

Петербургский экономический журнал. 2025. № 2. С. 40–50

St Petersburg Economic Journal. 2025, no. 2, pp. 40–50

Научная статья

УДК 006.015.5

DOI: 10.32603/2307-5368-2025-2-40-50

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ИННОВАЦИОННОЙ ЭНЕРГОМАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ НА ЭТАПЕ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

FORECASTING THE QUALITY OF INNOVATIVE ENERGY MACHINE ENGINEERING PRODUCTS AT THE STAGE OF DEVELOPING DESIGN DOCUMENTATION

В. В. Глухов

д.э.н., профессор, засл. деятель науки РФ, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия, vicerector.me@spbstu.ru

V. V. Gluhov

DSc (Economics), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia, vicerector.me@spbstu.ru

К. Д. Савичев

аспирант, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия, 9671732@gmail.com

K. D. Savichev

Post-Graduate Student, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia, 9671732@gmail.com

Аннотация. В статье конструкторская документация рассматривается как продукт, имеющий и внутренних, и внешних потребителей. Приведен список внутренних потребителей с указанием их ключевых потребностей в использовании этой документации. В процессе разработки конструкторской документации для энергомашиностроительной продукции закладываются ее основные свойства и характеристики. Исправление ошибок и несоответствий на данном этапе является менее затратным по сравнению с остальными этапами жизненного цикла продукта. Обеспечение качества конструкторской документации остается важной задачей даже в условиях повсеместной автоматизации и цифровизации. В данной статье предлагается рассматривать качество продукции как совокупность показателей качества на различных этапах жизненного цикла. Представлена оригинальная математическая модель для оценки качества процесса разработки конструкторской документации инновационной энергомашиностроительной продукции, которая объединяет различные характеристики с учетом специфических показателей локальной оценки качества на всех этапах жизненного цикла изделия. Показатели качества для будущих этапов жизненного цикла имеют определенную степень неопределенности, поэтому для их оценки применяются вероятностные методы. Эффективность процесса разработки конструкторской документации позволяет сопоставить результаты, связанные с качеством документации, затратами и качеством процесса разработки.

Ключевые слова: качество конструкторской документации, жизненный цикл изделия, показатели качества конструкторской документации

© Глухов В. В., Савичев К. Д., 2025

Abstract. In the article, design documentation is considered as a product that has both internal and external consumers. A list of internal consumers is provided, indicating their key needs in using this documentation. During the development of design documentation for energy machine-building products, its main properties and characteristics are established. Correcting errors and inconsistencies at this stage is less costly compared to later stages of the product's lifecycle. Ensuring the quality of design documentation remains an important task, even in conditions of widespread automation and digitalization. This article proposes to consider product quality as a set of quality indicators at various stages of the product lifecycle. An original mathematical model is presented for evaluating the quality of the design documentation development process for innovative energy machine-building products, which unifies various characteristics while taking into account specific indicators of local quality assessment at all stages of the product lifecycle. Since quality indicators for future lifecycle stages carry a certain degree of uncertainty, probabilistic methods are applied for their evaluation. The efficiency of the design documentation development process makes it possible to compare the results related to the quality of the documentation with the costs and quality of the development process.

Keywords: quality of the design documentation, product life cycle, design documentation quality indicators

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Введение, цель

В ГОСТ Р ИСО 9000–2015 даны следующие определения продукции: «Выход (результат процесса) организации, который может быть произведен без какого-либо взаимодействия между организацией и потребителем», и качеству: «Степень соответствия совокупности присущих характеристик объекта требованиям». ГОСТ Р 50779-11–2000 определяет качество, как «совокупность свойств и признаков продукции или услуги, которые влияют на их способность удовлетворять установленные или предполагаемые потребности». В ГОСТ 15467–79 качеству продукции дано следующее определение: «Совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением». Исходя из приведенных определений, можно сделать вывод, что конструкторская документация (КД) также является продукцией, так как она может производиться организацией в результате соответствующих внутренних процессов. Соответственно, КД как продукция обладает перечнем свойств и признаков. Рассматривая оценки качества КД, необходимо понять, кто входит в число ее потребителей и каковы их потребности.

