. Таким образом, прогнозная модель определения времени выполнения  $i$ -го производственного задания оказывается стохастической.

Для оценки точности результатов математической модели определения априорной неопределенности системы используем энтропию.

Энтропия рассматриваемой производственной системы  $H(Z)$  равна суммарному произведению значений вероятностей с обратным знаком:

$$H(Z) = - \sum_{i=1}^m P_i \log P_i,$$

где  $m$  – число предполагаемых событий на расчетном отрезке времени.

Целесообразным оказывается представление энтропии в двоичных единицах. С этой целью процедура логарифмирования основывается на использовании логарифма с основанием 2. Вся совокупная последовательность изменения состояния производственной системы имеет дискретный характер, и его вероятность определяется как

$$P(x_1, x_2, \dots, x_m) = P(x_1) P(x_2) \dots P(x_m),$$



откуда

$$\text{Log } P(x_1, x_2, \dots, x_m) = \text{log } P(x_1) + \\ + \text{log } P(x_2) + \dots + \text{log } P(x_m)$$

и

$$H(x_1, x_2, \dots, x_m) = H(x_1) + \\ + HP(x_2) + \dots + H(x_m),$$

т. е. энтропии возможных событий складываются. В результате получим:

$$H(x_1, x_2, \dots, x_m) = \sum_{i=1}^m H(x_i).$$

Данная формула является реальной оценкой уровня неопределенности прогнозной модели при варьировании глубины прогноза. Можно сделать вывод, подтверждающий целесообразность использования прогнозной модели и для стратегического планирования с большой глубиной прогноза: результаты прогнозного моделирования, имеющие низкую достоверность, оказываются особенно полезными при высокой степени неопределенности состояния производственной системы.

Полученная выше формула дает возможность оценить величину неопределенности состояния производственной системы на моделируемом отрезке времени. Отсюда следует, что глубина прогноза определяется интервалом времени, на котором выполняется следующее условие:

$$\sum_{i=1}^m H(x_i) \leq H^*,$$

где  $m$  – количество событий на моделируемом отрезке времени;  $H^*$  – предельно допустимое значение энтропии производственной системы  $Z$ .

Предельно допустимое значение энтропии  $H^*$  определяется, в частности, таким параметром, как приоритет производственного задания. Для производственных заданий с высоким приоритетом энтропия стремится к нулю. Это обусловлено низкой вероятностью

появления производственного задания с еще более высоким уровнем приоритета. С другой стороны, период выполнения задания с низким приоритетом будет зависеть от большого числа заданий, поступающих на выполнение, т. к. вероятность их более высокого приоритета велика.

При наступлении событий, обусловленных ремонтом или техническим обслуживанием технологического оборудования, уменьшается производственная мощность технологической системы, что приводит к вытеснению менее приоритетных производственных заданий более приоритетными, и период их выполнения возрастает. Поэтому каждому производственному заданию устанавливается своя максимально допустимая величина энтропии.

Значение максимально допустимой величины энтропии можно определить как

$$H^*(Z) = -P^* \log P^*,$$

где  $P^*$  – допустимое значение величины вероятности выполнения конкретного производственного задания в прогнозируемый срок.

Допустимое значение вероятности  $P^*$  определяется рядом условий. Если, например, величина экономических потерь существенно меньше размеров прибыли, получаемой в результате жесткого следования плановым срокам выполнения производственных заданий, энтропия производственной системы возрастает, увеличивая при этом глубину прогноза, значение  $P^*$  может быть уменьшено, что, в свою очередь, позволяет увеличить глубину прогноза при прочих условиях. И наоборот, невыполнение плановых сроков повлечет высокие экономические потери, величину  $P^*$  необходимо увеличивать и снижать глубину прогноза. Реальную величину  $P^*$  следует определять, основываясь на требованиях к жесткости

обеспечения сроков, производственной ситуации и т. д.

