

# Информатика и вычислительная техника Informatics and computer engineering

Научная статья

УДК 658.51

DOI: 10.14529/ctcr240101

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОЙ РЕГИСТРАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРЕДПРИЯТИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Д.В. Капулин, DKapulin@sfu-kras.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4260-1408>*

*М.С. Воронков, Mvoronkov-a21@stud.sfu-kras.ru*

*П.А. Русских, Prusskikh@sfu-kras.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2858-2893>*

*О.В. Дрозд, Odrozd@sfu-kras.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7374-253X>*

*Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия*

**Аннотация.** Современное производство радиоэлектронной аппаратуры является характерным примером позаказного многономенклатурного типа производства. При позаказном производстве изделий каждый заказ является уникальным изделием. Повторяемость заказов в общем объеме заказов достаточно невелика по сравнению с новыми заказами, что приводит к большому росту номенклатуры изделий. Как правило, производимые изделия являются сложными, высокотехнологичными изделиями, которые могут иметь большую структуру, состоять из большого количества компонентов и имеют сложный технологический процесс изготовления. Таким образом, реализация полного цикла производства изделий и подготовки конструкторской документации требует сопровождения специализированными программными средствами. Из-за сложности готовых изделий и большого числа участников, задействованных в производственной деятельности, происходит экспоненциальный рост объемов информации. Без наличия актуальных данных и методов для быстрого принятия решений процесс разработки и производства не будет эффективным. Рассмотрены вопросы автоматизации отслеживания оперативных изменений конструкторской документации на всех этапах производства радиоэлектронной аппаратуры. Автоматизированные системы, отвечающие за управление жизненным циклом продукции, называются PLM – Product Lifecycle Management – это стратегия производства промышленных изделий, управляющая продуктом на всех этапах жизненного цикла. Существующие коммерческие решения в данной области обладают избыточным функционалом и сложны для интеграции в существующее информационное пространство предприятия. **Цель исследования:** исследование процесса регистрации технических изменений конструкторской документации. **Материалы и методы.** В статье представлен процесс реализации технических изменений в виде формальной модели и функциональной модели реализации журнала изменений с использованием нотации IDEF0. Представлена архитектура электронного журнала оперативной регистрации изменений в форме диаграмм графической нотации UML. **Результаты.** Предложены модели для разработки автоматизированной системы управления электронным журналом оперативной регистрации изменений. Рассмотрена программная реализация системы управления электронным журналом оперативной регистрации изменений на научно-производственном предприятии. **Заключение.** Предложенная в исследовании автоматизированная система позволяет в короткие сроки довести до производственных цехов предприятия сведения о предлагаемых изменениях в конструкцию опытного образца изделия, остановить производство, провести необходимые корректирующие действия и доработать изделие с минимизацией потерь на изготовление нового опытного образца.

**Ключевые слова:** техническое изменение, управление конструкторской документацией, система управления данными об изделии, журнал оперативной регистрации изменений

**Для цитирования:** Автоматизированная система оперативной регистрации технических изменений предприятия радиоэлектронной промышленности / Д.В. Капулин, М.С. Воронков, П.А. Русских, О.В. Дрозд // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2024. Т. 24, № 1. С. 5–18. DOI: 10.14529/ctcr240101

## AUTOMATED SYSTEM OF OPERATIONAL REGISTRATION OF TECHNICAL CHANGES OF AN ENTERPRISE OF RADIO-ELECTRONIC INDUSTRY

*D.V. Kapulin*, [DKapulin@sfu-kras.ru](mailto:DKapulin@sfu-kras.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4260-1408>

*M.S. Voronkov*, [Mvoronkov-a21@stud.sfu-kras.ru](mailto:Mvoronkov-a21@stud.sfu-kras.ru)

*P.A. Russkikh*, [Prusskikh@sfu-kras.ru](mailto:Prusskikh@sfu-kras.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2858-2893>

*O.V. Drozd*, [Odrozdz@sfu-kras.ru](mailto:Odrozdz@sfu-kras.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7374-253X>

*Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia*

**Abstract.** The modern production of radio-electronic equipment is a typical example of a make-to-order type of production. With custom-made products, each order is a unique product. The repeatability of orders in the total volume of orders is quite small compared to new orders, which leads to a large increase in the product range. As a rule, manufactured products are complex, high-tech products that can have a large structure, consist of a large number of components, and have a complex manufacturing process. Thus, the implementation of the full cycle of production of products and the preparation of design documentation requires the support of specialized software. Given the complexity of finished products and the large number of participants involved in production activities, there is an exponential growth in the volume of information. Without the availability of up-to-date data and methods for quick decision making, the development and production process will not be effective. The issues of automating the tracking of operational changes in design documentation at all stages of the production of radio-electronic equipment are considered. Automated systems responsible for managing the life cycle of products are called PLM – Product Lifecycle Management – this is a strategy for the production of industrial products that manages the product at all stages of the life cycle. Existing commercial solutions in this area have redundant functionality and are difficult to integrate into the existing information space of the enterprise. **Aim.** Study of the process of registration of technical changes in design documentation. **Methods.** The article presents the process of implementing technical changes in the form of a formal model and a functional model for implementing the changelog using the IDEF0 notation. The architecture of the electronic log of operational registration of changes in the form of diagrams of UML graphic notation is presented. **Results.** Models for the development of an automated system for managing the electronic journal of operational registration of changes are proposed. The software implementation of the system for managing the electronic journal of operational registration of changes at a research and production enterprise is considered. **Conclusion.** The automated system proposed in the study allows in a short time to bring to the production shops of the enterprise information about the proposed changes in the design of a prototype product, stop production, take the necessary corrective actions and finalize the product with minimization of losses for the production of a new prototype.

**Keywords:** technical change, managing design documentation, product data management system, operational technical change log

**For citation:** Kapulin D.V., Voronkov M.S., Russkikh P.A., Drozd O.V. Automated system of operational registration of technical changes of an enterprise of radio-electronic industry. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2024;24(1):5–18. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr240101

### Введение

Позаказное многономенклатурное производство радиоэлектронной аппаратуры предполагает проектирование, изготовление и конфигурацию компонентов изделия по требованиям заказчика [1]. Предприятия данного типа характеризуются высоким уровнем сложности производимых изделий, небольшими размерами производимых партий, длительными сроками выполнения заказов и высоким уровнем конфигурации изделия под требования заказчика. Процесс проектирования опытных образцов радиоэлектронной аппаратуры, таких как специализированные средства связи, навигации и комплексы автоматизированного управления, имеет сложную структуру внутренних процессов и отличается значительными сроками выполнения [2–4]. При этом

необходимо оперативно отслеживать изменения, вносимые в конструкторскую документацию на изделие, которые увеличивают стоимость конечного изделия и сроки выпуска опытных образцов.