К внутренним потребителям КД относятся подразделения предприятия, непосредственно участвующие и обеспечивающие разработку изделия [1] (табл. 1).

Важным параметром КД является уровень ее качества. Известно, что устранение проблемы в продукте на стадии проектирования стоит во много раз дешевле, чем на стадии серийного производства [2]. Проблемы качества, возникающие на всех этапах жизненного цикла изделия, особенно совершенные при разработке КД, ведут к возникновению внеплановых затрат, срывов сроков поставки оборудования и репутационным рискам.

Качество КД имеет решающее значение в процессе проектирования и производства в различных областях, особенно в высоких технологиях, таких как машиностроение, аэрокосмическая и энергетическая отрасли [3; 4]. Приведем несколько ключевых аспектов его важности.

1. Точность и безопасность: качество КД непосредственно влияет на точность изготовления компонентов и систем. Ошибки или недостатки в документации могут привести к созданию некачественной продукции, что может вызвать аварии и создать небезопасные условия эксплуатации.

2. Эффективность производства: четкая и качественно подготовленная документация упрощает производственные и сборочные процессы. Она обеспечивает единое понимание проектных решений, что уменьшает количество ошибок и необходимость доработок, тем самым повышая производительность и снижая затраты.

Табл. 1. Внутренние потребители конструкторской документации и их потребности

Tab. 1. Internal consumers of design documentation and their needs

№ п/п	Внутренние потребители КД		Потребность в использовании КД
1	Собственные конструкторские подразделения компании		Актуализация КД, выпуск извещений об изменениях, внесение корректировок. Использование ранее выпущенной КД в качестве аналога для новой разработки
2	Техническое управление	Конструкторский отдел разработки специализированной технологической оснастки	Проектирование специализированной технологической оснастки
3		Отдел механической обработки, отдел сварки	Разработка КД для заказа длинноцикловых заготовок. Разработка технологических процессов
4		Отдел маршрутно-материальных спецификаций	Разработка маршрутно-материальных ведомостей
5		Отдел разработки управляющих программ для станков с ЧПУ	Разработка управляющих программ для станков с ЧПУ
6		Отдел трудового нормирования	Нормирование технологических процессов
7		Инструментальный отдел	Выбор оптимального инструмента и режимов работы
8	Производство	Мастера и рабочие цехов	Изготовлении деталей. Сборка готовых изделий

3. Соблюдение стандартов: высококачественная КД помогает гарантировать соответствие продукции установленным отраслевым стандартам и нормативам. Это особенно важно для получения сертификатов, необходимых для эксплуатации изделий.

4. Упрощение взаимодействия: грамотная КД улучшает коммуникацию между различными отделами компании, включая проектирование, производство и техническое обслуживание. Это способствует ускорению процессов и снижению вероятности недоразумений.

5. Поддержка инновационных процессов: качественная КД легче поддается обновлению и модификации, что содействует внедрению новых технологий и улучшений в продуктах, критически важных для поддержания конкурентоспособности.

6. Упрощение обслуживания и ремонта: качественная документация упрощает процесс технического обслуживания и ремонта изделий, обеспечивая доступ к необходимой информации и инструкциям, что сокращает время простоя и повышает надежность продукции.

7. Устойчивое развитие: в условиях глобальной конкуренции и растущих требований к устойчивому развитию, высокое качество КД

способствует разработке более эффективных и экологически безопасных решений.

Таким образом, качество конструкторской документации является ключевым фактором для успешной реализации проектов, а также для обеспечения долговечности и надежности производимой продукции.

Эволюция проектных систем, использование цифровых двойников [5] и систем управления требованиями способствует снижению затрат на мероприятия по обеспечению качества продукции, а также, что особенно важно, сокращению сроков разработки изделий, испытаний опытных образцов и внесению изменений в конструкторскую документацию. Это достигается благодаря выполнению дополнительных расчетов и проведению цифровых испытаний на ранних стадиях жизненного цикла продукта [6–10]. В то же время важной задачей в области организации производства в энергетическом машиностроении является не только обеспечение качества конструкторской документации, но и оптимизация процессов ее разработки.