### Обсуждение и заключение

На основе выявленных связей сформулированы основные требования к проектно-операционному управлению, показана связь детерминиро-

ванного и стохастического подхода к поставленной задаче. Разработано математическое описание модели процессов планирования во времени и предпосылки для принятия решения по срокам запуска заданий в производство.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Кузнецов П. М.** Поддержка стадии изготовления изделия в условиях мелкосерийного и единичного производства // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. № 1. С. 40–44. URL: [http://izdat.ntkompas.ru/editions/for\\_readers/archive/article\\_detail.php?SECTION\\_ID=244&ELEMENT\\_ID=16302](http://izdat.ntkompas.ru/editions/for_readers/archive/article_detail.php?SECTION_ID=244&ELEMENT_ID=16302)
2. **Кузнецов П. М.** Оперативная разработка системы технологического проектирования в машиностроительном производстве // Технология машиностроения. 2014. № 5. С. 40–43. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22138970>
3. **Усов С. В., Свириденко Д. С., Кузнецов П. М.** Информационное обеспечение конструкторско-технологического проектирования с учетом трибологических характеристик поверхностного слоя деталей машин // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2015. № 1. С. 46–49. URL: [http://izdat.ntkompas.ru/editions/for\\_readers/archive/article\\_detail.php?SECTION\\_ID=159&ELEMENT\\_ID=20158](http://izdat.ntkompas.ru/editions/for_readers/archive/article_detail.php?SECTION_ID=159&ELEMENT_ID=20158)
4. **Усов С. В., Свириденко Д. С., Кузнецов П. М.** Информационное обеспечение процесса лазерной сварки сплавов черных и цветных металлов // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2015. № 4. С. 55–58. URL: [http://izdat.ntkompas.ru/editions/for\\_readers/archive/article\\_detail.php?SECTION\\_ID=160&ELEMENT\\_ID=21729](http://izdat.ntkompas.ru/editions/for_readers/archive/article_detail.php?SECTION_ID=160&ELEMENT_ID=21729)
5. **Лопота А. В., Цырков А. В.** Построение системы проектно-операционного управления научно-производственным машиностроительным комплексом // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. 2016. № 2. С. 47–55. URL: [http://izdat.ntkompas.ru/editions/for\\_readers/archive/article\\_detail.php?SECTION\\_ID=160&ELEMENT\\_ID=21729](http://izdat.ntkompas.ru/editions/for_readers/archive/article_detail.php?SECTION_ID=160&ELEMENT_ID=21729)
6. **Лопота А. В., Цырков А. В., Цырков Г. А.** Реализация системы проектно-операционного управления предприятием. Организационно-методические решения // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2016. № 3 (163). С. 9–18. URL: [http://izdat.ntkompas.ru/editions/for\\_readers/archive/article\\_detail.php?SECTION\\_ID=159&CachedSimilar%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%B2&ELEMENT\\_ID=22775](http://izdat.ntkompas.ru/editions/for_readers/archive/article_detail.php?SECTION_ID=159&CachedSimilar%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%B2&ELEMENT_ID=22775)
7. **Lopota A. V., Tsyrcov A. V., Tsyrcov G. A.** Methods and tools of project-operational management of an machine-building enterprise // Proceedings of the 2017 International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS). IEEE, 2017. P. 536–539. DOI: <https://doi.org/10.1109/ITMQIS.2017.8085882>
8. **Tsyrcov A. V., Tsyrcov G. A.** Intelligent components to support workflow in the design and production activities // Proceedings of the 2017 International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS). IEEE, 2017. P. 764–768. DOI: <https://doi.org/10.1109/ITMQIS.2017.8085942>
9. **Dean A. L.** Data privacy and integrity requirements for online data management systems // Proceedings of the 1971 ACM SIGFIDET (now SIGMOD) Workshop on Data Description, Access and Control. New York : ACM, 1971. P. 279–298. DOI: <https://doi.org/10.1145/1734714.1734736>
10. **Date C. J., Hopewell P.** File definition and logical data independence // Proceedings of the 1971 ACM SIGFIDET (now SIGMOD) Workshop on Data Description, Access and Control. New York : ACM, 1971. P. 117–138. DOI: <https://doi.org/10.1145/1734714.1734724>





