

## Управление в организационных системах

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 658.512.2

doi:10.30987/2658-6436-2022-1-56-63

### МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ В ИЗДЕЛИЯХ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Гамид Хайбулаевич Ирзаев

Дагестанский государственный технический университет, г. Махачкала, Россия

irzajev@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы влияния инженерных изменений в изделиях промышленного предприятия на конкурентоспособность продукции и самого предприятия, выявлены внутренние и внешние причины изменений, обоснована необходимость формализации системы управления инженерными изменениями. Предложена модель управления, в основе которой три контура управления: инженерными изменениями, конкурентоспособностью и технологичностью изделий и взаимодействием с внешней средой. Обобщенная модель при конкретизации целей, задач и параметров инженерных изменений на предприятии может помочь в выявлении системы адекватных мероприятий, призванных создать условия для развития предприятия в краткосрочной и долгосрочной перспективе с сохранением конкурентоспособности выпускаемых изделий и экономической стабильности развития в целом.

**Ключевые слова:** внешняя среда, жизненный цикл изделия, инженерное изменение, модель управления изменениями, предприятие, технологичность изделия

**Для цитирования:** Ирзаев Г. Х. Модель процессов управления инженерными изменениями в изделиях на промышленном предприятии // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2022. №1 (15). С. 56-63. doi:

Original article

Open Access Article

### MODEL OF MANAGING PROCESSES OF ENGINEERING CHANGES IN PRODUCTS AT AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

Gamid Kh. Irzaev

Dagestan State Technical University, Makhachkala, Russia

irzajev@mail.ru

**Abstract.** The issues of the influence of engineering changes in the industrial enterprise products on the goods competitiveness and the enterprise itself are considered, internal and external causes of changes are identified, and the need to formalize the engineering change management system is substantiated. A control model is proposed, which is based on three control loops: engineering changes, product competitiveness and manufacturability, and interaction with the external environment. When concretizing the goals, objectives and parameters of engineering changes at an enterprise a generalized model can help to identify a system of adequate measures designed to create conditions for the enterprise short-term and long-term development while maintaining the competitiveness of manufactured products and the economic stability of the growth as a whole.

**Keywords:** external environment, product life cycle, engineering change, change management model, enterprise, product manufacturability

**For citation:** Irzaev G. Kh. Model of managing processes of engineering changes in products at an industrial enterprise. Automation and modeling in design and management, 2022, no. 1 (15). pp. 56-63. doi: 10.30987/2658-6436-2022-1-56-63.

## Введение

Управление инженерными изменениями – одна из актуальных проблем современных российских предприятий, от правильного решения которой зависит конкурентоспособность продукции и производства в целом [1, 2]. Под инженерным изменением понимают изменение состояния изделия вследствие проведения обоснованных, согласованных и документированных действий по изменению его конструкции или технологии изготовления на любых стадиях жизненного цикла с внесением регламентированных стандартами изменений в электронную конструкторско-технологическую документацию с целью улучшения технологичности, надежности и конкурентоспособности изделия на рынке.

Инициаторами инженерных изменений в конструкции и технологии с корректировкой технической документации являются как внешние по отношению к предприятию, так и внутренние субъекты. При этом они руководствуются необходимостью улучшения эксплуатационно-технических характеристик изделий, снижения себестоимости за счет повышения технологичности конструкции и замены материалов на более дешевые, учета производственно-технологической базы и исправления ошибок, допущенных ранее в ходе проектирования конструкции.

Исследования, проведенные на нескольких предприятиях отрасли, показали, что информационный поток извещений на инженерные изменения, являющихся документальным подтверждением проводимых конструкторско-технологических изменений, формируется под влиянием различных факторов и имеет различную мощность в зависимости от этапа жизненного цикла конструкции. Например, результаты исследований, приводимые в [3], показывают, что в период освоения в изделие вносится более 40 % изменений, на втором году серийного выпуска – более 30 % от общего числа изменений. Анализ, проведенный в публикации [4], объясняет появление извещений такими причинами как недостаточный учет разработчиком специфических производственно-технологических условий предприятия-изготовителя, необходимость внедрения высокотехнологичных, инновационных решений, повышение качества, надежности, безопасности, экологичности изделия.