Состав показателей оценки качества КД рассматривался А. Н. Пегиной, Л. И. Назиной, Н. Л. Клейменовой, А. Д. Шемеловой, ими были предложены следующие показатели [11] (табл. 2).

Табл. 2. Показатели качества документации и процесса (работы А. Н. Пегиной)
 Tab. 2. Indicators of the quality of documentation and the work process of A. N. Pegina

№ п/п	Показатель качества
1	Соответствие параметров КД требованиям технического задания
2	Соответствие КД требованиям Единой системы конструкторской документации (ЕСКД)
3	Выполнение требований технических регламентов, национальных и отраслевых стандартов
4	Технический уровень КД
5	Выполнение требований к специальным характеристикам объекта проектирования
6	Технологичность (удобство изготовления)
7	Доступность покупных комплектующих изделий
8	Информативность КД
9	Качество печати, комплектования и брошюрования высылаемых печатных экземпляров
10	Форма и качество обратной связи
11	Соблюдение сроков выполнения работ

Табл. 3. Показатели качества документации и процесса (работы С. Горицкого)
 Tab. 3. Indicators of the quality of documentation and the work process of S. Goritsky

№ п/п	Показатель качества
<i>Показатель качества КД</i>	
1	Соответствие параметров КД требованиям технического задания
2	Соответствие КД требованиям Единой системы конструкторской документации (ЕСКД)
3	Выполнение требований технических регламентов и ГОСТ
4	Технический уровень КД
5	Выполнение требований к специальным характеристикам проектируемого объекта
6	Технологичность (удобство изготовления)
7	Доступность покупных комплектующих
8	Информативность КД
<i>Показатель потребительской ценности КД</i>	
9	Возможность внесения изменений в КД с минимальными трудозатратами
10	Удобство выделения нужной для заимствования части КД
11	Быстрое и точное понимание конструкции изделия на основании КД
12	Возможность оперативного переноса состава сборок в разрабатываемую маршрутно-материальную ведомость
13	Обозначения конструкторских изделий в спецификации должны быть четкими и без ошибок
14	Обозначения стандартных и прочих изделий, а также материалов должны быть оформлены согласно нормативной документации, четко и без ошибок
15	Возможность быстрого создания необходимых эскизов на основе КД
16	Отсутствие необходимости в пересчете размерных цепей (сборки должны быть собираемыми)
17	Автоматическое формирование последовательности основных операций на основе конструкции
18	Возможность проектирования специальной оснастки на основе КД
19	Возможность разработки траектории движения инструмента при обработке с числовым программным управлением (ЧПУ) на основании КД

В работе С. Горицкого, Н. Будановой, Б. Якимовича введены две группы показателей качества [1] (табл. 3).

Комплексная система показателей представлена в работах Д. С. Юрина и М. Г. Круглова [7], даны следующие группы показателей (табл. 4).

Табл. 4. Показатели качества документации и процесса (работы Д. С. Юрина и М. Г. Круглова)

Tab. 4. Indicators of the quality of documentation and work process D. S. Yurina and M. G. Kruglova

