Международный научно-исследовательский журнал
«Прогрессивная экономика»
№ 3 / 2024 https://progressive-economy.ru/vypusk_1/parallelnyj-inzhiniring-kak-podhod-k-gibkomu-kompleksnomu-proektirovaniyu-innovaczionnogo-predpriyatiya/
Научная статья / Original article
Шифр научной специальности ВАК: 5.2.3
УДК 338.33
DOI: 10.54861/27131211_2024_3_25



ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ ИНЖИНИРИНГ КАК ПОДХОД К ГИБКОМУ КОМПЛЕКСНОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ ИННОВАЦИОННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Чаруйская М.А., *кандидат экономических наук, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва, Россия*

Аннотация. В статье предложена концепция параллельного инжиниринга для проектирования производственных систем. Параллельный инжиниринг направлен на проектирование производства, которое обеспечит выпуск продукции в соответствии с индивидуальными требованиями при заданной себестоимости. Параллельное проектирование основано на высокоскоростном планировании машиностроительных предприятий, анализе целевых затрат и непрерывном цифровом планировании производственных системы. Параллельный инжиниринг производства включает в себя несколько этапов: анализ требований к производственной системе, расчет и анализ целевой стоимости, проектирование производственной системы согласно требованиям потребителя и целевой стоимости, создание цифрового двойника производства, применение подход непрерывного цифрового планирования, мониторинга и оценки полученных данных. Проектирование производственной системы основано на структуре продукта, концепции предприятия и целевой стоимости. Параллельный инжиниринг предполагает разработку продукта с использованием концепции продуктовой платформы. Эта платформа позволяет производить множество вариантов на основе компоновки различных элементов продукта. Проектирование производственной системы осуществляется в соответствии с концепцией гибкого комплексного планирования предприятия одновременно по 24 модулей. Фундаментальным элементом параллельного инжиниринга является создание цифрового двойника системы, позволяющего визуализировать процессы от разработки продукта до готовой продукции как единый процесс в режиме реального времени. Таким образом, параллельный инжиниринг позволяет быстро спроектировать продукт и производственный процесс по заданной стоимости.

Ключевые слова: параллельный инжиниринг, проектирование предприятия, целевая стоимость, производственная система.

PARALLEL ENGINEERING AS AN APPROACH TO FLEXIBLE INTEGRATED DESIGN OF AN INNOVATION ENTERPRISE

Charuyskaya M.A., *Candidate of Economic Sciences, Moscow State University of Technology «STANKIN», Moscow, Russia*

Abstract. The article proposes the concept of parallel engineering for the design of production systems. Parallel engineering is aimed at designing production that will ensure production in accordance with individual requirements at a given cost. Concurrent engineering is based on high-speed plant planning, target cost analysis and continuous digital production system planning. Parallel production engineering includes several stages: analysis of requirements for the production system, calculation and analysis of the target cost, design of the production system according to customer requirements and target cost, creation of a digital twin of production, application of the approach of continuous digital planning, monitoring and evaluation of the data obtained. Manufacturing system design is based on product structure, plant concept, and target cost. Parallel engineering involves developing a product using the concept of a product platform. This platform allows for the production of many variations based on the layout of the various elements of the product. The design of the production system is carried out in accordance with the concept of flexible integrated enterprise planning, 24 modules at a time. A fundamental element of parallel engineering is the creation of a digital twin of the system, allowing processes from product development to finished products to be visualized as a single process in real time. Thus, parallel engineering allows you to quickly design a product and production process at a given cost.

Keywords: parallel engineering, plant design, target cost, production system.

JEL classification: O21, O31, P11

Для цитирования: Чаруйская М.А. Параллельный инжиниринг как подход к гибкому комплексному проектированию инновационного предприятия // Прогрессивная экономика. 2024. № 3. С. 25–35. DOI: 10.54861/27131211_2024_3_25.