Однако основанием для возникновения требований на изменения нередко служат и низкое качество конструкторско-технологических решений, и ошибки, допущенные при разработке документации. Таким образом, появление извещений вызвано в основном факторами, связанными с чрезмерно затратными, нетехнологичными решениями в конструкциях изделий радиоэлектроники [4].

Некоторые ученые, исследовавшие процессы внесения инженерных изменений, подчеркивают, что большинство их вызвано причинами, связанными с разработкой конструкции изделия. Так, в [5] утверждается, что от 31 до 75 % инженерных изменений (в зависимости от отрасли) является результатом неудачных решений в ходе проектирования, а в работе [6] приводится информация, что таких изменений примерно 50 %. В работе [7] показано, что ошибки, допущенные в ходе проектирования изделия конструкторами и нормоконтролерами из-за низкой квалификации и неэффективной работы, вызывают позже появление многочисленных требований на инженерные изменения в конструкции.

Более обобщенно можно сказать, что необходимость внесения инженерного изменения в изделие возникает, когда целевые свойства продукта больше не соответствуют его фактическим свойствам.

Внутренние причины инженерных изменений в изделии – это внутренние инновации и улучшения продукта, знания, полученные в процессе производства, сборки и управления качеством, сообщения о внутренних ошибках, организационные изменения внутри предприятия, чрезмерно высокие затраты, ошибки проектирования из-за отсутствия знаний о продукте или условиях его использования, дефицит информации, недостаточная основа для принятия решений или личные факторы (например, стресс, усталость) [8, 9].

Внешними причинами можно считать, например, появление новых материалов и технологий, изменения требований или тенденций рынка, запросов потребителей, улучшение

аналогов у конкурентов, изменения комплектующих и компонентов, получаемых от поставщиков, изменения законов, стандартов, нормативно-технических документов, жалобы, отзывы и рекламации клиентов [10, 11].

Следует признать, что сегодня работа по управлению изменениями не налажена в должной мере из-за того, нет понимания процессов управления инженерными изменениями с системных позиций. На небольших предприятиях наблюдается дефицит ресурсов и компетентных работников, которые могли бы решать эти проблемы в режиме многозадачности. На крупных предприятиях, где количество изменений может исчисляться сотнями в месяц, нет гибкого подхода к анализу и своевременному одобрению запросов на изменения, слабо организована командная работа, нет взаимодействия с поставщиками и потребителями по вопросам проведения изменений, что влияет на сроки реализации и стоимость проектов. Имеются работы, посвященные математическому моделированию процессов управления организационными изменениями на предприятии [12, 13]. Однако в них не учитываются специфические особенности проведения инженерных изменений, касающихся производства продукции. Нет видения роли и места инженерных изменений в общей системе производственного предприятия. Необходима разработка формализованной системы управления инженерными изменениями, что позволит оперативно их разрабатывать, согласовывать и внедрять, накапливать опыт управления ими.

### Моделирование управления инженерными изменениями на промышленном предприятии

Процесс возникновения и реализации инженерных изменений в системе предприятия может быть графически представлен функциональной схемой, показанной на рис. 1.