Управление жизненным циклом изделия в целом обеспечивается программными системами класса PLM (Product Lifecycle Management). Данные системы имеют достаточно широкий функционал, но основной их задачей является организация технического документооборота с обеспечением информационной целостности процесса создания, производства и сопровождения продукта [5–7]. PLM-системы различаются как по функциональным возможностям, так и по предоставляемым средствам интеграции в существующее информационное пространство предприятия. Ключевым компонентом PLM-систем являются системы управления данными об изделии (Product Data Management, PDM), обеспечивающие формирование и управление единой информационной базой конструкторской и технологической документации на изделие [8, 9].

Задача автоматизации управления данными об изделии наукоемкого предприятия может быть решена за счет внедрения PLM-систем [10]. При этом предполагается, что предприятие уже обладает соответствующей информационной инфраструктурой, позволяющей интегрировать комплексную PLM-систему, должны быть строго регламентированы процессы создания, внесения изменений, согласования и утверждения конструкторской документации. Также неизбежно возникает вопрос интеграции PLM-системы, существующих баз данных предприятия и используемых систем автоматизированного проектирования и подготовки производства [11].

Второй распространенный подход к решению задачи автоматизации управления данными предполагает разработку специализированного программного обеспечения для решения частных задач управления данными об изделии, не предполагающих формирование единого информационного пространства предприятия [12, 13]. Ключевыми недостатками данного подхода является формирование большого количества программных модулей и надстроек, решающих частные задачи управления производственным документооборотом, сложность синхронизации и интерпретации данных об изделии. И при всех преимуществах использования единых информационных PLM-систем в практике предприятий с существующей информационной инфраструктурой в основном используются программные модули и системы для решения отдельных задач автоматизации проектного документооборота.

В связи с общей нехваткой средств автоматизированной регистрации и контроля изменений конструкторской документации разработка и внедрение специализированной программной системы оперативной регистрации изменений конструкторской документации является актуальной для предприятий приборостроительной отрасли.

### **Формальная модель процесса реализации технических изменений**

Обеспечение оперативного производственного планирования предполагает контроль ошибок в конструкции и производства продукции. В процессе разработки конструкторской документации могут возникать ошибки исполнителя, которые выявляются в процессе производства изготавливаемого изделия. Процесс внесения корректирующих изменений в конструкторскую документацию занимает определенное время, при этом довести сведения о вносимых изменениях до производства необходимо в кратчайшие сроки.

Рассмотрим общий процесс реализации технических изменений. В процессе производства опытных изделий непосредственные исполнители и отдел контроля качества (ОКК) предприятия сообщают об этом инженерам-технологам, прикрепленным к соответствующим производственным цехам. После анализа ошибки они доводят сведения о ней до подразделения-разработчика изделия. Исполнители принимают решение о целесообразности внесения технических изменений в конструкцию изделия, прошедшего некоторые стадии технологического процесса, а в некоторых случаях – полный цикл изготовления.

При принятии положительного решения о доработке разработчик непосредственно в производственном цехе фиксирует требуемые корректирующие действия в журнале изменений в бумажном формате. Далее он обязан согласовать данный пункт изменений с инженерами-технологами цеха и отделом контроля качества. При этом представитель технологического подразделения должен описать краткий технологический процесс внесения исправлений в изделие.

В итоге исполнитель пункта изменений обязан довести данные корректирующие изменения до производства [14].

Представим процесс реализации технических изменений в прямоугольной системе координат в пространстве (рис. 1). Оси абсцисс соответствуют изделию, подлежащему внесению изменений в конструкторскую документацию и последующей доработке, оси ординат – стадии реализации изменения, оси аппликат – персонал, принимающий участие в процессе реализации технических изменений.

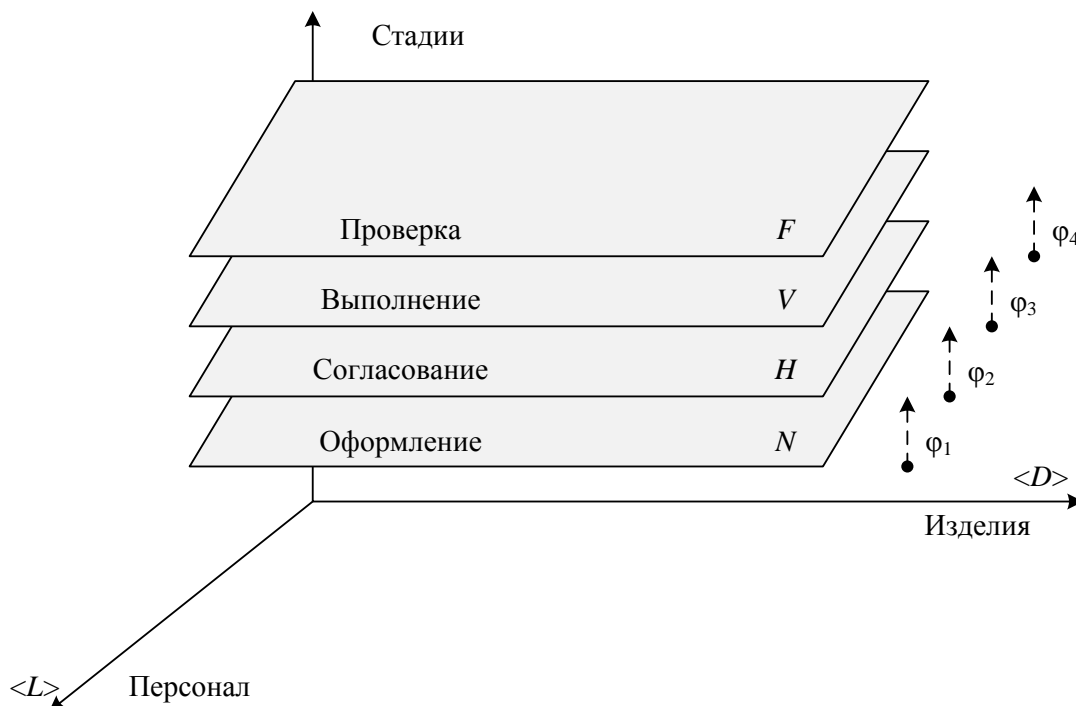


Рис. 1. Процесс реализации технических изменений в прямоугольной системе координат  
Fig. 1. Implementation process of technical changes in rectangular coordinate system

Процесс реализации технического изменения подразделен на следующие стадии:

- 1) оформление соответствующего пункта журнала изменений (стадия «Оформление»);
- 2) согласование изменения с необходимыми подразделениями (стадия «Согласование»);
- 3) доработка изделия в соответствии с пунктом журнала изменений (стадия «Выполнение»);
- 4) проверка изделия после доработки необходимыми подразделениями предприятия (стадия «Проверка»).

