

УДК 65.011.46

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА: НА ПРИМЕРЕ НАУКОЕМКОГО ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Харитонов Д.В., Грошев А.В.

АО «Обнинское научно-производственное предприятие «Технология» им. А.Г. Ромашина»,
Обнинск, e-mail: haritonovdv@technologiya.ru

Низкие темпы повышения производительности предприятий ОПК, обусловленные отсутствием достоверной информации о производстве, требуют поиска новых методов сбора данных. Анализ исследовательских работ в предметной области позволил выдвинуть предположение о перспективах осуществления цифровой трансформации для повышения актуальности собираемой информации. Математическая модель информационного обмена предприятия до и после трансформации подтвердила это предположение. Обзор рынка программных продуктов показал необходимость разработки отраслевого решения на базе отечественной платформы 1С: MES (Оперативное управление производством). На основе критериев выбора платформ программного и аппаратного обеспечения показана необходимость применения для объектов критической инфраструктуры программного обеспечения с открытым исходным кодом. Приведен перечень недостатков выбранной программной платформы. Описана структура программного обеспечения информационной системы и функциональное назначение её модулей. Рассмотрены основные элементы аппаратных средств, обеспечивающих идентификацию, ввод и вывод данных от пользователей, и оборудования. Важными факторами успешного внедрения системы являлись применение концепции «цифрового двойника» и внедрение по схеме «снизу вверх». Описаны результаты проведения цифровой трансформации предприятия ОПК по производству керамических изделий в период с 2018 по 2021 г.

Ключевые слова: цифровая трансформация, повышение производительности, информационные системы, MES, оборонно-промышленный комплекс

ON DIGITAL TRANSFORMATION OF MILITARY-INDUSTRIAL THE COMPLEX: THE EXAMPLE SCIENCE-INTENSIVE CERAMIC PARTS PRODUCTION

Kharitonov D.V., Groshev A.V.

Obninsk Research and Production Enterprise "Technologiya" named after A.G. Romashin,
Obninsk, e-mail: haritonovdv@technologiya.ru

The low rate of increase of productivity at defense industry enterprises, due to the lack of reliable information on production, requires the search for new methods of data collection. The analysis of research work in the subject area made it possible to put forward an assumption about the prospect for digital transformation to increase the relevance of information collected. The mathematical model of information exchange of the enterprise up to and confirmed this assumption. A review of the software market showed the need to develop an industry-specific solution based on the domestic platform 1С: MES (Operational Production Management). Based on the criteria for choosing software and hardware platforms, the necessity of using open source software for critical infrastructure objects is shown. A list of disadvantages of the selected software platform is given. The function purpose of its modules is described. The main elements of hardware that provide identification, input and output data from users, and equipment are considered. An important factor in the successful of the system was the application of concept of «digital twin» and implementation according to the «bottom-up» scheme. The result of the digital transformation of the military-industrial complex enterprise for the production of ceramic products on the period from 2018 to 2021 are described.

Keywords: digital transformation, productivity, information systems, MES, military industry complex

Техническое перевооружение и повышение производительности предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК), начатое в 2010-х гг. [1], идет недостаточными темпами, вызванными следующими факторами:

- жесткие требования [2] к приемке продукции, изготавливаемой по государственному оборонному заказу (ГОЗ), перенасыщают производственные процессы операциями контроля и документирования;
- внесение изменений в технологию производства требует проведения процедур

согласования и подтверждающих испытаний, занимающих от 6 до 12 месяцев;

- ограничение максимального размера прибыли по договорам ГОЗ, как процента прямых затрат, стимулирует завышение расходов;

- формальный подход руководства к внедрению систем менеджмента качества и бережливого производства демотивирует исполнителей.

Цель исследования – обоснование необходимости применения производственных информационных систем на предприятиях

ОПК, выработка требований и подходов к внедрению программного и аппаратного обеспечения.

Методы исследования: анализ опыта повышения производительности предприятий ОПК и математическое моделирование информационных процессов.

Проявление негативных факторов

Рассмотрим мелкосерийное наукоемкое производство керамических изделий в АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина». Особенностью технологического процесса является высокая энергоемкость, трудоемкость и вариативность операций, вызванная высокими требованиями к прочности, герметичности, геометрической точности производимой продукции. Трудности выявления дефектов на ранних этапах производства приводят к высокому уровню технологических потерь на его поздних стадиях. По этой причине в среднем на 50 обрабатываемых операций с изделием приходится 100 контрольных. При этом инициативы Министерства промышленности и торговли [3], направленные на переход от функционально-фискальной к процессно-мотивационной модели управления, принятия и внедрения национальных стандартов систем менеджмента качества (СМК) [4], бережливого производства (БП) [5], на местах встречают сопротивление и не дают ожидаемого эффекта устойчивого развития, предоставляя формальную, поверхностную реализацию заложенных принципов. Отчетные формы, заполняемые исполнителями, по ключевым показателям эффективности (КПЭ) и рискам реализуемых процессов не отражают реальное состояние производства и содержат неактуальные данные, а в качестве показателей выбираются нерепрезентативные индикаторы.