Статья поступила в редакцию: 21.03.2024 г. Одобрена после рецензирования: 28.03.2024 г. Принята к публикации: 29.03.2024 г.

For citation: Charuyskaya M.A. Parallel Engineering as an approach to Flexible Integrated Design of an Innovative Enterprise // Progressive Economy. 2024. No. 3. pp. 25-35. DOI: 10.54861/27131211_2024_3_25.

The article was submitted to the editorial office: 21/03/2024. Approved after review: 28/03/2024. Accepted for publication: 29/03/2024.

Введение

На сегодняшний день основой долгосрочной конкурентоспособности компании являются инновационные продукты, имеющие уникальность на рынке. Однако реализация конкурентной стратегии осложняется сокращением жизненных циклов инновационных продуктов. В то же время такого рода

продукты становятся все более сложными из-за множества различных функций и применяемых технологий, что приводит к увеличению времени разработки. Как следствие, предприятия сталкиваются с проблемой разработки инновационных продуктов в течение очень короткого времени. Кроме того, необходимо выявление на ранней стадии технологических инноваций, которые могут быть применимы при развитии продукта.

Таким образом, целью исследования является обнаружение технологических трендов и стратегически важной информации, позволяющих своевременно реагировать на возникающие события, обеспечить достаточную гибкость и минимизировать риски предприятия при разработке продукта и производственного процесса.

Обзор литературы

В соответствии с исследованиями В.Г. Грабина [1] и Ю.М. Соболева [2], параллельный инжиниринг направлен на проектирование производственной системы, которая обеспечит производство продукта в соответствии с индивидуальными требованиями потребителя под целевую себестоимость. На основании проведенного анализа трудов H.P. Wiendahl J. Reichardt и P. Nyhuis [10], фундаментальными основами концепции параллельным инжиниринга являются подходы скоростного проектирования машиностроительных производств, функционально-стоимостного анализа и непрерывного цифрового проектирования производственных систем.

На основании исследований Eiversheim W., Schuh G [7] скоростное проектирование – это одновременный (в немецком варианте синхронизированный, в советской литературе скоростное параллельное проектирование) инжиниринг, который представляет собой интегрированное параллельное проектирование продукта и производственного процесса / промышленного предприятия с целью сокращения время вывода продукта на рынок, затрат на разработку продукта, время выхода на серийный выпуск, затраты на освоение серийного производства продукта, повышение качества продукта и процесса. Скоростное проектирование осуществляется за счет распараллеливания процессов путем формирования нескольких междисциплинарных команд, которые одновременно работают над одним инжиниринговым проектом [4].

Основным недостатком приведенных исследований является отсутствие методического подхода к подходу к реализации параллельного инжиниринга на промышленных предприятиях и определения особенностей применения на различных производствах.

Материалы и методы

Автором настоящего исследования был проведен теоретический анализ научных источников. Для подтверждения разработанного подхода применялись эмпирический метод исследования полученных данных при внедрении его при проектирование промышленного предприятия. В рамках анализа проблем разработки инновационных продуктов было проведено исследование машиностроительных предприятий, изучены факторы,

имеющее решающее значение для конкурентоспособности предприятия при разработке инновационных продуктов.

Результаты и обсуждение

На основании проведенного исследования было определено, что параллельный инжиниринг производства включает в себя несколько фаз: анализ требований к производственной системе, расчет и анализ целевой стоимости продукта, инжиниринг продукта, инжиниринг производственной системы под заданные требования и целевую стоимость процесса, создание цифрового двойника производства, применение подхода непрерывного цифрового проектирования, контроль и оценка полученных данных.

На первом этапе процесса параллельного инжиниринга должны быть сформированы требования к продукту. Требования заказчика и внешней среды должны быть определены до начала процесса параллельного инжиниринга. Выявление данных требований наиболее эффективно проводить на целевых группах потребителей при использовании модели Кано [9], которая обеспечивает не только выявление критериев потребительского выбора, но и базовых требований и направления развития продукта.