№ п/п	Показатель
<i>Нормоконтроль</i>	
1	Соблюдение в КД требований, правил и норм, установленных стандартами
2	Достижение в разрабатываемых изделиях необходимого высокого уровня унификации и стандартизации
3	Применение ограничительных номенклатур покупных и стандартизованных изделий
4	Достижение единообразия в оформлении, учете, хранении, изменении КД
5	Соблюдение нормативных требований при выпуске бумажных и электронных КД
<i>Технологический контроль</i>	
6	Возможность с минимальной трудоемкостью внести изменения в КД
7	Соблюдение установленных технологических норм и требований с учетом современного уровня развития данной отрасли техники и способов изготовления, эксплуатации и ремонта изделия
8	Достижение в разрабатываемых изделиях заданных показателей технологичности
9	Выявление наиболее рациональных способов изготовления изделий
10	Соответствие проектированных конструкций своим функциональным назначениям
11	Правильность исполнительных размеров сопряжений
12	Достоверность информации
13	Выбор принятых конструктивных материалов и технологических решений
<i>Свойства электронных чертежей и бумажных документов</i>	
14	Способность быть дорабатываемыми (трудоемкость внесения каких-либо типовых изменений)
15	Способность к разбиению на составные части для последующей переработки (трудоемкость изъятия какой-либо части чертежа и перемещение на другой чертеж)
16	Понятность (время, необходимое, чтобы ознакомиться и изучить чертеж конструкции, величина издержек, возникших из-за случаев неверного толкования)
17	Определение состава элементов в конструкции (время, необходимое для создания маршрутно-материальной ведомости, содержащей информацию о составе сборки)
18	Понятность и безошибочность условных обозначений (величина издержек, возникших из-за случаев ошибочного написания или неверного понимания непонятного написания)
19	Ускорение процесса разработки различных эскизов (время, необходимое для разработки нужного эскиза на основе КД)
20	Необходимость в перепроверке (время, нужное для проверки соответствующим специалистом (технологом) размерных цепей, необходимых в целях собираемости сборок)
21	Ускорение разработки маршрутных и технологических процессов (время, необходимое технологу для разработки технологического процесса на основании КД)
22	Ускорение разработки КД специальной технологической оснастки (время, необходимое конструктору для разработки чертежей специализированной оснастки на основании КД изделия)
23	Облегчение разработки программ для станков с ЧПУ (время, необходимое для разработки ЧПУ-программы на основании КД)

Однако они не разделяют показатели собственно документации и показатели процесса создания документации. Цель исследования – разработать математическую модель интегральной оценки качества инновационной энергомашиностроительной продукции, которая будет включать в себя локальные оценки качества с учетом их специфики на всех этапах жизненного цикла изделия.

Методы исследования

Достижение поставленной цели исследования основано на применении следующих общенаучных методов.

1. Метод научного обобщения, включающий в себя анализ уже существующих данных, теорий и результатов, был использован в данной работе и его результаты представлены в разделе «Введение, цель».

2. Системный подход как общенаучный метод исследования позволил провести анализ объекта исследования как целостной системы, состоящей из отдельных этапов (стадий жизненного цикла продукта) для выявления закономерностей и взаимозависимостей между ними. Его результаты приведены в следующем разделе.

Результаты и дискуссия

Разработка КД на продукцию – это один из наиболее ответственных этапов, определяющих эффективность и конкурентоспособность всего предприятия [2; 12–16], который должен быть проведен:

- в установленный срок;
- с надлежащим качеством результата;
- с обоснованностью понесенных расходов.

Поэтому в целях максимизации прибыли предприятия и количества выполненных заказов очень важно минимизировать затраты времени на разработку КД. Показатели эффективности процесса разработки КД даны в табл. 5.

Эти показатели можно считать основными критериями эффективности работы проектной команды и важными аспектами ее продуктивности, а также актуальным элементом мотивационной системы. Особое значение для развития энергомашиностроительной отрасли имеют показатели, превосходящие существующие аналоги. Процесс их достижения в рамках разработки нового продукта можно охарактеризовать термином «технологическое опережение». Система управления проектной деятельностью должна включать механизм стимулирования сотрудников к быстрой и результативной работе.

Высокое качество изделий предопределяется различными факторами, основными из которых являются факторы технического характера (конструктивные, технологические, метрологические и т. д.); факторы экономического характера (финансовые, нормативные, материальные и т. д.). В соответствии с законодательством нашей страны продавец (изготовитель, исполнитель) должен произвести товар, соответствующий по качеству обязательным требованиям стандартов, условиям договора, обычно предъявляемым требованиям. Эти требования являются основой регламентации качества. Из них следует необходимость включения в документацию на продукцию показателей качества (ПК). Номенклатура ПК обуславливается назначением и областью применения разрабатываемой продукции, при ее определении должен учитываться опыт создания и применения подобной продукции. Определение коэффициентов весовости единичных и комплексных показателей для каждого этапа позволяет построить дерево показателей качества объекта [17]. Данные показатели будут являться основой для построения математической модели расчета интегральной оценки качества продукции.