Стадии процесса реализации технического изменения представлены на рис. 1 в виде плоскостей. Площадь плоскости зависит от численности персонала, участвующего в той или иной стадии. Плоскость реализации изменений площадью  $(l_n \in L) \cdot (d_n \in D)$  с этапами прохождения отдельных стадий  $\varphi$  можно представить как

$$(L) \cdot (D) \xrightarrow{\Delta\varphi} (\text{изменение КД}),$$

$$\Delta\varphi = \langle \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \varphi_4 \rangle,$$

при этом прохождение всех стадий реализации технического изменения в виде переходов между плоскостями площадью  $l \cdot d$  можно представить как

$$\xrightarrow{\varphi_1} N(l_n \cdot d_n) \xrightarrow{\varphi_2} H(l_n \cdot d_n) \xrightarrow{\varphi_3} V(l_n \cdot d_n) \xrightarrow{\varphi_4} F(l_n \cdot d_n).$$

Представим прохождение стадий реализации технического изменения в двухмерной системе координат (рис. 2). Каждая стадия имеет начальную временную метку  $t_0$  и длительность выполнения  $t$ . Время прохождения каждого этапа зависит от степени сложности выполняемой работы.

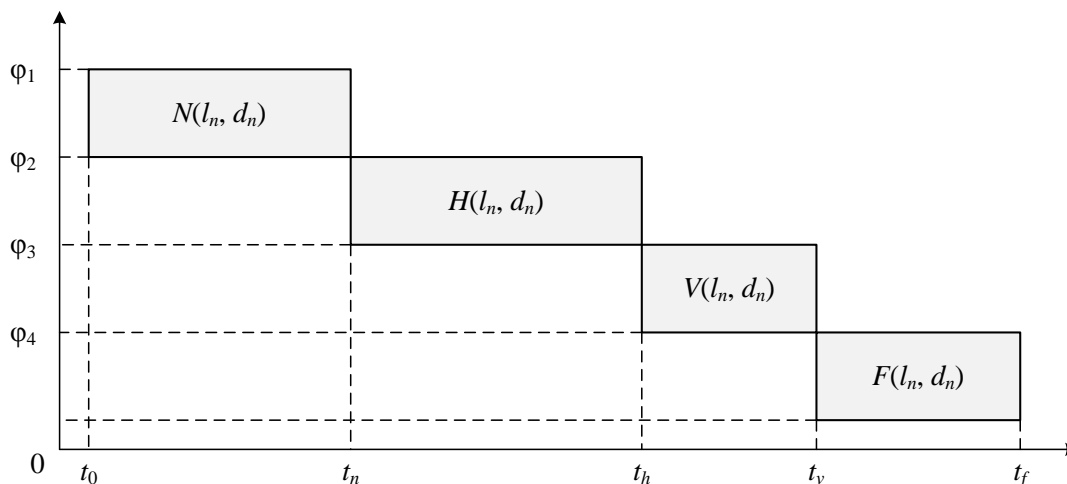


Рис. 2. Процесс реализации технических изменений в двумерной системе координат  
Fig. 2. Implementation process of technical changes in 2D coordinate system

### Функциональная модель реализации электронного журнала оперативной регистрации изменений

Журнал оперативной регистрации (ЖОР) изменений – это ключевой документ, обеспечивающий оперативное доведение сведений о вносимых в конструкцию выпускаемых изделий внеплановых изменений до исполнителей, непосредственно отвечающих за производство изделия, и служб предприятия, ответственных за управление производством [15]. Использование электронного журнала оперативной регистрации изменений способствует снижению производственных издержек и росту производительности предприятия при производстве опытных образцов радиоэлектронной аппаратуры.

Согласно ГОСТ 2.503–2013, журнал изменений включает следующие графы (рис. 3):

- порядковый номер изменений, общий для всех производимых изменений в одном документе;
- дата записи в журнале;
- обозначение изменяемого документа;
- содержание изменяемого участка (графическое, текстовое и т. д.), указания об использовании или доработке задела;
- должности, фамилии, подписи соответствующих лиц, дата подписания;
- сведения о внесении изменений в подлинники и копии;
- дополнительные сведения о внесении изменений.

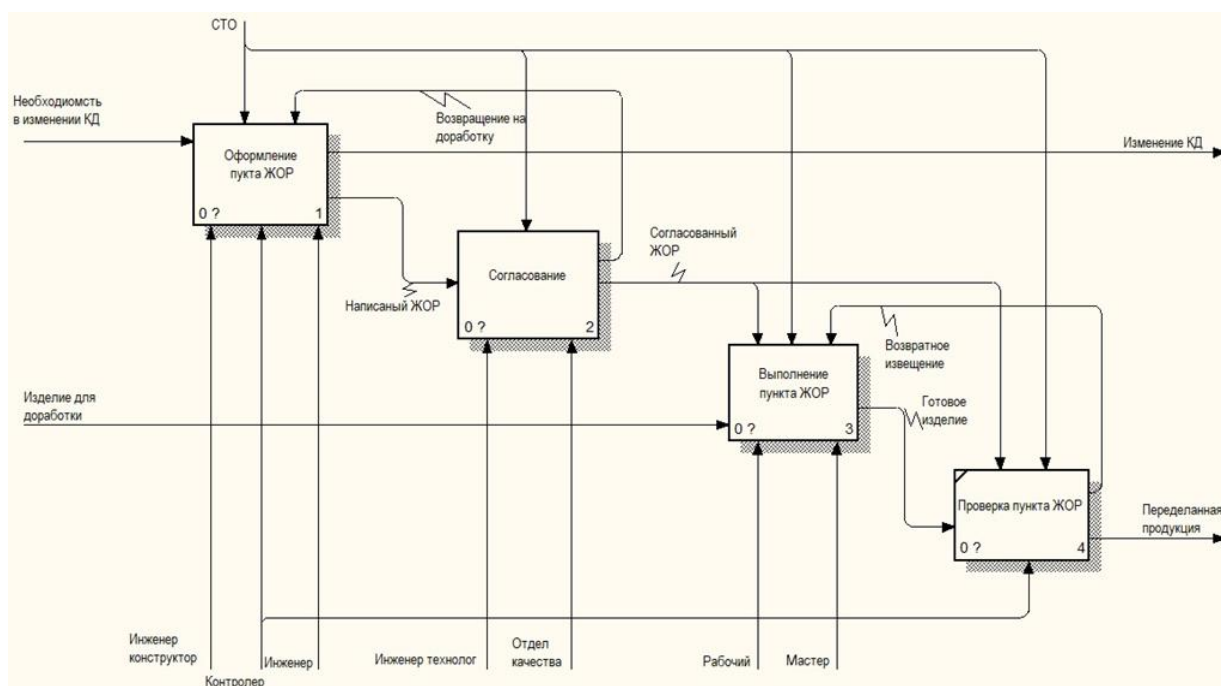
Изм.	Дата записи	Обозначение документа	Содержание изменения	Должность, фамилия, подпись, дата	Отметка о внесении изменений в		Примечание
					подлинники	копии	
1	2	3	4	5	6	7	8