Так, в рамках СМК предприятия в качестве КПЭ производственного процесса установлен процент сдачи продукции с первого предъявления, значение которого за последние два года составляет 97%, при критическом значении 95%. Операционный коэффициент запуска, вычисляемый как отношение числа годных изделий к числу запущенных в производство, характеризующий технологическую эффективность, не используется.

Документирование параметров технологических операций посредством ведения журналов и паспортов изделий в бумажном виде, предназначенный для выявления нарушений технологической дисциплины, перегружает исполнителей и проверяющих рутинной деятельностью. Отсутствует

возможность к оперативному выявлению статистических взаимосвязей изменения технологического параметра и превышения нормативного уровня технологических потерь. В результате расследование причин возникновения брака и мероприятия по их устранению запаздывают на 2–3 месяца. Предполагаемым источником данных факторов является отсутствие методов оперативного получения достоверной информации о производстве.

Обзор существующих решений

Научно-исследовательские работы, посвященные решению задачи повышения производительности предприятий, предлагают осуществить цифровую трансформацию (ЦТ) производственных процессов. Так, в работах авторов [6] произведена проработка вопросов актуальности, методики оценки готовности предприятия к ЦТ [7]. Дано описание механизмов, обеспечивающих эффект повышения производительности [8]. Сейчас, когда понимание необходимости ЦТ приходит в отрасль, принимаются и утверждаются стратегии ЦТ корпораций РОСТЕХ, АО «РЖД» [9], примеры успешных практик внедрения востребованы как никогда.

Анализ исследований, посвященных производственным информационным системам, показал, что внедрение систем класса MES (Manufacture Execution System) способно обеспечить цифровую трансформацию производства [10], однако присутствующие на рынке решения концентрируются на задачах объемно-календарного планирования деятельности, эффективной загрузки обрабатывающего оборудования и станков, оценки производительности и производственных мощностей машиностроительных производств [11]. Существующее программное обеспечение удовлетворяет требованиям традиционных обрабатывающих или слесарно-сборочных производств и не может быть использовано в технологических процессах наукоемкого керамического производства, характеризующихся вариативностью длительностей и последовательности технологических операций, зависящих от результатов промежуточного контроля. Различие таких процессов показано на рис. 1.

Существенным ограничением является то, что функции отечественных MES систем не развиты в достаточной мере, а использование зарубежного программного обеспечения неприемлемо на объектах критической информационной инфраструктуры (КИИ), которыми являются предприятия ОПК [12].

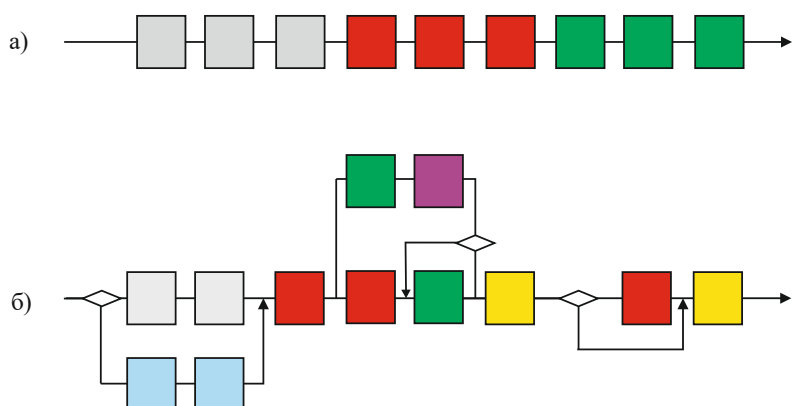


Рис. 1. Типовой процесс на (а) машиностроительном, (б) наукоемком производстве керамических изделий (цветом обозначены производственные участки)