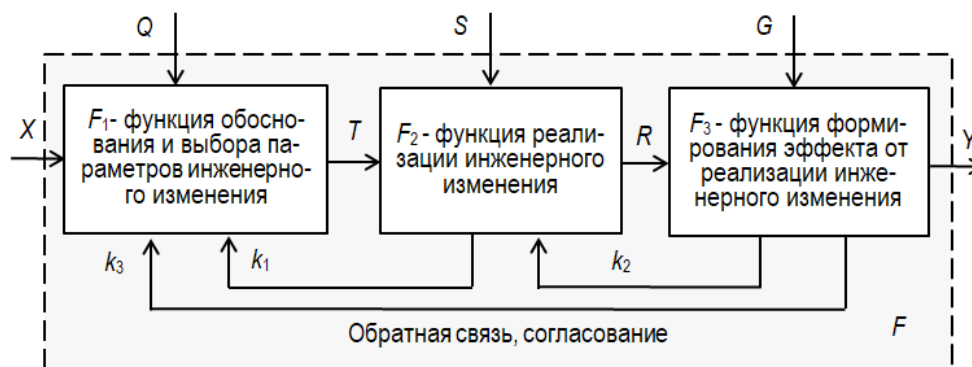


Рис. 1. Функциональная модель процесса управления инженерными изменениями на предприятии  
Fig. 1. General engineering management process model in the industrial enterprises

На рис. 1 приняты следующие обозначения:  $X$  – цель повышения конкурентоспособности выпускаемых предприятием изделий;  $Q$  – предпочтения конструкторов, технологов, менеджеров, принимающих решения по инженерным изменениям;  $T$  – параметры инженерных изменений;  $S$  – случайные факторы и возмущения, влияющие на реализацию инженерных изменений;  $R$  – реализованные в конструкторской документации и на изделии инженерные изменения;  $G$  – случайные факторы и возмущения, влияющие на получение экономического эффекта от внедрения изменений;  $Y$  – экономический эффект от внедрения инженерных изменений;  $F$  – процесс реализации комплекса мероприятий по обоснованию, выбору параметров и реализации инженерных изменений.

Обобщенная модель может быть представлена следующими выражениями:

$$T = F_1(X, Q, k_1, k_3); R = F_2(T, S, k_2); Y = F_3(R, G);$$

$$Y = F(X, Q, T, S, R, G, k_1, k_2, k_3).$$

Таким образом, процесс управления инженерными изменениями на предприятии включает в себя два четко различимых этапа: этап планирования изменения, его обоснования, формирования требуемых параметров, оформления требования на изменения и этап реализации инженерного изменения, в ходе которого изменения вносятся во все электронные и бумажные варианты конструкторской и технологической документации и внедряются в производство изделия.

Роль и место процессов разработки инженерных изменений в общей системе производственного предприятия по аналогии с процессами разработки организационных изменений, описанными в [14], можно представить более детально в виде схемы (рис. 2).