Рис. 3. Общая форма журнала изменений по ГОСТ 2.503–2013  
Fig. 3. The general form of the change log in accordance with GOST 2.503–2013

Рассмотрим функциональную модель процесса создания и реализации пункта журнала оперативной регистрации изменений (рис. 4). Процесс создания ЖОР изменений инициируется входным сообщением о необходимости внесения изменений в конструкторскую документацию, которое может быть вызвано:

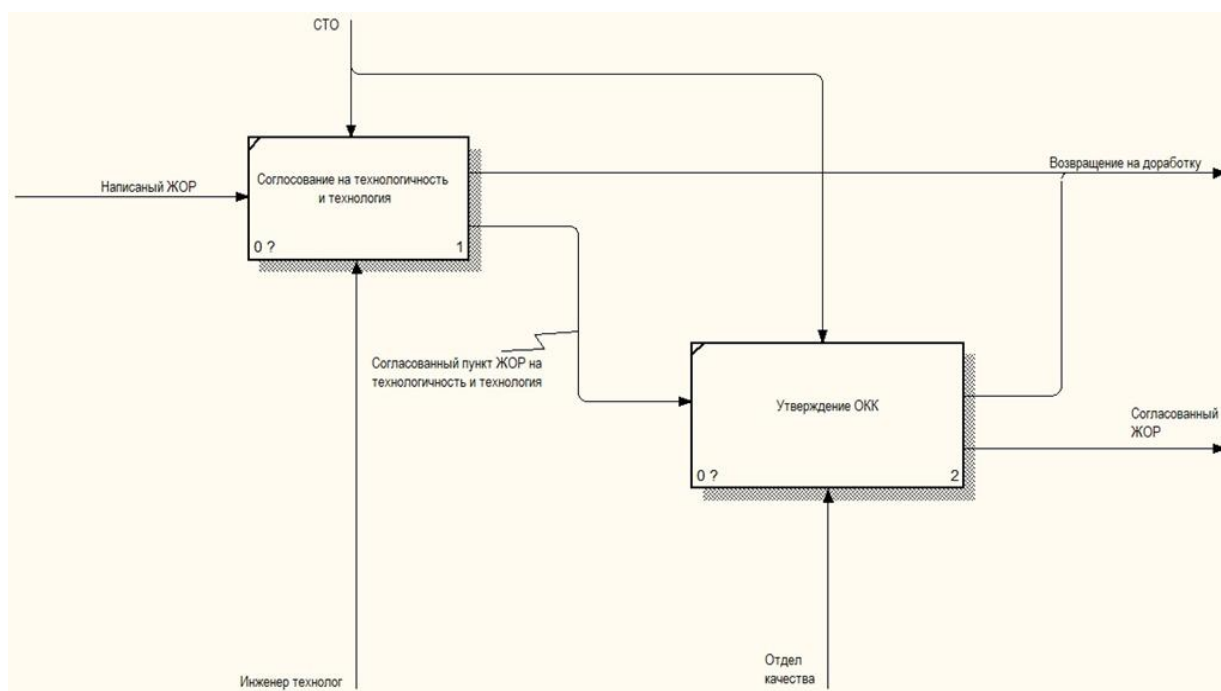
- ошибками в текущей версии конструкторской документации;
- несоответствием заявленных конструктивных решений технологическим требованиям производства;
- модернизацией изделия и его компонентов.

При внесении требуемых изменений исполнители руководствуются соответствующими пунктами журнала оперативной регистрации изменений. В случае несоответствий и обнаружения дефектов выписывается возвратное извещение.



**Рис. 4. Функциональная модель процесса создания и реализации пункта журнала оперативной регистрации изменений**  
**Fig. 4. Functional model of the process of creating and implementing an item in the log of operational registration of changes**

Ниже представлена декомпозиция процессов «Согласование» (рис. 5) и «Выполнение пункта журнала» (рис. 6).



**Рис. 5. Функциональная модель процесса «Согласование»**  
**Fig. 5. Functional model of the process "Agreement"**

При выполнении процесса «Согласование» (см. рис. 5) утверждается технологический процесс внесения технических изменений в изделие и выполняется согласование пункта журнала оперативной регистрации изменений с отделом контроля качества. Прохождение данных этапов согласования изменений показывает принципиальную выполнимость данного пункта технических изменений. При невозможности проведения доработок изделия или некорректном описании предлагаемого технического изменения инженер-технолог или представитель отдела контроля качества формируют замечания и предложения разработчику изделия и передают пункт изменения на доработку и внесение исправлений.

