

УДК 65.011:65.012.2

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ИНФОРМАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ
ИНЖИНИРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ****Малышева Т.В., Шинкевич А.И.***ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,
Казань, e-mail: tv_malysheva@mail.ru, ashinkevich@mail.ru*

Статья посвящена актуальной проблеме повышения экологичности производственных систем на основе реализации экологического инжиниринга. Организационные методы и средства управления процессом инжиниринга являются недостаточно изученными и характеризуются практически отсутствием научно-методических материалов. Целью статьи является разработка методов и средств управления процессом инжиниринга с целью повышения экологичности производственных систем. Для реализации поставленной цели использован системотехнический подход, метод анализа и синтеза, причинно-следственных связей. Для определения тенденций и характера развития передовых производственных технологий использована описательная статистика. Разработка системы автоматизированного управления жизненным циклом экологического инжиниринга производственных систем осуществлена на основе метода исследования операций. В статье определены тенденции развития передовых производственных технологий в Российской Федерации с выделением ключевых направлений создания интегрированных автоматизированных производственных систем. Предложена система автоматизированного управления жизненным циклом экологического инжиниринга производственных систем в целях внедрения наилучших доступных технологий, содержащая формирование записей о параметрах экологической устойчивости производства и техническом состоянии производственных линий, регламентированный мониторинг технологических процессов в базе данных параметров управления, формирование баз данных алгоритмов и моделей преобразования информации для подготовки и принятия решений. Разработана блок-схема автоматизированного управления жизненным циклом экологического инжиниринга с пошаговым описанием каналов связи и передачи цифровых сигналов. Полученные результаты могут быть использованы для разработки инструментария управления процессом инжиниринга в целях организации экологических производственных систем, внедрения наилучших доступных технологий.

Ключевые слова: организация производства, экологическая производственная система, экологический инжиниринг, система автоматизированного управления, передовые производственные технологии

**DEVELOPMENT OF THE AUTOMATED INFORMATION CONTROL SYSTEM
FOR THE ENGINEERING PROCESS OF ENVIRONMENTAL PRODUCTIONS****Malysheva T.V., Shinkevich A.I.***Kazan National Research Technological University, Kazan,
e-mail: tv_malysheva@mail.ru, ashinkevich@mail.ru*

The article is devoted to the actual problem of improving the environmental friendliness of production systems based on the implementation of environmental engineering. Organizational methods and tools for managing the engineering process are insufficiently studied and are characterized by the almost absence of scientific and methodological materials. The purpose of the article is to develop methods and tools for controlling the engineering process in order to improve the environmental friendliness of production systems. To achieve this goal, a system-technical approach, a method of analysis and synthesis, cause-and-effect relationships were used. Descriptive statistics are used to determine the trends and nature of the development of advanced production technologies. The development of an automated life cycle management system for environmental engineering of production systems was carried out on the basis of the operations research method. The article identifies the trends in the development of advanced production technologies in the Russian Federation with the identification of key areas for the creation of integrated automated production systems. A system of automated life cycle management of environmental engineering of production systems is proposed in order to introduce the best available technologies, containing the formation of records on the parameters of environmental sustainability of production and the technical condition of production lines, regulated monitoring of technological processes in the database of control parameters, the formation of databases of algorithms and models of information transformation for preparation and decision-making. A flowchart of automated life cycle management of environmental engineering with a step-by-step description of communication channels and digital signal transmission has been developed. The obtained results can be used to develop tools for managing the engineering process in order to organize environmental production systems, introduce the best available technologies.

Keywords: production organization, ecological production system, ecological engineering, automated control system, advanced production technologies

В настоящее время все более актуальной становится проблема повышения экологичности производственных систем. Дей-

ственным организационным инструментом совершенствования производственных процессов и их результатов является инжи-

инжиниринг как процесс целенаправленных действий, имеющий результатом создание новых производственных систем в целях снижения негативного воздействия на экосистему и сбережения ресурсов. Экологический инжиниринг позволяет реализовать принципы устойчивого развития на промышленном предприятии и повысить эффективность производственных процессов [1].