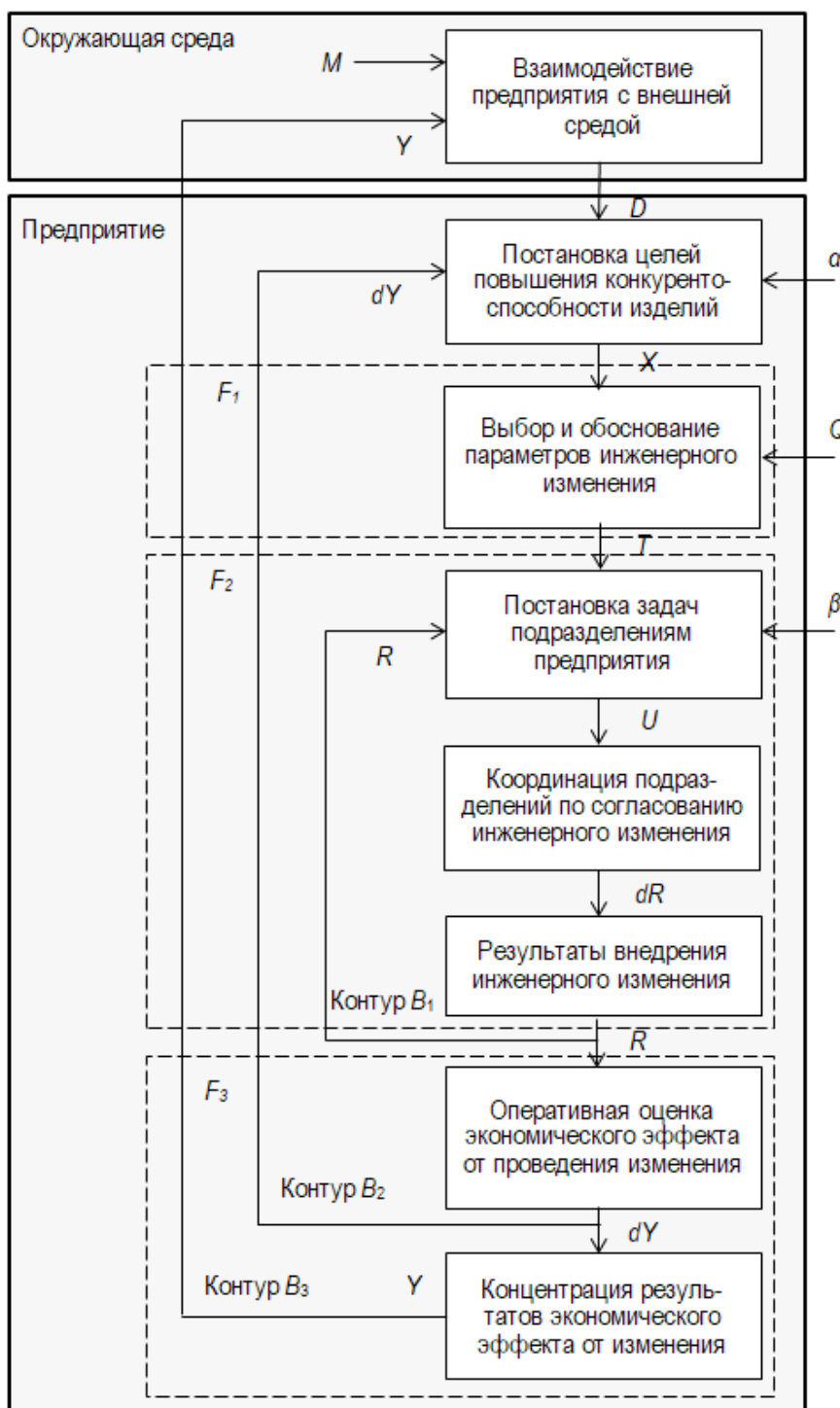


Рис. 2. Детальная модель процесса управления инженерными изменениями на предприятии  
 Fig. 2. Detailed engineering management process model in the industrial enterprises

На рис. 2 приняты следующие обозначения:  $M$  – факторы внешней среды предприятия;  $D$  – ситуационные переменные внешней среды, определяющие условия функционирования предприятия;  $X$  – цель повышения конкурентоспособности выпускаемых предприятием изделий;  $T$  – параметры (планы, требования, рекламации и т.п.) инженерных изменений;  $U$  – управленческие решения по согласованию и проведению инженерных изменений в затрагиваемых их параметрами подразделениях предприятия;  $\alpha$  и  $\beta$  – ошибки оперативного оценивания (количественного измерения и содержательной интерпретации лицом, принимающим решение) текущих экономических результатов развития предприятия и результатов инженерных изменений соответственно;  $Q$  – предпочтения конструкторов, технологов, менеджеров, принимающих решения по инженерным изменениям;  $\partial R$  – элементарные текущие инженерные изменения функций, конструкции, технологии изготовления изделий, осуществленные в единицу времени;  $R$  – реализованные в конструкторской документации и на производстве устойчивые результаты инженерных изменений;  $\partial Y$  – элементарные изменения экономической эффективности предприятия, позволяющие оценивать оперативную эффективность осуществляемых инженерных изменений в изделиях и производственных процессах в целом, однако не оказывающие заметного (желаемого) влияния на внешнюю среду;  $Y$  – экономическая эффективность развития предприятия за счет инженерных изменений в выпускаемых изделиях, оказывающая социально-экономическое, научно-техническое, инфраструктурное и иное влияние на внешнюю среду.

Функции  $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$  означают обоснование и выбор параметров инженерного изменения, его реализацию и формирование экономического эффекта от реализации соответственно.