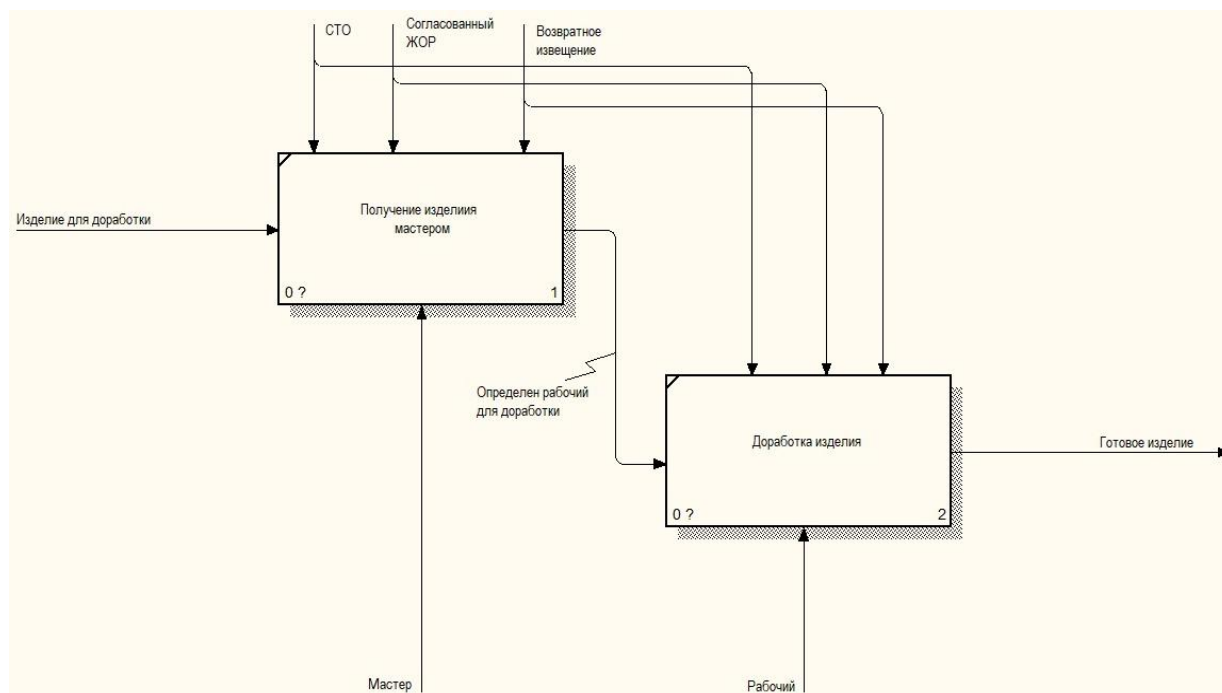


Рис. 6. Функциональная модель процесса «Выполнение пункта журнала»  
Fig. 6. Functional model of the process "Execution of log item"

Собственно, доработка изделия и проверка внесенных изменений в его конструкцию выполняется в процессе «Выполнение пункта журнала» (см. рис. 6). При получении необходимого пакета документации (конструкторская документация на изделие, сопроводительные документы и описание временного технологического процесса) и самого изделия мастер цеха определяет квалифицированного исполнителя для проведения работ по доработке изделия. После завершения данных работ мастер предъявляет изделие в отдел контроля качества для проверки внесенных изменений. При положительном результате контроля качества доработка считается выполненной.

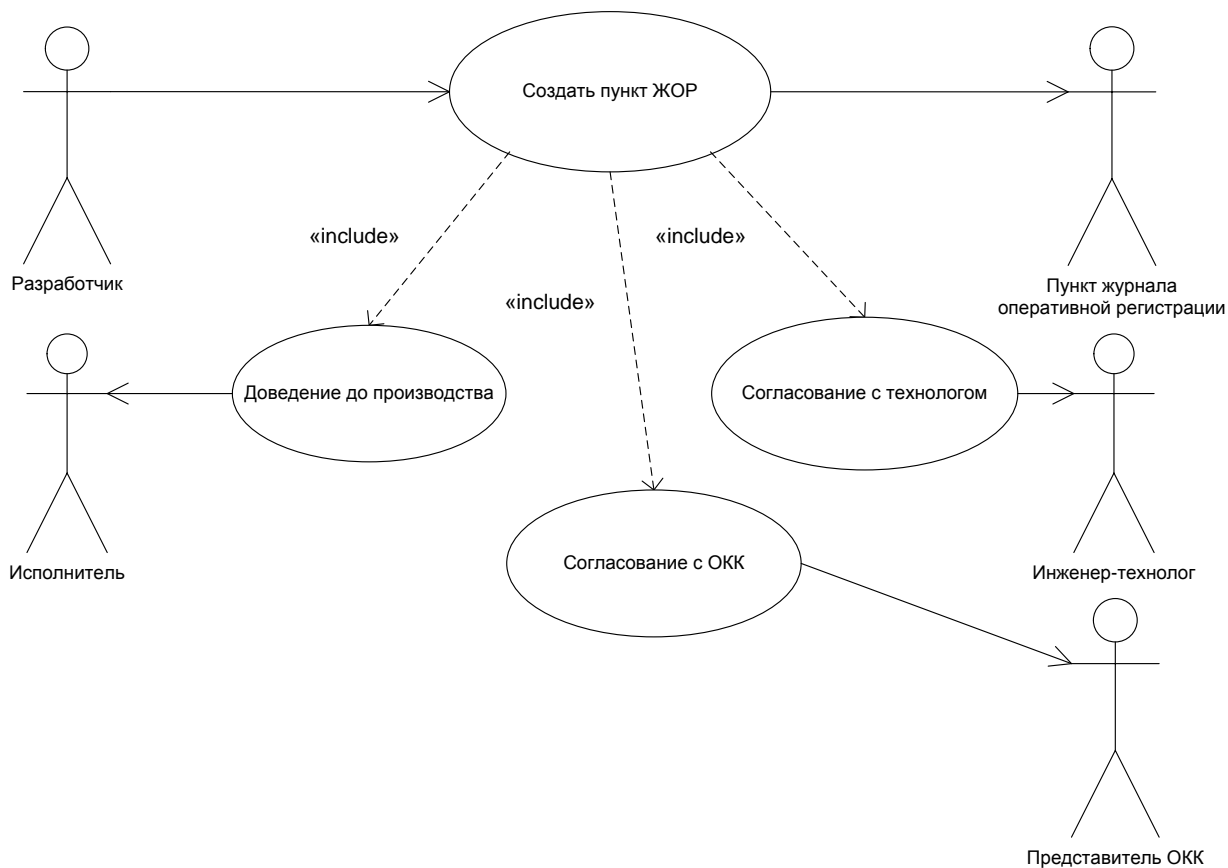
На базе проведенного анализа и рассмотренной модели процессов реализации технических изменений разработана архитектура электронного журнала оперативной регистрации изменений, представленная на диаграмме вариантов использования (рис. 7), диаграмме классов (рис. 8) и диаграмме последовательности (рис. 9) нотации UML.

На диаграмме вариантов (см. рис. 7) использования показаны актеры – участники процесса формирования и реализации технических изменений, прецеденты данного процесса и их отношения друг к другу.