Инжиниринг ориентирован на практику организации производства, а именно совершенствование производственных процессов и оптимизацию их параметров. Процессный инжиниринг представляет собой интегрированный научно-инженерно-управленческий инструмент, базирующийся на знаниях в области организации производства, организации процессов и аппаратов химической технологии, термодинамики, законов физических и химических явлений и химических превращений [2, 3]. Несмотря на то, что область инжиниринга производственных систем существует в мире с 1980-х гг., данное направление является недостаточно изученным и характеризуется практически отсутствием научно-методических материалов. На сегодняшний день остаются неизученными отдельные вопросы выбора инструментов эффективного управления инжинирингом, в том числе информатизация и автоматизация потоков данных в рамках мониторинга и контроля производственных процессов.

Целью статьи является разработка методов и средств управления процессом инжиниринга с целью повышения экологичности производственных систем. Реализация поставленной цели предполагает решение следующих трех задач:

- определение тенденций развития передовых производственных технологий в Российской Федерации с выделением ключевых направлений создания интегрированных автоматизированных производственных систем;
- разработка системы автоматизированного управления жизненным циклом экологического инжиниринга производственных систем в целях внедрения наилучших доступных технологий;
- формирование блок-схемы автоматизированного управления жизненным циклом экологического инжиниринга с описанием архитектуры системы управления и каналов связи для передачи цифровых сигналов в целях повышения эффективности результатов инжиниринга и повышения экологичности производства.

Материалы и методы исследования

Основу методов исследования составил системотехнический подход, метод анализа

и синтеза, причинно-следственных связей. Для определения тенденций и характера развития передовых производственных технологий использована описательная статистика. Разработка системы автоматизированного управления жизненным циклом экологического инжиниринга производственных систем осуществлена на основе метода исследования операций, в том числе управления в сложных ситуациях и в условиях неопределенности, изучения взаимосвязей между элементами, определяющими возможные результаты принимаемых решений.

Результаты исследования и их обсуждение

Новые производственные технологии в Российской Федерации за последние 20 лет получили существенное качественное и количественное развитие. В основном это технологии, управляемые с помощью компьютера или основанные на микроэлектронике и используемые при проектировании и реализации производственных процессов. Элементы производственных технологий, как правило, соединены локальными сетями связи в единую гибкую производственную систему, что в результате образует интегрированную автоматизированную производственную систему [4, 5].

По данным российского статистического наблюдения наибольшее количество передовых технологий разработано для процессов производства, обработки и сборки продукции (510 единиц в 2019 г.), проектирования и инжиниринга (456 единиц), связи и управления (316 единиц). Наиболее интересна статистика разработанных передовых производственных технологий в динамике с 2000 по 2019 г., где более чем четырехкратный прирост получили разработка и использование производственных информационных систем (рост в 4,5 раза), технологии связи и управления (рост в 4,5 раза), а также технологии проектирования и инжиниринга (рост в 2,7 раза) (таблица).

Разброс значений в массиве данных относительно среднего значения (дисперсия выборки) по первым трем направлениям передовых технологий достаточно значительный, что свидетельствует о нестабильной динамике разработки новых технологий, характеризующей некий прорыв в науке и технике. Коэффициент эксцесса показывает низковошершинное распределение, а асимметрия является левосторонней, т.е. в распределении преобладают более низкие значения ряда данных. Таким образом, развитие передовых производственных технологий в России за последние 20 лет имеет «скачкообразный» характер и положительную динамику.

Статистика разработанных передовых производственных технологий
в России в 2000–2019 гг.

| | 2000 | 2010 | 2015 | 2019 | Темп роста, % | Дисперсия | Эксцесс | Асиммет- ричность |
|--|------|------|------|------|------------------|-----------|---------|----------------------|
| Производственная информационная система | 18 | 20 | 84 | 81 | 450,0 | 1186,7 | -3,30 | 0,61 |
| Связь и управление | 90 | 70 | 232 | 316 | 351,1 | 13221,0 | -1,61 | 0,85 |
| Проектирование и инжиниринг | 165 | 216 | 359 | 456 | 276,4 | 18457,7 | -1,61 | 0,70 |
| Аппаратура автоматизи- рованного наблюдения и контроля | 76 | 116 | 117 | 159 | 209,2 | 996,7 | 0,55 | 0,67 |
| Интегрированное управление и контроль | 38 | 41 | 46 | 69 | 181,6 | 216,7 | 2,47 | 1,38 |
| Производство, обработка и сборка | 281 | 383 | 548 | 510 | 181,5 | 15075,3 | -2,75 | 0,25 |
| Автоматизированная транспортировка и погрузочно-разгрузочные операции | 20 | 18 | 12 | 29 | 145,0 | 60,3 | 0,04 | 0,61 |