Таким образом, при анализе качества на этапе разработки конструкторской документации для инновационной энергетической продукции следует выделить и учитывать следующие элементы жизненного цикла изделия, опираясь на уже достигнутые и известные результаты в аналогах, а также используя инструменты прогнозирования:

Табл. 5. Показатели эффективности процесса разработки конструкторской документации

Tab. 5. Indicators of the design documentation development process

№ п/п	Показатели
1	Затраченное на разработку время
2	Понесенные расходы
3	Производительность труда
4	Вспомогательное, непроизводительное время
5	Доля параллельно выполняемых работ
6	Доля работ, выполняемых с современным программным обеспечением
7	Коммуникационные потери времени
8	Время исправления ошибок (возвратные работы, доработка)

- 1) процесса разработки КД (k_1);
- 2) разработанной КД (k_2);
- 3) разработанного цифрового двойника (k_3);
- 4) технологического процесса изготовления проектируемого изделия (k_4);
- 5) проектируемого изделия (k_5);
- 6) планируемого процесса эксплуатации изделия (k_6);
- 7) планируемого процесса утилизации (k_7).

Каждый из этих элементов характеризуется своими специфическими показателями локальной оценки качества, определяемыми по формуле

$$k_i = \sum_j a_{ij} (x_{ij} / x_{ij}^0), \quad (1)$$

где k_i – оценка качества i -го элемента жизненного цикла изделия; x_{ij} – планируемое значение j -го показателя i -го элемента жизненного цикла изделия; x_{ij}^0 – значение j -го показателя i -го объекта или процесса-аналога; a_{ij} – коэффициент, оценивающий значимость j -го показателя для характеристики качества i -го элемента жизненного цикла изделия.

При детализированном наборе показателей, характеризующих элементы жизненного цикла изделия, оценка качества i -го элемента жизненного цикла будет иметь два уровня расчета:

$$k_i = \sum_n c_{in} \sum_j a_{inj} (x_{inj} / x_{inj}^0), \quad (2)$$

где n – номер подгруппы показателей; c_{in} – коэффициент значимости n -й группы показателей при оценке качества i -го элемента жизненного цикла изделия; a_{inj} – коэффициент значимости j -го показателя, входящего в n -ю группу, при оценке качества i -го элемента жизненного цикла изделия; x_{inj} – планируемое значение j -го показателя, входящего в n -ю группу, при оценке качества i -го элемента жизненного цикла изделия.

Интегральная оценка качества инновационной энергомашиностроительной продукции включает локальные оценки качества всех элементов жизненного цикла изделия и рассчитывается по формуле

$$K = \sum_i b_i k_i, \quad (3)$$

где K – интегральная оценка качества продукции; b_i – коэффициент значимости локальной оценки i -го элемента жизненного цикла изделия.

При оценке качества продукции после разработки КД имеются:

– фактические показатели процесса разработки КД – x_{i1j} ;

– плановые показатели последующих элементов жизненного цикла изделия – x_{inj} (для n от 2 до 7).

Плановые показатели имеют некоторую степень неопределенности, поэтому для их характеристики привлекаются вероятностные оценки. В этом случае оценка качества разделяется на две, отличные по методу расчета, составляющие:

$$M(K) = b_1 \sum_n c_{1n} \sum_j a_{1nj} (x_{1nj} / x_{1nj}^0) + \sum_{i=2}^7 2b_i \sum_n c_{in} \sum_j a_{inj} (M(x_{inj} / x_{inj}^0)), \quad (4)$$

где $M(x_{inj})$ – математическое ожидание планируемого значения j -го показателя, входящего в n -ю группу показателей, при оценке качества i -го элемента жизненного цикла изделия; $M(K)$ – математическое ожидание интегральной оценки качества процесса разработки КД.