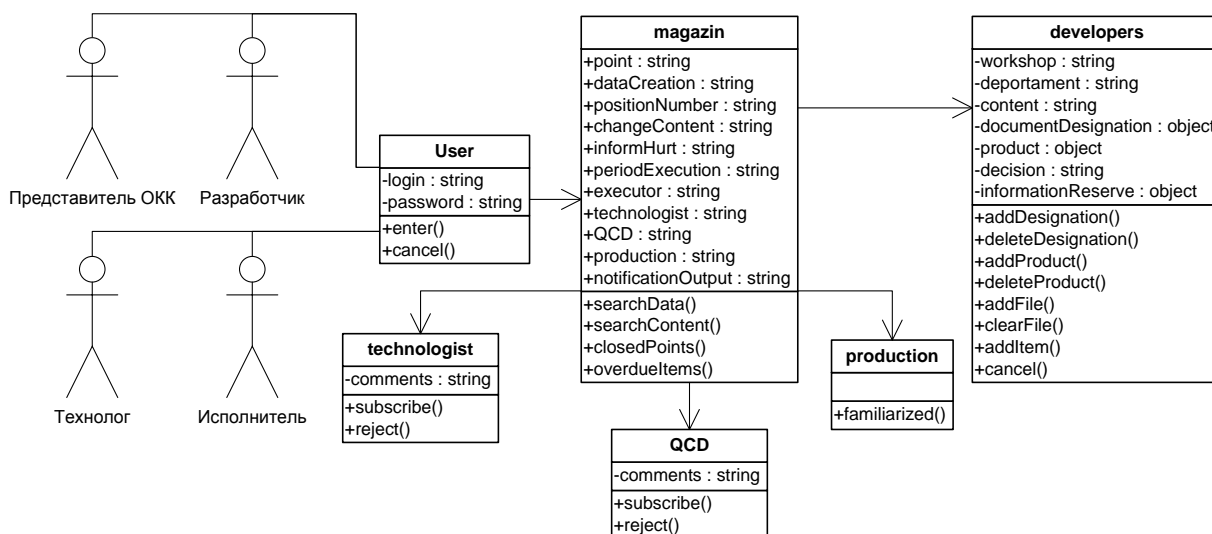
На диаграмме классов (см. рис. 8) представлены объекты системы и статические отношения между ними. Она включает следующие классы: пользователь (класс user), журнал оперативной регистрации изменений (класс magazine), классы модального окна управления электронным ЖОР изменений и реализации вносимых изменений (классы developers, technologist, QCD).

В классе user реализованы функции авторизации пользователя. В классе magazine представлены функции поиска по разделам журнала изменений и управления пользовательским интер-

фейсом. Функции создания и согласования журнала оперативной регистрации изменений открывают одно из модульных окон классов developers – «Разработчики», technologist – «Инженер-технолог» и QCD – «Отдел контроля качества», в которых пользователь вводит необходимые данные и выполняет соответствующие операции.



**Рис. 7. Диаграмма вариантов использования**  
**Fig. 7. Use Case Diagram**



**Рис. 8. Диаграмма классов**  
**Fig. 8. Class diagram**



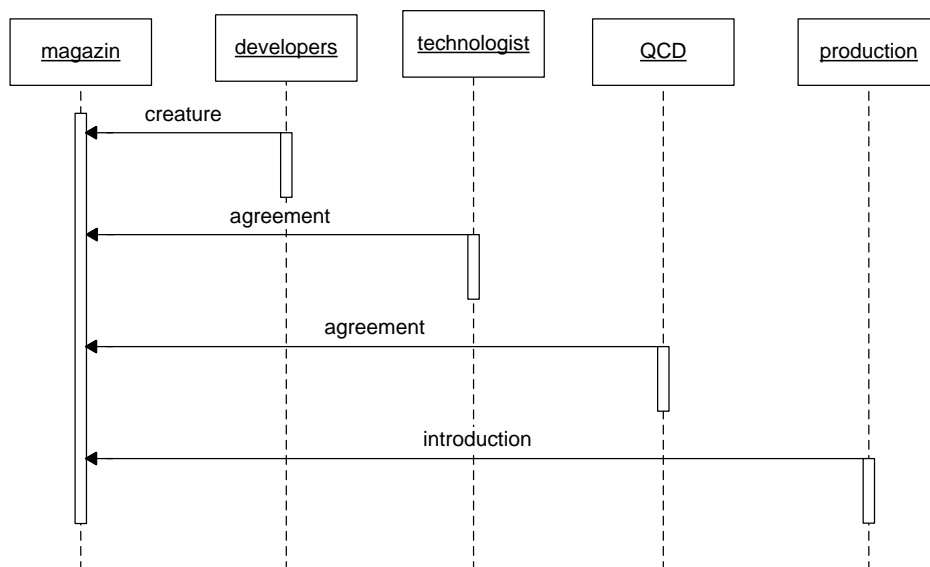


Рис. 9. Диаграмма последовательности  
Fig. 9. Sequence diagram

Диаграмма последовательности (см. рис. 9) представляет взаимодействие исполнителей представленной функциональной модели процесса создания и реализации пункта журнала оперативной регистрации изменений. При этом разработчик пункта журнала изменений взаимодействует со всеми исполнителями процесса, которые не связаны между собой.

#### Реализация системы оперативной регистрации технических изменений

В представленной работе процессы оперативной регистрации и отслеживания изменений конструкторской документации рассматриваются на примере предприятия АО «НПП «Радиосвязь» (г. Красноярск, Россия). Его основной сферой деятельности является производство систем и аппаратных комплексов передачи данных, тропосферной, спутниковой связи и навигации. Научно-производственное предприятие «Радиосвязь» является научно-производственным комплексом радиоэлектронной промышленности, в котором проектирование является важным видом деятельности, конечным результатом которого является конструкторская документация на изделие.

На АО «Научно-производственное предприятие «Радиосвязь» главное окно системы оперативной регистрации технических изменений конструкторской документации организовано в виде таблицы электронного журнала оперативной регистрации изменений со следующими столбцами (рис. 10):

- номер пункта журнала;
- отдел разработчика;
- обозначение документа;
- наименование изделия;
- дата создания изменения;
- цех и производственный участок, определенные для внесения изменений в изделие;
- нужный для доработки продукции цех и его участок;
- содержание изменения;
- информация о производственном заделе;
- исполнитель изменения;
- технолог, подписавший изменение;
- представитель технического контроля, согласовавший изменение;
- мастер участка, определенного для внесения изменений в изделие;
- срок внесения изменений;
- примечание;
- извещение об изменении;
- дата выпуска.

Пункт	Дата создания	Цех	Участок	Отдел	Обозначения документа	Изделие	Содержание изменения
483	07.09.2021 08:33	Цех 37	Уч. 40	Сектор 4320	030.512 - Корпус	3051	Отсутствуют 4 отв.