Под экономической эффективностью развития предприятия  $Y$ , оказывающей заметное влияние на внешнюю среду и обеспечивающей укрепление конкурентных позиций предприятия, следует понимать, например, увеличение продаж изделий, в которые внесены инженерные изменения, получение за счет этого прибыли, повышение доли рынка и т.д. Тогда  $\partial Y$  можно трактовать как оперативный экономический эффект, который может быть как положительным, так и отрицательным, например, повышение себестоимости и цены продаж изделий от внедрения инженерного изменения.

В рамках рассматриваемой модели предполагается, что в отличие от сконцентрированных (накопленных до эффективных уровней) и устойчиво проявляющихся комплексных результатов внедрения инженерных изменений  $R$ , элементарные изменения  $\partial R$  не оказывают заметного влияния на процессы изменения экономических характеристик предприятия. Строго говоря, большинство текущих инженерных изменений могут оказывать достаточно заметное оперативное влияние, в том числе негативное, на различные аспекты жизненного цикла изделий, осваиваемых предприятием, вызывая изменения ее значимых временных, материальных, энергетических и других характеристик.

В рассматриваемой модели под «элементарными» понимаются такие изменения, учет текущего влияния которых на основные характеристики жизненного цикла продукции признается нецелесообразным до завершения переходных процессов или в силу необходимости учета их влияния только в комплексе с другими изменениями.

Допустим, что для какого-то радиоэлектронного средства, выпускаемого предприятием, комплексным инженерным изменением  $R$  является введение схемного улучшения и, тем самым, повышение функциональности изделия. Тогда элементарными изменениями  $\partial R$ , являющимися составными частями  $R$ , могут быть:

- проектирование схемного решения и его функционально-стоимостной анализ;
- проверка его реализации на макете или опытном образце;
- проведение необходимых сопутствующих схмотехническому решению изменений в технологическом процессе монтажа или сборки конструкции изделия;
- выпуск извещения, внесение изменения в конструкторскую документацию;
- отработка инженерного изменения на опытной партии и т.д.

Очевидно, что для адекватной оценки экономической эффективности  $Y$  инженерного изменения требуется определенное время (месяцы или год). При этом в этот период могут происходить негативные и позитивные элементарные  $\partial Y$  изменения.

Как видно из рис. 2 модель включает три контура управления процессами проведения конструкторско-технологических изменений:

- контур управления инженерными изменениями  $B_1$ ;
- контур управления конкурентоспособностью и технологичностью выпускаемых изделий предприятия  $B_2$ ;
- контур управления взаимодействием с внешней средой  $B_3$ .

Контур  $B_1$ ,  $B_2$  и  $B_3$  взаимосвязаны через реализацию трех циклических процессов: концентрация в течение определенного времени результатов вносимых в изделия изменений  $\partial R$  приводит к изменениям технико-экономических показателей предприятия (контур  $B_1$ ); полученная информация об изменениях экономической эффективности  $\partial Y$  предприятия используется управленческим персоналом и специалистами для оперативного вмешательства в цели организационного развития предприятия (контур  $B_2$ ); накопление результатов изменений экономической эффективности предприятия  $Y$  оказывает воздействие на ее внешнюю среду, условия функционирования предприятия, вызывая изменение ее ситуационных переменных  $D$  (контур  $B_3$ ).

Для выявления роли и места процесса инженерных изменений как системы мероприятий, призванных создать условия для развития предприятия в краткосрочной и долгосрочной перспективе с сохранением конкурентоспособности на рынке, экономической стабильности развития в целом, описанная модель наиболее приемлема и адекватна.

Несомненно, что факторы, действующие в контуре управления взаимодействием предприятия с ее внешней средой ( $B_3$ ) и связанные с конъюнктурой рынка, развитием научно-технического прогресса, действиями конкурентов, трансформацией запросов потребителей изделий, влияют на соответствующие параметры контура управления развитием предприятия ( $B_2$ ), определяя технологичность и конкурентоспособность выпускаемых изделий и устойчивость самого предприятия на рынке. В контуре управления инженерными изменениями ( $B_1$ ) вырабатываются отклики на изменения в контурах  $B_2$  и  $B_3$  в виде требований на выпуск конкретных конструкторско-технологических изменений в продукции.