Выявленные требования должны быть трансформированы в технические требования к продукту, которые ранжируются по степени важности в зависимости от их степени влияния на критерии потребительского выбора и направления развития продукта. Затем для всей системы технических требований устанавливаются предельные и целевые показатели, в соответствии с которыми разрабатывается техническая модель продукта. Техническая модель продукта может быть разработана при использовании методов ТРИЗ и/или морфологического ящика.

На основании технической модели продукта определяется функциональная структура продукта и его первоначальная архитектура [5]. На данном этапе должна быть разработана первичная 3D модель продукта. Разработка модели продукта является критически важным этапом, поскольку она отображает зависимости между функциональными элементами продукта. Исходя из данной модели формируются первичные требования к продуктовой платформе и производственному процессу, а также выбираются критерии тестирования продукта, которые позволяют обеспечить требуемые идеальные и предельные технические показатели продукта.

Параллельный инжиниринг подразумевает проектирование продукта с использованием концепции продуктовой платформы. Данная платформа позволяет производить множество вариантов на основе компоновки различных элементов продукта. Кроме того, применение модульной архитектуры на базе продуктовой платформы обеспечивает высокую стандартизацию компонентов продукта, повышение технологичности конструкции и ее элементов.

В рамках концепции инжиниринга параллельно с проектированием продукта осуществляется инжиниринг производственной системы. Инжиниринг производственной системы осуществляется, исходя из модели продукта, требований к производственной системе и целевой стоимости

продукта. Для формирования требований к производственной системы используется плановая модель умного предприятия. Целевые требования, характеризующие плановую модель, оцениваются участниками инжинирингового проекта посредством применения метода MoSCoW (Must, Should, Could, Wont) и метода попарного сравнения.

Разработка концепции умного предприятия основывается на следующих подходах: бережливое производство, современные методы оперативного планирования и организации производства (Korma, BOA, Conwip, Sinchro MRP, Polca т.д.), гибкие материальные потоки, подход контроллинга производства, децентрализованное управление.

Децентрализованное управление производством является основополагающим подходом к организации производственной системы и реализуется с использованием принципа Интернета вещей, цифрового двойника и непрерывного цифрового проектирования. Проектирование осуществляется в соответствии с концепцией гибкого комплексного планирования предприятия, одновременно по 24 модулям (рис. 1), в том числе планирование структуры предприятия, человеческих ресурсов, производственного оборудования и т.д. [8]. При необходимости, могут быть созданы и интегрированы новые модули. Содержание планирования в модулях отличается внутренней стабильностью задач планирования по отношению к внешней динамике окружающей среды.