Принятое решение	Информация о заделе	Срок	Исполнитель	Технолог
Исполнитель: Доработать корпус (по виду В) 030.512 согласно эскизу. Передать корпус на покровку ЛКП в 51 цех. <a href="#">030.512 - Корпус.cdw</a>	Исполнитель: Задел доработать шт.	31.12.2017	Гакман Ольга Николаевна	Васимова Ядвига Ипполитосовна 07.09.2017 08:53

Военный представитель	Мастер	ОТК	Примечание	Предварительное извещение	Дата выпуска	Извещение об изменении	Срок изменения
	Рубан Любовь Сергеевна 07.09.2017 09:11	Воронков Максим Сергеевич 13.09.2017 09:37	Нормировщик: 764-0,4; 653-0,28	4320-Р444-Д-996	07.09.2017	УЭ.2372-2017	22.11.2017

Рис. 10. Главное окно системы оперативной регистрации изменений конструкторской документации  
Fig. 10. Main window of the registration system changes in design documentation

Разработчик, убедившись в наличии проблем в конструкторской документации, создает пункт электронного журнала оперативной регистрации изменений (рис. 11).

Рис. 11. Окно создания пункта журнала оперативной регистрации изменений  
Fig. 11. Log item creation window

Для этого заполняется общее описание изменения и прикрепляются все необходимые эскизы, чертежи, технологические карты или инструкции для корректной и оперативной доработки изделия. После создания пункта в журнале оперативной регистрации изменений разработчик должен довести и согласовать вносимое изменение с технологом (рис. 12).

Инженер-технолог должен проверить пункт изменения на технологичность выполнения и описать краткий технологический процесс его выполнения в графе комментариев. В графе «Участок» инженер-технолог указывает производственный участок цеха, где будет производиться доработка изделия. В том случае, если предлагаемое изменение не отвечает технологическим возможностям предприятия, оно отклоняется. Замечания отдела технического контроля указываются в графе «Примечание», при этом предлагаемое изменение отклоняется. После устранения технологических замечания и замечаний технического контроля пункт журнала оперативной регистрации изменений подписывается.

Разработчик, внесший изменения в изделие, должен довести их до сведения мастера цеха, где будет производиться соответствующая доработка, и мастер цеха должен поставить электронную подпись. Электронная подпись подтверждает, что информация по доработке изделия доведена до производства. Мастер цеха определяет компетентного рабочего для внесения доработки в изделие и срок завершения (рис. 13).

Рис. 12. Окно согласования технического изменения с инженером-технологом  
Fig. 12. Technical Change Approval Window with a process engineer

Пункт Журнала 37824	
Цех 15 Уч.33, Цех 16 Уч.6	Исполнитель:
Отдел:	Сектор 4940
Дата создания:	26.05.2023
Обозначение документа:	УЗ4.825.886(34940-22-0215)
Изделие:	
Содержание изменения:	Требуется экранировать кабель.
Служебная:	
Принятое решение:	Цех 15: Кабель № 17 (УЗ4.825.886) дополнительно оплести проволокой ММЛ до разветвления. Оплетку на корпус разъема НЕ выводить. Не допускается соприкосновение внешнего и внутреннего экранов. Цех 16: Кабель № 17 направить в цех 15 для доработки.
	Технолог: Цех 16: Отключить кабель от прибор, колодки (6 винтов М4), демонтировать из жгута (срезать 5 стяжек), уложить в бухту, передать на доработку. После доработки кабель проложить, закрепить, подключить к приборам
Прилагаемый файл:	
Информация о заделе:	Доработать 20 комплектов (заказ 207333)
Срок:	30.09.2023
Технолог:	
Военный представитель:	
Мастер:	--- /
ОТК:	--- /
Примечание:	

Рис. 13. Форма представления технического изменения для внесения доработки в изделие  
Fig. 13. Technical change submission form to improve the product

После выполнения работ опытный образец изделия предъявляют в отдел контроля качества с приложенными пунктами журнала оперативной регистрации изменений. Контролер качества проверяет данную доработку на соответствие пункту ЖОР и при положительном результате ставит штамп, роспись и дату проведенной проверки. В обратном случае выписывается возвратное извещение на отработку замечаний и изделие вновь предъявляется в отдел контроля качества на повторную проверку. После внесения доработки мастер цеха передает изделие по маршруту доработки в другой цех для прохождения следующей технологической операции или, если все операции технологического процесса производятся в данном цехе, изделие возвращается в цех, где была выявлена необходимость доработки.

### **Заключение**

Предложенная система оперативной регистрации изменений конструкторской документации позволяет в короткие сроки довести до производственных цехов предприятия сведения о предлагаемых изменениях в конструкцию опытного образца изделия, остановить производство, провести необходимые корректирующие действия и доработать изделие с минимизацией потерь на изготовление нового опытного образца. Реализованный электронный журнал оперативной регистрации изменений также позволяет вести учет количества случаев ошибок в конструкторской документации, анализировать их причины и принимать необходимые корректирующие меры. Предложенная система при постоянном применении на АО «НПП «Радиосвязь» зарекомендовала себя как эффективное средство автоматизации контроля изменений конструкторской документации.

### **Список литературы**

1. Русских П.А., Капулин Д.В. Анализ решений для создания и реализации механизмов адаптивного планирования позаказного производства // Вестник МГТУ «Станкин». 2021. № 1 (56). С. 46–50.
2. Bachtenkirch D., Bock S. Finding efficient make-to-order production and batch delivery schedules // *European Journal of Operational Research*. 2022. Vol. 297, no. 1. P. 133–152. DOI: 10.1016/j.ejor.2021.04.020
3. Швацкий А.В., Казанцев М.А., Капулин Д.В. Методы построения системы электронного документооборота неучтенной конструкторской документации на предприятии радиоэлектронной промышленности // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2014. Т. 7, № 7. С. 767–778.
4. Елтышев Д.К., Кулик В.Д. Автоматизация процессов проверки, учета и распределения электронной конструкторской документации в PLM-системе Teamcenter // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 11-3. С. 510–514.
5. Industrial blockchain based framework for product lifecycle management in industry 4.0 / X.L. Liu, W.M. Wang, H. Guo et al. // *Robotics and computer-integrated manufacturing*. 2020. Vol. 63. P. 101897. DOI: 10.1016/j.rcim.2019.101897
6. Artificial intelligence in product lifecycle management / L. Wang, Z. Liu, A. Liu, F. Tao // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2021. Vol. 114. P. 771–796. DOI: 10.1007/s00170-021-06882-1
7. Conlon J. From PLM 1.0 to PLM 2.0: the evolving role of product lifecycle management (PLM) in the textile and apparel industries // *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*. 2020. Vol. 24, no. 4. P. 533–553. DOI: 10.1108/JFMM-12-2017-0143
8. Ширяев Н.В. Практика внедрения PDM/PLM-решений на отечественных предприятиях // *Автоматизация в промышленности*. 2014. № 9. С. 19–24.
9. Kadam O.B., Pirayesh A., Fatahi Valilai O. Technological Insights of Interoperable Models for Integration of CAD/PLM/PDM and ERP Modules in Engineering Change Management // *Flexible Automation and Intelligent Manufacturing: The Human-Data-Technology Nexus: Proceedings of FAIM 2022, June 19–23, 2022, Detroit, Michigan, USA*. Vol. 2. Cham: Springer International Publishing, 2023. P. 556–564.
10. A review of PLM impact on US and EU aerospace industry / F. Mas, R. Arista, M. Oliva et al. // *Procedia engineering*. 2015. Vol. 132. P. 1053–1060. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.12.595
11. Сафронов В.В., Барабанов В.Ф., Минаков С.А. Методы интеграции ECAD и PLM систем // *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2011. Т. 7, № 10. С. 61–64.