Для повышения экологичности производственных систем нами предложена система автоматизированной поддержки принятия решений в управлении экологическим инжинирингом, включающим поэтапный переход на систему стандартов наилучших доступных технологий [6, 7]. Технический результат данного подхода заключается в повышении результативности процесса инжиниринга производственной системы, достижении заданного уровня экологичности производства с оптимальными финансовыми, временными, материальными ресурсами на основе автоматизации метода управления жизненным циклом инжинирингового проекта. Для этого обеспечивается более полное соответствие заданных параметров процесса инжиниринга условиям функционирования производственной системы за счет учета специфики технологических процессов и поэтапного контроля изменений в объекте инжиниринга [8].

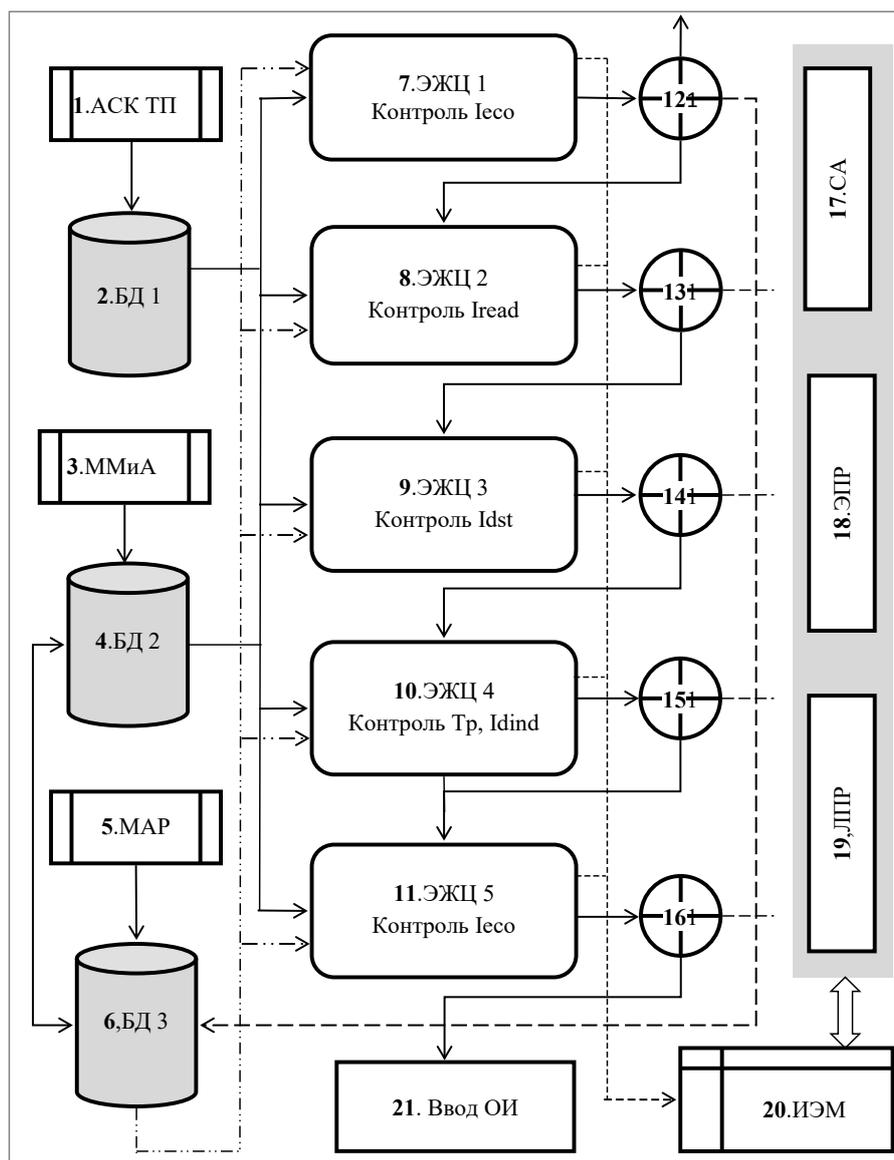
Работа системы автоматизированной поддержки принятия решений в управлении экологическим инжинирингом состоит из десяти последовательных шагов, направленных на реализацию алгоритма автоматизированной поддержки принятия решений в управлении инжинирингом (рисунок).