11. **Date C. J., Hopewell P.** Storage structure and physical data independence // Proceedings of the 1971 ACM SIGFIDET (now SIGMOD) Workshop on Data Description, Access and Control. New York : ACM, 1971. P. 139–168. DOI: <https://doi.org/10.1145/1734714.1734725>
12. **Кузьмин В. В., Максимовский Д. Е.** Выбор технологических баз на основе решения прямой задачи размерного анализа // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2012. № 2. С. 64–69. URL: <http://www.stankin-journal.ru/ru/articles/590>
13. **Maksimovskii D. E.** Automation of process design by design-technological parameterization // Russian Engineering Research. 2011. Vol. 31, no. 9. С. 870–872. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068798X1109019X>
14. **Kalyakulin S. Yu.** Algorithm for calculating the parameters of the initial blank in the SITEP MO automated design system // Russian Engineering Research. 2014. Vol. 34, no. 11. P. 713–715. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068798X14110082>
15. **Байбаков С. В.** Система комплексной автоматизации технологической подготовки производства // Программные продукты и системы. 2010. № 1. С. 85–87. URL: <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=2437>
16. **Бровцин В. Н.** Выбор метода адаптивного управления и структуры настраиваемых моделей технологических процессов сельскохозяйственного производства // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 1996. № 66. С. 45–54. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23067702>
17. **Акашев З. Т.** Методология совершенствования и выбора структуры технологических процессов горнодобывающих предприятий // Тяжелое машиностроение. 2005. № 12. С. 17–19. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9482961>
18. **Кузнецов П. М., Москвин В. К.** Информационно-технологическое обеспечение гибких промышленных производств // Инновационная наука. 2016. № 1, ч. 2. С. 67–72. URL: <https://aeterna-ufa.ru/sbornik/IN-16-1-2.pdf>
19. **Кузнецов П. М., Москвин В. К.** Управление целеустремленной средой сопровождения изготовления изделий // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2016. № 1. С. 58–64. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26203215>
20. **Кузнецов П. М., Москвин В. К.** Оперативное управление единичным производством // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2018. № 1. С. 18–22. URL: <http://www.stankin-journal.ru/ru/articles/1794>
21. **Кузнецов П. М., Цырков Г. А.** Целеустремленная среда проектно-операционного управления // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2017. № 4. С. 10–14. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30575555>
22. **Land A. H., Doig A. G.** An automatic method of solving discrete programming problems // Econometrica. 1960. Vol. 28, no. 3. P. 497–520. DOI: <https://doi.org/10.2307/1910129>
23. **Meguid S. A.** Integrated computer-aided design of mechanical systems. London : Elsevier Applied Science, 1987. 196 p.
24. **Кузнецов П. М., Москвин В. К., Федоров В. А.** Информационная среда сопровождения технологических процессов в машиностроительном производстве // Вестник Тамбовского университета. 2017. Т. 22, № 1. С. 56–59. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28821703>

*Поступила 10.05.2018; принята к публикации 29.06.2018; опубликована онлайн 28.12.2018*

*Об авторах:*

**Цырков Александр Владимирович**, профессор кафедры «Системное моделирование и автоматизированное проектирование», ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (125993, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4), доктор технических наук, ResearcherID: K-1128-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2334-1962>, [tias@inbox.ru](mailto:tias@inbox.ru)

**Кузнецов Павел Михайлович**, профессор кафедры «Системное моделирование и автоматизированное проектирование», ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный

исследовательский университет)» (125993, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4), доктор технических наук, ResearcherID: K-8831-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9237-3848>, profpol@ Rambler.ru

**Цырков Георгий Александрович**, доцент кафедры «Системное моделирование и автоматизированное проектирование», ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (125993, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4), кандидат технических наук, ResearcherID: P-1620-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9379-5380>, george@matias.ru

**Ермохин Егор Алексеевич**, аспирант кафедры «Системное моделирование и автоматизированное проектирование», ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (125993, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4), ResearcherID: K-1122-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2819-2318>, ermokhin@matias.ru

**Москвин Валерий Константинович**, доцент кафедры «Металлорежущие станки», ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана» (105005, Россия, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5), кандидат технических наук, ResearcherID: L-4930-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5377-4390>, moskvin1945@mail.ru

*Заявленный вклад соавторов:*

А. В. Цырков – научное руководство, постановка задачи исследования, анализ литературных источников; П. М. Кузнецов – разработка математического аппарата прогностической модели; Г. А. Цырков – разработка моделей технологических процессов; Е. А. Ермохин – написание текста статьи, перевод на английский язык и редактирование; В. К. Москвин – верстка текста, поиск и анализ литературных источников.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