12. Черников Б.В., Попов А.А. Состав комплекса информационных систем при объединении предприятий в единое информационное пространство // Информатизация и связь. 2015. № 3. С. 23–28.
13. Гордиенко Е.П. Интеграция информационных систем в рамках единого информационного пространства предприятия // Транспорт: наука, образование, производство. Воронеж, 2020. С. 62–65.
14. Никонов Ю.Ю., Голубков Г.Г. Внедрение электронной системы внесения изменений в конструкторскую документацию // Гагаринские чтения – 2019. 2019. С. 232–232.
15. Шмидт И.А., Механошин К.А., Семусева А.С. Автоматизация бизнес-процесса формирования и отправки заявки на изменение конструкторской документации // Научно-технический вестник Поволжья. 2017. № 4. С. 244–247. DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-244-247

### References

1. Russkikh P.A., Kapulin D.V. Analysis of solutions for the creation and implementation of adaptive planning mechanisms for make-to-order production. *Vestnik MSTU "Stankin"*. 2021;1(56):46–50. (In Russ.)
2. Bachtenkirch D., Bock S. Finding efficient make-to-order production and batch delivery schedules. *European Journal of Operational Research*. 2022;297(1):133–152. DOI: 10.1016/j.ejor.2021.04.020
3. Shvatsky A. V., Kazantsev, M. A. Kapulin D.V. Methods of design of electronic document management system for unaccounted designer documentation at radioelectronic enterprise. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*. 2014;7(7):767–778. (In Russ.)
4. Eltyshev D.K., Kulik V.D. Automatization of digital engineering documentation verification, accounting and distribution processes in Teamcenter plm-system. *The Fundamental Researches*. 2016;11-3:510–514. (In Russ.)
5. Liu X.L., Wang W.M., Guo H. et al. Industrial blockchain based framework for product lifecycle management in industry 4.0. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2020;63:101897. DOI: 10.1016/j.rcim.2019.101897
6. Wang L., Liu Z., Liu A., Tao F. Artificial intelligence in product lifecycle management. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2021;114:771–796. DOI: 10.1007/s00170-021-06882-1
7. Conlon J. From PLM 1.0 to PLM 2.0: the evolving role of product lifecycle management (PLM) in the textile and apparel industries. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*. 2020;24(4):533–553. DOI: 10.1108/JFMM-12-2017-0143
8. Shiryayev N.V. [Practice of implementing PDM/PLM solutions at domestic enterprises]. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*. 2014;9:19–24. (In Russ.)
9. Kadam O.B., Pirayesh A., Fatahi Valilai O. Technological Insights of Interoperable Models for Integration of CAD/PLM/PDM and ERP Modules in Engineering Change Management. In: *Flexible Automation and Intelligent Manufacturing: The Human-Data-Technology Nexus: Proceedings of FAIM 2022*, June 19–23, 2022, Detroit, Michigan, USA, Vol. 2. Cham: Springer International Publishing; 2023. P. 556–564.
10. Mas F., Arista R., Oliva M. et al. A review of PLM impact on US and EU aerospace industry. *Procedia engineering*. 2015;132:1053–1060. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.12.595
11. Safronov V.V., Barabanov V.F., Minakov S.A. [Methods for integrating ECAD and PLM systems]. *Bulletin of Voronezh state technical university*. 2011;7(10):61–64. (In Russ.)
12. Chernikov B.V., Popov A.A. The complex of information systems for integration of companies into a single information space. *Informatization and communication*. 2015;3:23–28. (In Russ.)
13. Gordienko E.P. [Integration of information systems within a single enterprise information space]. In: *Transport: nauka, obrazovanie, proizvodstvo* [Proc. Transport: science, education, production]. Voronezh; 2020. P. 62–65. (In Russ.)
14. Nikonov Yu.Yu., Golubkov G.G. [Implementation of an electronic system for making changes to design documentation]. In: *Gagarinskie chteniya – 2019* [Proc. Gagarin readings – 2019]. 2019. P. 232–232. (In Russ.)
15. Shmidt I.A., Mehonoshin K.A., Semusheva A.S. Automation of business process of formation and sending of application for change of design documentation. *Scientific and Technical Volga region Bulletin*. 2017;4:244–247. (In Russ.) DOI: 10.24153/2079-5920-2017-7-4-244-247

*Информация об авторах*

**Капулин Денис Владимирович**, канд. техн. наук, доц., заведующий базовой кафедрой информационных технологий на радиоэлектронном производстве, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия; DKapulin@sfu-kras.ru.

**Воронков Максим Сергеевич**, аспирант, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия; Mvoronkov-a21@stud.sfu-kras.ru.

**Русских Полина Андреевна**, ассистент базовой кафедры информационных технологий на радиоэлектронном производстве, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия; Prusskikh@sfu-kras.ru.

**Дрозд Олег Владимирович**, канд. техн. наук, доц. базовой кафедры информационных технологий на радиоэлектронном производстве, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия; Odrozd@sfu-kras.ru.

*Information about the authors*

**Denis V. Kapulin**, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof., Head of the Basic Department of Information Technologies in Radioelectronic Production, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia; DKapulin@sfu-kras.ru.

**Maksim S. Voronkov**, Postgraduate student of the Basic Department of Information Technologies in Radioelectronic Production, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia; Mvoronkov-a21@stud.sfu-kras.ru.

**Polina A. Russkikh**, Assistant of the Basic Department of Information Technologies in Radioelectronic Production, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia; Prusskikh@sfu-kras.ru.

**Oleg V. Drozd**, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof. of the Basic Department of Information Technologies in Radioelectronic Production, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia; Odrozd@sfu-kras.ru.

*Статья поступила в редакцию 01.06.2023*

*The article was submitted 01.06.2023*