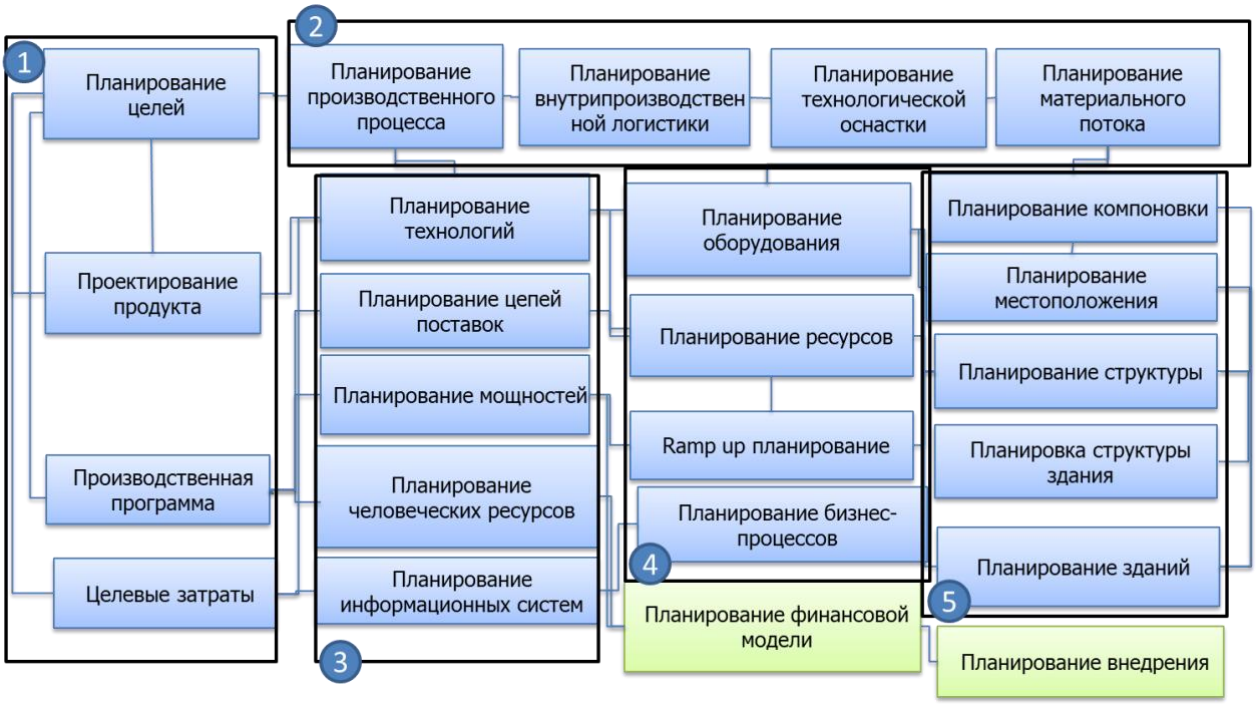


Рис. 1. Проектирование производственной системы

Источник: разработано автором

Данный подход применяется для проектирования всех элементов производственной системы. Система гибкого комплексного планирования производственной состоит из пяти блоков. Первый блок состоит из четырех

модулей: планирование целей, проектирование продукта, планирование производственной программы, планирование целевой цены.

Модуль планирование целей подразумевает формирование целей проектирования производства на основе системы сбалансированных показателей, которые направлены на увеличение стоимости предприятия. На данном этапе осуществляется также оценка и анализ рисков проекта, а также разработка плана их предупреждения и минимизации. Кроме того, в рамках данного модуля происходит формирование требований к продукту и к производственной системе. На основании сформированных требований осуществляется разработка структуры продукта в соответствии с вышеизложенными подходами.

Третий модуль включает в себя определение проектной мощности производственной системы и выбор метода оперативного планирования и организации производства, обеспечивающего реализацию требований к производственному процессу.

Как было сказано выше параллельный инжиниринг производства базируется на подходе целевой стоимости продукта (модуль 4). Целевая стоимость продукта подразумевает ее планирование от рыночной цены и рассчитывается как целевая цена минус планируемая прибыль.

Будущий уровень производственных затрат закладывается на 80% на ранних этапах разработки продукта. Проектируемая техническая модель и архитектура продукта оказывают существенное влияние на дальнейшую производственную себестоимость продукта и затраты периода Ramp up. Кроме этого, производство компонентов продукта может быть осуществлено с использованием альтернативных технологий. С другой стороны при проектировании концепции предприятия все технологические процессы должны быть оптимизированы по параметрам целевой стоимости продукта и длительности производственного цикла.

Второй блок системы гибкого комплексного планирования производственной системы является центральной осью для проектирования остальных компонентов системы и включает в себя следующие модули: планирование производственного процесса, планирование производственной логистики, планирование подготовки производства и планирование материального потока. Проектирование производственного процесса является основополагающим в этой цепочке модулей. Разработка остальных модулей напрямую зависит от состава процесса. При таком подходе в центре внимания в процессе планирования остается добавочная ценность и целевая стоимость продукта и процесса.