Шаг 1. На этапе жизненного цикла ЭЖЦ1 осуществляется оценка уровня экологичности производства I_{eco}^1 (элемент 7) на основе информации базы данных БД1 параметров управления экологическим проектированием (элемент 2), аккумулярованных с точек контроля автоматизированной системы контроля технологических процессов (АСК ТП) в виде цифровых сиг-

налов (элемент 1) и информационной системы математических моделей и алгоритмов (ММиА) и базы данных алгоритмов преобразования информации (элементы 3,4). I_{eco}^1 является комплексным показателем воздействия входных величин $X_1 \dots X_n$, поступающих от элементов производственной системы.

Шаг 2. По результатам контроля I_{eco}^1 в расчетном модуле (элемент 12) при условии несоблюдения требований экологичности $I_{eco}^1 < I_{eco}^{opt}$ осуществляется переход на стадию инициации проекта ЭЖЦ2 (элемент 8). В случае экологического равновесия $I_{eco}^1 \geq I_{eco}^{opt}$ осуществляется выход из цикла. Индекс экологичности оптимальный I_{eco}^{opt} рассматривается как управляющее воздействие U на объект управления в целях эффективной реализации инжиниринга.

Шаг 3. На этапе жизненного цикла ЭЖЦ2 производится оценка технической готовности I_{read} (элемент 8) по результатам расчетного модуля (элемент 13) на основе информации базы данных БД1 параметров управления экологическим проектированием (элемент 2), аккумулярованных с точек контроля автоматизированной системы контроля технологических процессов (АСК ТП) в виде цифровых сигналов (элемент 1), и информационной системы математических моделей и алгоритмов (ММиА) и базы данных алгоритмов преобразования информации (элементы 3, 4). Индекс готовности производственной системы I_{read} рассматривается как случайное внешнее воздействие F со стороны других подсистем производства и из-за ее пределов.



Блок-схема функционирования системы автоматизированной поддержки принятия решений в управлении экологическим инжинирингом

Шаг 4. При условии $I_{read} \geq I_{read}^{opt}$ осуществляется переход на этап разработки и организации инжинирингового проекта ЭЖЦ3 (элемент 9). В случае $I_{read} < I_{read}^{opt}$ принимается решение о возврате на этап ЭЖЦ2 для внесения корректив в концепцию инжиниринга (элемент 8) на основе модуля моделирования альтернативных решений (МАР) и базы данных альтернативных решений БД3 (элементы 5, 6). Принятие решения о корректировке задач инжиниринга производится через АРМ административно-управленческой группы, включающей системного аналитика (СА), эксперта по при-

нятию решения (ЭПР), лица, принимающего решение (ЛПР) (элементы 17–19) с использованием интерфейса экспертного модуля (ИЭМ) (элемент 20). Индекс готовности производственной системы оптимальный I_{read}^{opt} рассматривается как управляющее воздействие U на объект управления в целях эффективной реализации инжиниринга.

Шаг 5. После принятия решения о соответствии параметра готовности производственной системы I_{read} осуществляется переход на этап разработки и организации инжинирингового проекта ЭЖЦ3 (элемент 9) по результатам расчета (элемент 14). На дан-

ном этапе производится оценка чувствительности технологических процессов путем расчета индекса риска дестабилизации производственной системы I_{dst} на основе информации базы данных БД1 параметров управления экологическим проектированием (элемент 2), аккумулярованных с точек контроля автоматизированной системы контроля технологических процессов (АСК ТП) в виде цифровых сигналов (элемент 1) и информационной системы математических моделей и алгоритмов (ММиА) и базы данных алгоритмов преобразования информации (элементы 3, 4). Индекс риска дестабилизации производственной системы I_{dst} рассматривается как случайное внешнее воздействие F со стороны других подсистем производства и из-за ее пределов.