Интегральная оценка качества подготовленной КД (на втором этапе жизненного цикла) имеет следующий вид:

$$M(KД) = b_2 \sum_n c_{2n} \sum_j a_{2nj} (x_{2nj} / x_{2nj}^0) + \sum_{i=3}^7 b_i \sum_n c_{in} \sum_j a_{inj} (M(x_{inj} / x_{inj}^0)). \quad (5)$$

Дисперсия интегральной оценки качества процесса разработки КД как мера возможной неопределенности планируемых показателей определяется по формуле

$$D(K) = \sum_{i=2}^7 b_i^2 \sum_n c_{in}^2 \sum_j a_{inj}^2 (D(x_{inj} / x_{inj}^0)), \quad (6)$$

где $D(K)$ – дисперсия (характеристика разброса) планируемого значения j -го показателя, входящего в n -ю группу, при оценке качества i -го элемента жизненного цикла изделия.

Локальная эффективность процесса на этапе разработки КД позволяет сопоставить результат – «качество документации» с затратами – «качество процесса разработки»:

$$M(\Theta) = \frac{b_1 \sum_n c_{2n} \sum_j a_{2nj} (x_{12j} / x_{2nj}^0)}{b_1 \sum_n c_{1n} \sum_j a_{1nj} (x_{1nj} / x_{1nj}^0)} \quad (7)$$

Интегральная эффективность процесса на этапе разработки КД позволяет сопоставить результат – «качество жизненного цикла изделия» с затратами – «качество процесса разработки»:

$$M(\Theta) = \frac{\sum_{i=2}^7 b_i \sum_n c_{in} \sum_j a_{ijn} M(x_{ijn} / x_{ijn}^0)}{b_1 \sum_n c_{1n} \sum_j a_{1nj} (x_{1nj} / x_{1nj}^0)} \quad (8)$$

Здесь показатель качества процесса разработки первого этапа (знаменатель) рассматривается как доля интегрального показателя качества по оставшимся этапам жизненного цикла (числитель). Повышение затрат на разработку конструкторской документации будет обеспечивать лучшие показатели качества на всех этапах жизненного цикла, и предложенный показатель позволяет оценить целесообразность дальнейшей борьбы за качество процесса разработки, если это не дает прироста качества на последующих этапах создания и эксплуатации изделия.

Абсолютный показатель качества может рассматриваться как комбинация двух оценок: среднее ожидаемое значение (математическое

ожидание значения) показателя качества и уверенность в достижении ожидаемого значения показателя качества (среднеквадратическое отклонение). Первую оценку необходимо максимизировать, вторую минимизировать. Линейная свертка оценок имеет вид

$$J = \alpha_1 M(K) - \alpha_2 \sqrt{D(K)}, 0 \leq \alpha_i \leq 1,$$

где α_i – экспертные оценки значимости составляющих.

Предложенная оценка отражает особенности разработки конструкторской документации инновационной энергомашиностроительной продукции, отличающейся высокой степенью неопределенности.

Заключение

При оценке качества конструкторской документации необходимо учитывать показатели на всех этапах жизненного цикла продукта. Представленная авторская математическая модель учитывает это требование и интегрирует множество характеристик, принимая во внимание специфические показатели локальной оценки качества на каждом этапе жизненного цикла изделия.

Разработанная математическая модель оценки качества конструкторской документации станет важным элементом комплексного подхода к повышению качества инновационной продукции в энергетическом машиностроении. Она будет подробно рассмотрена в последующих публикациях, что позволит глубже понять ее практическое применение и значимость в данной отрасли.

Список источников

1. О количественной оценке качества конструкторской документации. URL: <https://sapr.ru/article/7632> (дата обращения: 22.11.2024).
2. Управление качеством проектирования и разработки новой продукции / Д. В. Антипов, Д. А. Горохова, А. В. Артюхов, А. С. Клентак // Изв. Самарского науч. центра РАН. 2022. № 4 (108) (24). С. 131–136.
3. Гасюк Д. П. Инновационные технологии как основа развития отечественного машиностроения в условиях импортозамещения СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. С. 5–12.
4. Гасюк Д. П., Косова (Степанова) В. А. Проблема выбора оптимального варианта технологического процесса изготовления продукции машиностроения в современных условиях // Современное машиностроение. Наука и образование. 2022. № 11. С. 341–354.