Модуль планирования производственной логистики включает в себя пять составляющих: систему хранения, систему транспортировки, систему загрузки/выгрузки, систему упаковки, систему идентификации. Основными требованиями к проектированию данных систем являются обеспечение критериев проектирования умного предприятия, минимизация логистических затрат и обеспечение высокого уровня снабжения.

Модуль планирования материального потока основывается на подходах решения задачи оптимизации потоков внутри цифрового производства в зависимости от требования клиента. Именно на данном этапе планирования начинается формирование цифрового двойника производственной системы, который позволяет визуализировать процессы от разработки изделия до получения готовой продукции как единый процесс.

Остальные три блока системы гибкого комплексного планирования производственной системы напрямую зависят от модулей центральной оси и проектируются параллельно с ними и в зависимости от полученных результатов планирования первого и второго блоков системы.

Блок 3 включает модули: планирования технологии, планирование цепей поставок, планирование мощностей, планирование человеческих ресурсов и информационных потоков. Блок 4 обеспечивает планирование следующих модулей: выбор и определение количества оборудования, планирование ресурсов, планирования выход на серийное производства, разработка бизнес-процессов. Блок 5 включает модули: разработка компоновки, планирование структуры и зданий. Выходными модулями системы являются планирование финансовой модели и планирование реализации. Окончательные данные по этим модулям формируются на основании результатов, полученных в ходе непрерывного цифрового проектирования производственной системы.

Непрерывное цифровое проектирование позволяет смоделировать сценарии использования производственной системы на основе его цифрового двойника, который формируется на основе комплексного планирования предприятия, а также проанализировать поведение элементов производственной системы в течение длительного периода времени. Непрерывное цифровое проектирование позволяет оперативно проводить проверку возможности производства продукта в заданные сроки при условии достижения целевой стоимости в проектируемой производственной системе. Кроме того, при изменении модели продукта и его технических параметров непрерывное цифровое проектирование позволяет вносить изменения в цифровую модель и проектируемое предприятия в соответствии с подходом гибкого комплексного планирования предприятия [3].

Различные варианты и параметры моделирования на основе предыдущего опыта и данных бенчмаркинга позволяют заранее разрабатывать меры по устранению возможных проблем при производстве продукта.

Апробация подходов параллельного инжиниринга была проведена в ходе проектирования цифрового производства для одного из машиностроительных заводов России. Целью проекта являлась разработка концепции цифрового производства полного цикла минимальной и достаточной конфигурации, обеспечивающего выпуск изделий заданной номенклатуры и объемов спроса, на основе технологических решений Индустрии 4.0.

В ходе проекта на основе схемы представленной на рисунке 1 в короткие сроки была спроектирована концепция машиностроительного цифрового производства, которое обеспечит выпуск изделий в соответствии с целевой стоимостью продукта. Разработанные технические решения в ходе проекта направлены на организацию производственной системы, обеспечивающие децентрализованное и контекстно-адаптивное управление производством на основе человеко-машинного и межмашинного взаимодействия, а также вертикальную и горизонтальную интеграции, непрерывное цифровое проектирование.

В ходе проекта для проектирования была выбрана наиболее эффективная и экономически обоснованная организация цифровых производств – сегментация предприятия. При сегментации производственный продукт ориентируется на выпуск однотипных деталей. Непрямые функции, такие как планирование, управление, ремонт и обслуживание оборудования и т.п. формируются отдельно. Общие производственные функции (термическая обработка, гальваническая обработка и т.п.) выносятся на отдельные участки. В результате таких действий улучшается прозрачность, сокращаются материальные потоки и производственные затраты. Производственный сегмент позволяет сформировать центры возникновения затрат, повысить управляемость затратными и внедрить систему контроллинга, внедрение которой является обязательным условием для цифровизации предприятия [6].