Шаг 6. Переход на этап реализации инжинирингового проекта ЭЖЦ4 (элемент 10) осуществляется при условии $I_{dst} < I_{dst}^{crit}$. В случае $I_{dst} > I_{dst}^{crit}$ производится возврат на этап ЭЖЦ2 (элемент 8) для корректировки состава и сроков плана мероприятий на основе модуля моделирования альтернативных решений (МАР) и базы данных альтернативных решений БД3 (элементы 5, 6). Принятие решения о корректировке состава и сроков плана мероприятий производится через АРМ административно-управленческой группы (элементы 17–19) с использованием интерфейса экспертного модуля (элемент 20). Индекс риска дестабилизации производственной системы критический I_{dst}^{crit} рассматривается как управляющее воздействие U на объект управления в целях эффективной реализации инжиниринга.

Шаг 7. После принятия решения об отсутствии риска дестабилизации I_{dst} осуществляется переход на этап разработки завершения инжинирингового проекта ЭЖЦ4 (элемент 10), где по завершению инжиниринга производится контроль исполнения сроков и целевых ориентиров: фактическое время на реализацию этапов жизненного цикла проекта Tr^{fact} , индекс отклонения проектных индикаторов I_{dind} по результатам расчетов параметров (элемент 15) на основе информации базы данных БД1 параметров управления экологическим проектированием (элемент 2), аккумулярованных с точек контроля автоматизированной системы контроля технологических процессов (АСК ТП) в виде цифровых сигналов (элемент 1), и информационной системы математических моделей и алгоритмов (ММиА) и базы данных алгоритмов преобразования информации (элементы 3, 4). Время на реализацию этапов жизненного цикла проекта фактическое (Tr^{fact}) и индекс отклонения проектных ин-

дикаторов (I_{dind}) рассматриваются в причинно-следственной взаимосвязи с экстерналиями F .

Шаг 8. При выполнении сроков и целевых ориентиров $Tr^{fact} \leq Tr^{norm}$ и $I_{dind} \leq I_{dind}^{opt}$ осуществляется переход на этап ЭЖЦ5 для контроля выходного индекса экологичности (элемент 11). В случае $Tr^{fact} > Tr^{norm}$, $I_{dind} > I_{dind}^{opt}$ параллельно с переходом на этап ЭЖЦ5 (элемент 11) производится возврат на этап ЭЖЦ2 (элемент 8) для анализа отклонений параметров на основе модуля моделирования альтернативных решений (МАР) и базы данных альтернативных решений БД3 (элементы 5, 6). Время на реализацию этапов жизненного цикла проекта нормативное (Tr^{norm}) и индекс отклонения проектных индикаторов оптимальный (I_{dind}^{opt}) рассматриваются как управляющие воздействия U на объект управления в целях эффективной реализации инжиниринга.

Шаг 9. На этапе жизненного цикла ЭЖЦ5 осуществляется оценка выходного уровня экологичности производства I_{eco}^2 (элемент 11) на основе информации базы данных БД1 параметров управления экологическим проектированием (элемент 2), аккумулярованных с точек контроля автоматизированной системы контроля технологических процессов (АСК ТП) в виде цифровых сигналов (элемент 1), и информационной системы математических моделей и алгоритмов (ММиА) и базы данных алгоритмов преобразования информации (элементы 3, 4). Индекс экологичности производства (I_{eco}^2) является комплексным показателем выходных величин $Y_1 \dots Y_n$, формируемым в результате внешних воздействий и заданных параметров объекта управления на его выходе.

Шаг 10. По результатам контроля I_{eco}^2 (элемент 16) при условии $I_{eco}^2 \geq I_{eco}^{opt}$ проект считается завершенным и производится ввод в действие объекта инжиниринга (элемент 21). В случае $I_{eco}^2 < I_{eco}^{opt}$ осуществляется возврат на ЭЖЦ2 для анализа стартовой концепции инжиниринга в целом и выявления причин невыполнения заданного I_{eco}^2 с использованием модуля моделирования альтернативных решений (МАР) и базы данных альтернативных решений БД3 (элементы 5, 6). При этом в качестве индикативных параметров заложены индексы, содержание которых может быть различным, в зависимости от характера экологического инжиниринга и архитектуры производственной системы.