## REFERENCES

1. Kuznetsov P. M. Support of the stage of manufacturing the product in the conditions of small-scale and single production. *Informatsionnye tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve* = Information Technologies in Design and Manufacturing. 2014; 1:40–44. Available at: [http://izdat.ntkompas.ru/editions/for\\_readers/archive/article\\_detail.php?SECTION\\_ID=244&ELEMENT\\_ID=16302](http://izdat.ntkompas.ru/editions/for_readers/archive/article_detail.php?SECTION_ID=244&ELEMENT_ID=16302) (In Russ.)
2. Kuznetsov P. M. Operative development of the system of technological design in machine-building production. *Tekhnologiya mashinostroeniya* = Technology of Mechanical Engineering. 2014; 5:40–43. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22138970> (In Russ.)
3. Usov S. V., Sviridenko D. S., Kuznetsov P. M. Information support of design and technological design taking into account the tribological characteristics of the surface layer of machine parts. *Informatsionnye tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve* = Information Technologies in Design and Production. 2015; 1:46–49 Available at: [http://izdat.ntkompas.ru/editions/for\\_readers/archive/article\\_detail.php?SECTION\\_ID=159&ELEMENT\\_ID=20158](http://izdat.ntkompas.ru/editions/for_readers/archive/article_detail.php?SECTION_ID=159&ELEMENT_ID=20158) (In Russ.)
4. Usov S. V., Sviridenko D. S., Kuznetsov P. M. Information support of the process of laser welding of alloys of ferrous and non-ferrous metals. *Informatsionnye tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve* = Information Technologies in Design and Production. 2015; 4:55–58. Available at: [http://izdat.ntkompas.ru/editions/for\\_readers/archive/article\\_detail.php?SECTION\\_ID=160&ELEMENT\\_ID=21729](http://izdat.ntkompas.ru/editions/for_readers/archive/article_detail.php?SECTION_ID=160&ELEMENT_ID=21729) (In Russ.)
5. Lopota A. V., Tsyrov A. V. Construction of the system of design and operational management of the scientific and production machine-building complex. *Oboronnyy kompleks – nauchno-tekhnicheskoyu progressu Rossii* = Defense Complex to Scientific and Technical Progress of Russia. 2016; 2:47–55. Available at: [http://izdat.ntkompas.ru/editions/for\\_readers/archive/article\\_detail.php?SECTION\\_ID=160&ELEMENT\\_ID=21729](http://izdat.ntkompas.ru/editions/for_readers/archive/article_detail.php?SECTION_ID=160&ELEMENT_ID=21729) (In Russ.)



6. Lopota A. V., Tsyrvkov A. V., Tsyrvkov G. A. Implementation of the system of project-operational management of the enterprise. Organizational-methodical solutions. *Informatsionnye tekhnologii v proektirovani i proizvodstve* = Information technologies in design and production. 2016; 3(163):9–18. Available at: [http://izdat.ntckompas.ru/editions/for\\_readers/archive/article\\_detail.php?SECTION\\_ID=159CachedSimilar%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%B2&ELEMENT\\_ID=22775](http://izdat.ntckompas.ru/editions/for_readers/archive/article_detail.php?SECTION_ID=159CachedSimilar%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%B2&ELEMENT_ID=22775) (In Russ.)

7. Lopota A. V., Tsyrvkov A. V., Tsyrvkov G. A. Methods and tools of project-operational management of an machine-building enterprise. In: *Proceedings of the 2017 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS)*. p. 536–539. DOI: <https://doi.org/10.1109/ITMQIS.2017.8085882>

8. Tsyrvkov A. V., Tsyrvkov G. A. Intelligent components to support workflow in the design and production activities. In: *Proceedings of the 2017 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS)*. p. 764–768. DOI: <https://doi.org/10.1109/ITMQIS.2017.8085942>

9. Dean A. L. Data privacy and integrity requirements for online data management systems. In: *Proceedings of the 1971 ACM SIGFIDET (now SIGMOD) Workshop on Data Description, Access and Control*. p. 279–298. DOI: <https://doi.org/10.1145/1734714.1734736>

10. Date C. J., Hopewell P. File definition and logical data independence. In: *Proceedings of the 1971 ACM SIGFIDET (now SIGMOD) Workshop on Data Description, Access and Control*. p. 117–138. DOI: <https://doi.org/10.1145/1734714.1734724>

11. Date C. J., Hopewell P. Storage Structure and Physical Data Independence. In: *Proceedings of the 1971 ACM SIGFIDET (now SIGMOD) Workshop on Data Description, Access and Control*. p. 139–168. DOI: <https://doi.org/10.1145/1734714.1734725>

12. Kuzmin V. V., Maksimovskiy D. E. Choice of technological bases on the basis of solving a direct problem of dimensional analysis. *Vestnik MGTU "STANKIN"* = MSTU STANKIN Bulletin. 2012; 2:64–69. Available at: <http://www.stankin-journal.ru/ru/articles/590> (In Russ.)

13. Maksimovskii D. E. Automation of process design by design-technological parameterization. *Russian Engineering Research*. 2011; 31(9):870–872. Available at: DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068798X1109019X>

14. Kalyakulin S. Yu. Algorithm for calculating the parameters of the initial blank in the SITEP MO automated design system. *Russian Engineering Research*. 2014; 34(11):713–715. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068798X14110082>

15. Baibakov S. V. System of complex automation of technological preparation of production. *Programmye produkty i sistemy* = Software Products and Systems. 2010; 1:85–87. Available at: <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=2437> (In Russ.)