Для проектируемого производства была применена частичная горизонтальная сегментация на участках аддитивного производства и механической обработки. Горизонтальная сегментация представляет собой разъединение функциональных связей в производственных процессах путем создания автономных производственных подразделений, ориентированных на производимую деталь (продукт) [6].

Сегментация участков термической и гальванической обработки экономически нецелесообразна в виду низкой загрузки оборудования.

Внутри сегмента производится гармонизация производственных мощностей – устранение узких мест, использование единой формы организации производства, ориентированной на поток.

Производство было размещено концентрированно в пространстве с ориентацией на процесс на минимальных площадях с минимальными транспортными путями, удобное для подведения коммуникаций.

Сегменты проектируемого цифрового производства представляют собой гибкие производственные ячейки, которые затем интегрируются в общую производственную систему. К организации производства внутри производственной системы применяют упрощенные принципы управления, такие как «точно в срок».

С помощью датчиков производственная система собирает данные о необходимых технологических операциях и результирующих параметров для производства детали. Затем система преобразует полученные данные в механическое движение роботов и оборудования. В то же время КФПС

собирает также параметры производственного оборудования и передает их на уровень выше. Управление производственным оборудованием осуществляется с помощью сенсорного экрана и человеко-машинных интерфейсов. Недостатком такой формы организации является низкая загрузка отдельных видов оборудования.

Сегментация проектируемого цифрового предприятия производилась по сформированным конструкторско-технологическим группам. Кроме того, логистическая система спроектированного цифрового производства включает следующие элементы:

– систему хранения (автоматизированные складские системы);

– систему транспортировки (беспилотные транспортные роботы, беспилотные погрузчики и беспилотные рельсовые тележки, устройства управления стеллажами, реверсивный подъемник для грузов на поддонах с автоматической загрузкой и выгрузкой);

– систему загрузки/выгрузки (роботы с применением 3D Area Sensor, которое позволяет определять объекты по 3D карте, построенной световой проекцией);

– систему идентификации (RFID-чипы и их считыватели, которые обеспечивают возможность для локализации, мониторинга, контроля, автоматизации, идентификации, документировании и аутентификации производственных данных.

В качестве вспомогательных средств доставки определены герметичные контейнеры для хранения и транспортировки порошка в среде инертного газа и специальные коробки, которые организованы с использованием принципов позиционирования деталей с целью определения местоположения детали/заготовки роботом.

В соответствии с расчетом финансовой модели, реализация проекта цифрового производства позволит существенно сократить себестоимость продукта до уровня мировых стандартов. Кроме того, применение новой методики проектирования позволило существенно сократить время на проектирование цифрового производства и обеспечить достижение заданных критериев.

Заключение

В результате анализа было выявлено, что у конкурентоспособных машиностроительных компаний рентабельность продаж выше на 12,5%, объем продаж отличается на 13,4%. Более успешные в финансовом плане предприятия имеют вдвое больше объем продаж инновационной продукции. Для достижения этой цели успешные компании вкладывают больше ресурсов в исследования и разработки (НИОКР). В среднем их расходы на НИОКР на полпроцента выше по отношению к объему продаж, а расходы на НИОКР на одного штатного сотрудника более чем в два раза выше, чем у менее финансово успешных предприятий. Кроме того, конкурентоспособные предприятия более взвешенно подходят к использованию средств на НИОКР:

у них меньше вариантов инновационных продуктов, при этом инновационные проекты отличаются большими бюджетами и более длительными сроками выполнения. Основная часть затрат инновационных бюджетов приводится на первые стадии разработки (1-4 TRL).

Повышение индивидуализации при одновременно растущих объемах сбыта в последнее время представляют собой тенденцию современного рынка. В таких условиях промышленные предприятия сталкиваются с проблемой экономической эффективности производства кастомизированных продуктов. Решение задачи повышения экономической эффективности предприятия может быть обеспечено посредством применения концепции параллельного инжиниринга производственных систем.