Основное назначение предлагаемой системы заключается в обеспечении автоматизации процесса принятия решений в управлении инжиниринговым проектом,

направленным на изменение параметров экологичности производственной системы на выходе по сравнению с параметрами экологичности на входе, возможным к использованию на сложноорганизованных промышленных объектах, внедряющих наилучшие доступные технологии по утилизации и обезвреживанию отходов, очистке выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и сточные воды и пр. [9]. Функция автоматизированного управления заключается в сборе, хранении, обработке, передаче информации от датчиков контроля технологических процессов и экосистемы, выборе алгоритмов и моделей для моделирования решений по оптимизации управления инжинирингом при помощи аппаратных средств [10].

Представленная блок-схема обеспечивает адекватность автоматизированного управления, обусловленную возможностью трансфера информации с датчиков измерения состояния экосистемы и расходомеров сырья, учетом готовности производственной системы и риска дестабилизации технологических процессов в ходе процессов экологического инжиниринга.

Заключение

Исследование методов и средств управления процессом инжиниринга с целью повышения экологичности производственных систем позволило получить следующие научно-практические результаты:

1. Определены тенденции развития передовых производственных технологий в Российской Федерации за последние 20 лет с выделением ключевых направлений создания интегрированных автоматизированных производственных систем. Определено, что прорывное развитие получили разработка и использование производственных информационных систем, технологии связи и управления, а также технологии проектирования и инжиниринга.

2. Предложена система автоматизированного управления жизненным циклом экологического инжиниринга производственных систем в целях внедрения наилучших доступных технологий. Система автоматизированного управления содержит формирование записей о параметрах экологической устойчивости производства и техническом состоянии производственных линий, регламентированный мониторинг технологиче-

ских процессов в базе данных параметров управления, формирование баз данных алгоритмов и моделей преобразования информации для подготовки и принятия решений.

3. Разработана блок-схема автоматизированного управления жизненным циклом экологического инжиниринга с пошаговым описанием каналов связи и передачи цифровых сигналов. Блок-схема предусматривает модули оценки готовности производственной системы к экологическому инжинирингу и оценки риска дестабилизации технологических процессов с последующей оптимизацией параметров на основе имитационного моделирования параметров точек контроля процесса инжиниринга.

Исследование выполнено в рамках гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ РФ № НШ-2600.2020.6.

Список литературы

1. Мешалкин В.П. Введение в инжиниринг энергоресурсосберегающих химико-технологических систем: учебное пособие. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2020. 208 с.
2. Малышева Т.В., Шинкевич А.И. Формирование методологических основ проектного подхода к организации экологических производственных систем // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 4 (2). С. 228–233.
3. Алиев Р.А., Гразион К.П. Роль экологической сертификации в переходе к моделям рационального производства и потребления // Отходы и ресурсы. 2018. Т. 5. № 3. С. 3.
4. Шинкевич А.И., Барсегян Н.В. Пути повышения эффективности организации производственных процессов на нефтехимических предприятиях за счет применения систем автоматизации // Русский инженер. 2019. № 4. С. 48–51.
5. ГОСТ Р 113.00.01–2019 Наилучшие доступные технологии. Система стандартов наилучших доступных технологий. Общие положения. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200163939> (дата обращения: 15.07.2021).
6. ГОСТ Р 57306-2016 Инжиниринг. Терминология и основные понятия в области инжиниринга. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200143273> (дата обращения: 15.07.2021).
7. Шваб К. Четвертая промышленная революция. The fourth industrial revolution: [перевод с английского]. М.: Эксмо, 2018. 285 с.
8. Malysheva T.V., Shinkevich A.I., Ostanin L.M., Zhandarova L.F., Muzhzhavleva T.V., Kandrashina E.A. Organization challenges of competitive petrochemical products production. *Espacios*. 2018. Vol. 39. No. 9. P. 28.
9. Таишева Г.Р., Яковлева М.Л., Исмагилова Э.Р., Саликова Э.Г. Оптимизация производственных процессов // *American Scientific Journal*. 2021. № 48–2 (48). С. 26–35.
10. Мингалеев Г.Ф., Бабушкин В.М., Шарафеев И.Ш., Валиуллин Р.З. Адаптивное планирование организации производства промышленного предприятия // *Computational Nanotechnology*. 2019. № 3. С. 47–53.