16. Brovtsin V. N. Choice of the method of adaptive control and the structure of customizable models of technological processes of agricultural production. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva* = Technologies and Technical Means of Mechanized Production of Crop and Livestock Production. 1996; 66:45–54. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23067702> (In Russ.)

17. Akashev Z. T. Methodology of improvement and selection of the structure of mining enterprises technological processes. *Tyazheloe mashinostroenie* = Heavy Engineering. 2005; 12:17–19. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9482961> (In Russ.)

18. Kuznetsov P. M., Moskvina V. K. Information and technological support of flexible industrial production. *Innovatsionnaya nauka* = Innovative Science. 2016; 1(2):67–72. Available at: <https://aeterna-ufa.ru/sbornik/IN-16-1-2.pdf> (In Russ.)

19. Kuznetsov P. M., Moskvina V. K. Management of a purposeful environment for the conduct of manufacturing of products. *Informatsionnye tekhnologii v proektirovani i proizvodstve* = Information Technology in Design and Production. 2016; 1:58–64. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26203215> (In Russ.)

20. Kuznetsov P. M., Moskvina V. K. Operative management of individual production. *Vestnik MGTU "STANKIN"* = MSTU STANKIN Bulletin. 2018; 1:18–22. Available at: <http://www.stankin-journal.ru/ru/articles/1794> (In Russ.)

21. Kuznetsov P. M., Tsyrov G. A. Purpose-oriented environment of project-operational management. *Informatsionnye tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve* = Information Technologies in Design and Production. 2017; 4:10–14. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30575555> (In Russ.)
22. Land A. H., Doig A. G. An automatic method of solving discrete programming problems. *Econometrica*. 1960; 28(3):497–520. DOI: <https://doi.org/10.2307/1910129>
23. Meguid S. A. Integrated computer-aided design of mechanical systems. London: Elsevier Applied Science; 1987. 196 p.
24. Kuznetsov P. M., Moskvina V. K., Fedorov V. A. Information environment of technological processes support in machine-building production. *Vestnik Tambovskogo universiteta* = Tambov University Bulletin. 2017; 22(1):56–59. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28821703> (In Russ.)

*Received 10.05.2018, revised 29.06.2018, published online 28.12.2018*

*About authors:*

**Alexander V. Tsyrov**, Professor, Chair “System Modeling and Computer-Aided Design”, Moscow Aviation Institute (National Research University), (4 Volokolamskoe Shosse, Moscow 125993, Russia), D.Sc. (Engineering), ResearcherID: K-1128-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2334-1962>, [tias@inbox.ru](mailto:tias@inbox.ru)

**Pavel M. Kuznetsov**, Professor, Chair “System Modeling and Computer-Aided Design”, Moscow Aviation Institute (National Research University), (4 Volokolamskoe Shosse, Moscow 125993, Russia), D.Sc. (Engineering), ResearcherID: K-8831-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9237-3848>, [profpol@rambler.ru](mailto:profpol@rambler.ru)

**George A. Tsyrov**, Associate Professor, Chair “System Modeling and Computer-Aided Design”, Moscow Aviation Institute (National Research University), (4 Volokolamskoe Shosse, Moscow 125993, Russia), Ph.D. (Engineering), ResearcherID: P-1620-2017, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9379-5380>, [george@matias.ru](mailto:george@matias.ru)

**Yegor A. Yermokhin**, Graduate, Chair “System Modeling and Computer-Aided Design”, Moscow Aviation Institute (National Research University) (4 Volokolamskoe Shosse, Moscow 125993, Russia), ResearcherID: K-1122-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2819-2318>, [ermokhin@matias.ru](mailto:ermokhin@matias.ru)

**Valery K. Moskvina**, Associate Professor, Chair “Metal Machines”, Bauman Moscow State Technical University (5 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Moscow 105005, Russia), ResearcherID: L-4930-2018, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5377-4390>, [moskvina1945@mail.ru](mailto:moskvina1945@mail.ru)

*Authors' contribution:*

A. V. Tsyrov – academic guidance, formulation of the research task and analysis of literary data; P. M. Kuznetsov – development of the mathematical apparatus of the prognostic model; G. A. Tsyrov – development of models of technological processes; Ye. A. Yermokhin – writing the draft, translation into English and editing; V. K. Moskvina – word processing, review of literary sources.

*All authors have read and approved the final version of the paper.*