5. Боровков А. И., Рябов Ю. А. Цифровые двойники: определение, подходы и методы разработки // Цифровая трансформация экономики и промышленности: сб. тр. науч.-практ. конф. с зарубежным участием, Санкт-Петербург, 20–22 июня 2019 г.; под ред. А. В. Бабкина. СПб.: Изд-во СПбПУ, 2019. С. 234–245.
6. Юрин Д. С. Качество авиационной техники как объект управления СМК // Качество и жизнь. 2022. № 1 (33). С. 37–45.
7. Круглов М. Г., Юрин Д. С. Контроль качества в современных условиях // Изв. Тульск. гос. ун-та. Технические науки. 2023. № 7. С. 193–199.
8. Key barriers of digital transformation of the high-technology manufacturing: an evaluation method / A. Borovkov, O. Rozhdestvenskiy, E. Pavlova et al. // Sustainability. 2021. Vol. 13, № 20. P. 11153.
9. Щербаков А. Г. Механизм функционирования предприятий оборонно-промышленного комплекса России при внедрении цифровых технологий // Актуальные проблемы социально-экономического развития России. 2018. № 4. С. 60–71.
10. Левенцов В. А., Корниенко А. В., Мартынец Е. Р. Совершенствование наукоемкого производства с использованием системы комплексных технологических решений // Передовые производственные технологии: компьютерные (суперкомпьютерные) технологии и организация наукоемких производств: тез. докл. Национ. науч.-практ. конф. / под ред. Ю. Я. Болдырева, П. А. Аркина. СПб.: Изд-во СПбПУ, 2022. С. 22–29.
11. Управление процессом разработки конструкторской документации в современной организации / А. Н. Пегина (Баранникова), Л. И. Назина, Н. Л. Клейменова, А. Д. Шемелова // Изв. Тульск. гос. ун-та. Технические науки. 2020. № 4. С. 228–235.
12. Савичев К. Д., Балашова Е. С. Перспективы применения кросс-функциональных проектных команд на предприятиях российской промышленности // Естественно-гуманитарные исследования. 2023. № 6 (50). С. 424–428.
13. Антипов Д. В., Иващенко А. В. Подходы к повышению производительности и качества производственных процессов предприятий машиностроения // Изв. Самарского науч. центра РАН. 2017. № 4–2 (19). С. 300–309.
14. Менеджмент качества продукции на основе соотношения «Стоимость-Качество» в приложениях / В. В. Рыжаков, М. В. Рыжаков, Ю. С. Ключков, А. О. Холуденева // Вектор науки Тольяттинского гос. ун-та. 2013. № 3 (25). С. 251–255.
15. Мешков С. А., Купцов П. В., Иванова О. Ю. Обеспечение качества продукции на промышленном предприятии // Петерб. экон. журн. 2022. № 3–4. С. 69–74.
16. Косова (Степанова) В. А., Гасюк Д. П. К вопросу анализа условий разработки технологических процессов машиностроительных предприятий // Изв. Тульского гос. ун-та. Технические науки. 2021. № 2. С. 655–658.
17. Agbaxode P., Dlamini S., Saghatforoush E. Design documentation quality influential variables in the construction sector // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. № 1 (654). P. 012007.

Информация об авторах

Глухов Владимир Викторович – доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, советник при ректорате, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (адрес организации: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29Б), ORCID: 0000-0002-8228-3109, SPIN-код: 646062.

Савичев Константин Дмитриевич – аспирант, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (адрес организации: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29Б), ORCID: 0000-0002-8431-997X, SPIN-код: 7830-6781.

Статья поступила в редакцию 01.03.2025, принята к публикации после рецензирования 03.04.2025, опубликована онлайн 30.06.2025.