Таким образом, параллельный инжиниринг позволяет осуществлять быстрое проектирование продукта и производственного процесса под целевую стоимость. А формирование оптимальной цепочки производственных процессов становится важным фактором конкурентной борьбы. Идеи, лежащие в основе подхода параллельного инжиниринга производства, не являются инновационными, но способность эффективно реализовывать концепцию комплексно появилась только сейчас с появлением технологий четвертой промышленной революции.

Литература

1. Грабин В.Г. Оружие победы. М.: Политиздат, 1989. 307с.
2. Соболев Ю.М. Конструктор выбирает решение. П.: Пермское книжное издательство, 1967. 64 с.
3. Чаруйская М.А., Можаровская А.А. Гибкая методология планирования предприятий в условиях четвертой промышленной революции // Цифровая экономика: технологии, управление, человеческий капитал: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Москва: Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», 2019. С. 65–69.
4. Чаруйская М.А., Можаровская А.А. Интеллектуальный инжиниринг производства под целевую стоимость // Наука сегодня: вызовы, перспективы и возможности : Материалы международной научно-практической конференции. Вологда: ООО «Маркер», 2019. С. 64–66.
5. Шеремет А.Д., Ковалев А.П. Функционально-стоимостный анализ / Под ред. А. Д. Шеремета. М.: Экономический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 2017. 204 с.
6. Andreev V.N., Charuyskaya M.A., Kryzhanovskaya A.S. Application of intelligent engineering in the planning of cyber-physical production systems // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2021. № 115. P. 117–123.
7. Eiversheim W., Schuh G. Integrete Produkt und Prozessgestaltug. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005. 299 p.

8. Rot A. Introduction and development of Industry 4.0. Fundamentals of modeling and examples from practice. Moscow: Technosphere. 2017. 291 p.
9. Ulrich K., Eppinger S. Industrial engineering. Moscow, Saint Petersburg: Vershina, 2007. 449 p.
10. Wiendahl H.P., Reichardt J., Nyhuis P. Handbuch Fabrikplanung - Wien: Hanser. 2014. 658 p.

References

1. Grabin V.G. Oruzhie pobedy. M.: Politizdat, 1989. 307s.
2. Sobolev YU.M. Konstruktor vybiraet reshenie. P.: Permskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1967. 64 s.
3. CHarujskaya M.A., Mozharovskaya A.A. Gibkaya metodologiya planirovaniya predpriyatij v usloviyah chetvertoj promyshlennoj revolyucii // Cifrovaya ekonomika: tekhnologii, upravlenie, chelovecheskij kapital: Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Moskva: Moskovskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet «STANKIN», 2019. S. 65–69.
4. CHarujskaya M.A., Mozharovskaya A.A. Intellektual'nyj inzhiniring proizvodstva pod celevuyu stoimost' // Nauka segodnya: vyzovy, perspektivy i vozmozhnosti : Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Vologda: OOO «Marker», 2019. S. 64–66.
5. SHeremet A.D., Kovalev A.P. Funkcional'no-stoimostnyj analiz / Pod red. A. D. SHeremeta. M.: Ekonomicheskij fakul'tet MGU imeni M.V. Lomonosova, 2017. 204 s.
6. Andreev V.N., Charuyskaya M.A., Kryzhanovskaya A.S. Application of intelligent engineering in the planning of cyber-physical production systems // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2021. № 115. P. 117–123.
7. Eiversheim W., Schuh G. Integrete Produkt und Prozessgestaltug. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005. 299 p.
8. Rot A. Introduction and development of Industry 4.0. Fundamentals of modeling and examples from practice. Moscow: Technosphere. 2017. 291 p.
9. Ulrich K., Eppinger S. Industrial engineering. Moscow, Saint Petersburg: Vershina, 2007. 449 p.
10. Wiendahl H.P., Reichardt J., Nyhuis P. Handbuch Fabrikplanung - Wien: Hanser. 2014. 658 p.