Модель позволяет заметить, что выделенный контур  $B_1$  обладает наибольшей динамичностью и изменчивостью по сравнению с другими контурами управления. Таким образом, от стратегии, организации и инструментов управления инженерными изменениями зависит скорость концентрации результатов изменения экономической эффективности предприятия, а следовательно, скорость изменения условий его функционирования во внешней среде.

## Заключение

Система управления инженерными изменениями на предприятиях не налажена в должной мере из-за отсутствия систематизации процессов и факторов, влияющих на их возникновение и реализацию в производственной системе. Предложенные обобщенная и детальная функциональные модели процессов управления инженерными изменениями на промышленном предприятии позволяют использовать их как адекватный инструмент для выявления и анализа роли и места процесса инженерных изменений. В общей системе управления выделены три взаимодействующих контура управления: инженерными изменениями, конкурентоспособностью и технологичностью выпускаемых предприятием изделий, процессами взаимодействия с внешней средой.

На основе модели можно разработать систему мероприятий, призванных создать условия для развития предприятия в краткосрочной и долгосрочной перспективе с сохранением конкурентоспособности продукции на рынке, экономической стабильности развития в целом.

#### Список источников:

1. **Кобзев, В.В., Радаев, А.Е., Кривченко, А.С.** Математическое моделирование производственных систем: монография. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 239 с.
2. **Кудряшов, В.А.** Управление инженерными изменениями на предприятиях – поставщиках автомобильных компонентов // Методы менеджмента качества. – 2019. – № 2. – С. 16-23.
3. **Ирзаев, Г.Х.** Анализ процессов внесения инженерных изменений в конструкцию радиоэлектронных средств на этапах проектирования и освоения серийного производства // Вопросы радиоэлектроники. – 2016. – № 11. – С. 72-78.
4. **Ирзаев, Г.Х.** Модель прогнозирования конструкторско-технологических изменений в изделии на этапах освоения и серийного производства // Системы. Методы. Технологии. – 2015. – №1 (25). – С. 86-93.
5. **Gemmerich, M.** Technische Produktänderungen: Betriebswirtschaftliche und empirische Modellanalyse. Gabler Verlag / Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 1995. Zugleich: Dissertation, Universität Passau.
6. **Wildemann, H.** Änderungsmanagement, Leitfaden zur Einföhrungeines effizienten Managements technischer Änderungen. Tcwtransfer-Centrum, München, 2006.
7. **Федоров, В.К., Гвоздарев, Р.С.** Причины корректировки документации и внесения изменений в производство продукции машиностроения // Вестник машиностроения. – 2011. – № 8. – С. 78-80.
8. **Eckert, C.M., Pulm, U., Jarrat, T.A.W.** Mass Customisation, Change and Inspiration – Changing Designs to Meet New Needs. In: Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design ICED03, Royal Institute of Technology, Stockholm, Schweden, The Design Society, 2003.
9. **Ehrlenspiel, K.** Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 2007.
10. **Kolberg, E., Reich, Y., Levin, I.** Express Engineering Change Management. In: International Conference on Engineering Design 2007 (ICED 07), Paris/Frankreich, 28.-31.08.2007, Paper № 308 (CD-Rom), Ecole Centrale Paris.
11. **Blecker, T., Dulling, H., Malle, F.** Kundenkohärente und kundeninhärente Produktkonfiguration in der Mass Customization. In: Industrie Management, GITO-Verlag, Berlin, 19 (2003), № 1, PP. 21-24.
12. **Михненко, П.А.** Методология математического моделирования и анализа процессов управления организационными изменениями: дис. ... докт. экон. наук: 08.00.13. – Моск. фин.-пром. университет «Синергия», Москва, 2017. – 350 с.
13. **Казакова, Н.В.** Теория и методология управления организационными изменениями на промышленных предприятиях: дис. ... докт. экон. наук: 08.00.05. – СПб. гос. инж.-экон. университет, Санкт-Петербург, 2006. – 437 с.
14. **Михненко, П.А.** Принцип распределенной ответственности в системе организационных изменений // Экономический анализ: теория и практика. – 2010. – №23 (188). – С. 47-57.