References

1. On the Quantitative Assessment of the Quality of Design Documentation. URL: <https://sapr.ru/article/7632> (accessed: 22.11.2024).
2. Antipov D. V. et al. Quality Management in Design and Development of New Products. Proc. of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2022, no. 4 (108) (24), pp. 131–136.
3. Gasyuk D. P. Innovative Technologies as the Basis for the Development of Domestic Machine Engineering in the Context of Import Substitution. POLITECH-PRESS, 2023, pp. 5–12.
4. Gasyuk D. P., Kosova (Stepanova) V. A. The Problem of Choosing the Optimal Technological Process Variant for Manufacturing Engineering Products Under Modern Conditions. Modern Machine Engineering. Science and Education. 2022, no. 11, pp. 341–354.
5. Borovkov A. I., Ryabov Yu. A. Digital Twins: Definitions, Approaches, and Development Methods. Digital transformation of the economy and industry: Collection of works of the scientific and practical conference with foreign participation, St Petersburg, June 20–22, 2019. Edited by A. V. Babkin. St Petersburg, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Peter the Great St Petersburg Polytechnic University», 2019, pp. 234–245.
6. Yurin D. S. Quality of Aviation Equipment as an Object of Quality Management System Control. Quality and Life. 2022, no. 1 (33), pp. 37–45.
7. Kruglov M. G., Yurin D. S. Quality Control in Modern Conditions. Proc. of Tula State University. Technical Sciences. 2023, no. 7, pp. 193–199.
8. Borovkov A., Rozhdestvenskiy O., Pavlova E. et al. Key barriers of digital transformation of the high-technology manufacturing: An evaluation method. Sustainability. 2021, vol. 13, no. 20, p. 11153.
9. Shcherbakov A. G. The Mechanism of Functioning of Enterprises in the Defense Industry Complex of Russia with the Introduction of Digital Technologies. Current Problems of Socio-Economic Development of Russia. 2018, no. 4, pp. 60–71.
10. Leventsov V. A., Kornienko A. V., Martynets E. R. Improvement of knowledge-intensive production using a system of integrated technological solutions. Advanced production technologies: computer (supercomputer) technologies and organization of knowledge-intensive industries. 2022, pp. 22–29.
11. Pegina (Barannikova) A. N., Nazina L. I., Kleimenova N. L., Shemelova A. D. Management of the Process of Developing Design Documentation in Modern Organizations. Proc. of Tula State University. Technical Sciences. 2020, no. 4, pp. 228–235.
12. Savichev K. D., Balashova E. S. Prospects for the Application of Cross-Functional Project Teams in Russian Industry Enterprises. Natural and Humanitarian Studies. 2023, no. 6 (50), pp. 424–428.
13. Antipov D. V., Ivashchenko A. V. Approaches to Increasing Productivity and Quality of Production Processes in Engineering Enterprises. Proc. of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2017, no. 4–2 (19), pp. 300–309.
14. Ryzhakov V. V., Ryzhakov M. B., Klochkov Yu. S., Kholudeneva A. O. Product Quality Management Based on the «Cost-Quality» Relationship in Applications. Vector of Science of Togliatti State University. 2013, no. 3 (25), pp. 251–255.
15. Meshkov S. A., Koptsov P. V., Ivanova O. Yu. Ensuring Product Quality at an Industrial Enterprise. St Petersburg Economic Journal. 2022, no. 3–4, pp. 69–74.
16. Kosova (Stepanova) V. A., Gasyuk D. P. On the Analysis of Conditions for the Development of Technological Processes in Machine Engineering Enterprises. Proc. of Tula State University. Technical Sciences. 2021, no. 2, pp. 655–658.

17. Agbaxode P., Dlamini S., Saghatforoush E. Design documentation quality influential variables in the construction sector. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021, no. 1 (654), p. 012007.

Information about the authors

Vladimir V. Glukhov, DSc (Economic) Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Advisor to the Rectorate, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University (address: 195251, Saint Petersburg, Politechnicheskaya St., 29B), ORCID: 0000-0002-8228-3109, SPIN-code: 646-062.

Konstantin D. Savichev, Post-Graduate Student, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University (address: 195251, Saint Petersburg, Politechnicheskaya St., 29B), ORCID: 0000-0002-8431-997X, SPIN-code: 7830-6781.

The article was submitted on 01.03.2025, accepted for publication after reviewing on 03.04.2025, published online on 30.06.2025.