#### References:

1. Kobzev V.V., Radaev A.E., Krivchenko A.S. Mathematical Modelling of Production Systems. St. Petersburg: Publishing House of Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, 2014. 239 p.
2. Kudryashov V.A. Engineering Change Management at Automotive Components Suppliers Enterprises. Methods of Quality Management, 2019, no. 2, pp. 16-23.
3. Irzaev G.Kh. Analysis of the Processes of Introducing Engineering Changes in a Design of Radio Electronic Means during the Design and Serial Production. Issues of Radio Electronics, 2016, no. 11, pp. 72-78.
4. Irzaev G.Kh. A model for Predicting Design and Technological Changes in a Product during the Design and Serial Production. Systems. Methods. Technologies, 2015, no. 1 (25), p. 86-93.
5. Gemmerich M. Technische Produktänderungen: Betriebswirtschaftliche und empirische Modellanalyse. Wiesbaden: Gabler Verlag, Deutscher Universitätsverlag, 1995.
6. Wildemann H. Änderungsmanagement, Leitfaden zur Einföhrungeines effizienten Managements technischer Änderungen. München: Tcwtransfer-Centrum, 2006.
7. Fedorov, V.K., Gvozdzarev, R.S. Reasons for Updating Documentation and Making Changes to the Production of Mechanical Engineering Products. Russian Engineering Research, 2011, no. 8, pp. 78-80.
8. Eckert C.M., Pulm U., Jarrat T.A.W. Mass Customisation, Change and Inspiration – Changing Designs to Meet New Needs. Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design ICED03. Royal Institute of Technology, Stockholm, Schweden, The Design Society, 2003.
9. Ehrlenspiel K. Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2007.
10. Kolberg E., Reich Y., Levin I. Express Engineering Change Management. International Conference on Engineering Design 2007 (ICED 07), Paris-Frankreich, 28th of August – 31st of 2007, Paper № 308 (CD-Rom), Ecole Centrale Paris.
11. Blecker T., Dulling H., Malle F. Kundenkohärente und kundeninhärente Produktkonfiguration in der Mass Customization. Industrie Management, Berlin: GITO-Verlag, 2003, no 1 (19), pp. 21-24.
12. Mikhnenko P.A. Methodology of Mathematical Modelling and Analysis of Organizational Change Management Processes. Doct. Diss. Moscow University of Industry and Finance «Synergy», Moscow, 2017. 350 p.
13. Kazakova N.V. Theory and Methodology of Managing Organizational Changes at Industrial Enterprises. Doct. Diss. St. Petersburg State University of Engineering and Economics, St. Petersburg, 2006. 437 p.
14. Mikhnenko, P.A. The Principle of Distributed Responsibility in the System of Organizational Changes. Economic Analysis: Theory and Practice, 2010, no. 23 (188), pp. 47-57.

### **Информация об авторах**

**Гамид Хайбулаевич Ирзаев**

кандидат технических наук, тел.: +7-(8722)-62-35-17,  
доцент Дагестанского государственного технического  
университета

### **Information about authors:**

**Gamid Khaibulaevich Irzaev**

Candidate of Technical Sciences, tel.: +7-(8722)-62-35-  
17, Associate Professor of Dagestan State Technical  
University, Makhachkala, Russia

**Статья поступила в редакцию 11.01.2022; одобрена после рецензирования 01.02.2022; принята к публикации 02.02.2022.**

**The article was submitted 11.01.2022; approved after reviewing 01.02.2022; accepted for publication 02.02.2022.**

**Рецензент** – Аверченков А.В., доктор технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет, заместитель председателя редакционного совета журнала «Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении».

**Reviewer** - Averchenkov A.V., Doctor of Technical Sciences, Associate professor, Bryansk State Technical University, Deputy Chairman of Editorial Board Journal «Automation and modeling in design and management».