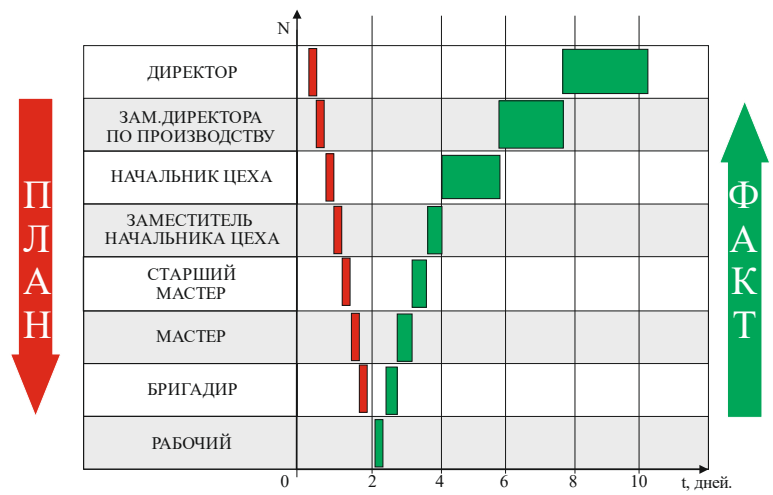


Рис. 2. Диаграмма времени распространения по уровням управления плана производства (красным) и состояния производства (зеленым)

Модель передачи информации в производстве

Для подтверждения эффективности применения информационных систем построим математическую модель передачи данных в производстве. Рассмотрим цепь передачи информации, характерную для большинства производственных предприятий отрасли. Каждый элемент этой цепочки принимает и передает информацию о производственном процессе в устной или письменной форме на совещании или телефонном разговоре. От верхнего уровня исполнитель получает план (виды, объем и крайние сроки выполнения работ). Данная информация передается в письменном виде и доводится до исполнителя практически без искажений.

В процессе выполнения работ исполнитель сообщает на верхний уровень о воз-

никающих проблемах (нехватке материалов, поломке оборудования), состоянии выполнения плана. Каждый вышестоящий уровень цепочки обобщает, проверяет, анализирует информацию, решает вопросы в пределах своих возможностей и передает далее, как это проиллюстрировано на рис. 2.

Опишем вероятностную модель процесса передачи такой информации через параметры: время получения информации о проблеме (t_i) и вероятности передачи информации без искажения (P_i):

$$t_i = t_a + t_n + \max_i(t), \tag{1}$$

$$P_i = \prod P_{i-1}, \tag{2}$$

где t_i – общее время сбора и обобщения информации для каждого из элементов цепочки,

t_a – время на обобщение, анализ и проверку информации, t_n – время, затрачиваемое на решение проблемы на своем уровне иерархии, P_j – вероятность предоставления достоверной информации, i – уровень иерархии системы управления.

Вычисления по формуле (2) показывают, что даже при высоких стандартах качества предоставления информации, когда искажение осуществляется крайне редко, информация перепроверяется перед выдачей на следующий уровень ($P = 0,95$), при числе участников коммуникации (N) более 12, вероятность предоставления достоверной информации составляет менее 0,51. Фактически это означает, что на предприятиях с более чем тремя уровнями иерархии руководство не располагает достоверной информацией о состоянии производства, что подтверждается исследованиями в области теории коммуникации [13].

При этом каждый исполнитель стремится снизить риски срыва выполнения плана, завышая требования по срокам выполнения работ, нормам расходования материалов, скрывая объемы запасов материалов и незавершенного производства, что приводит к наработке большого количества заготовок, которые потом не будут использованы в дальнейшем производстве. Объемы таких неучтенных запасов могут достигать двукратной годовой потребности. Один из таких случаев, произошедших на нашем предприятии в 2015 г., стал стимулом к внедрению цифровых технологий. На одном из оперативных совещаний возник конфликт между двумя старшими мастерами производственных участков, последовательно участвующих в технологическом процессе. Суть претензий заключалась в том, что заготовительный участок не обеспечил обрабатывающий необходимым количеством заготовок определенного типа выпускаемой продукции и переоборудованные под обработку этого типа станки простаивали без работы. По «счастливой» случайности незадолго до этого, во время обхода цеха, начальник обнаружил партию именно этих заготовок, равную трехмесячному объему выпуска этой номенклатуры изделия. Мастер первого участка заранее осуществил наработку заготовок, а потом о них просто забыли. Осознание необходимости оперативного получения объективной информации о производстве для его дальнейшего развития убедило руководство в целесообразности финансирования проекта ЦТ, которые по своей себестоимости составляли не более 0,2% от объемов выручки предприятия.

Рассмотрим альтернативную схему информационного обмена, в которой сбор и агрегация данных об исполнении осуществляется по запросу пользователя, а сигнал о нарушении срока выполнения операции формируется автоматически на основе сравнения с нормативным показателем:

$$t_i = t_n + t_0, \quad (3)$$

$$P_i = P_0, \quad (4)$$

где t_i – минимальное время получения информации о проблеме, t_0 – время ввода информации о завершении операции рабочим. P_i – вероятность получения достоверной информации от нижних уровней, P_0 – вероятность достоверного сообщения непосредственным исполнителем операции.

Сопоставив выражения (1), (2) и (3), (4), можно сделать вывод, что внедрение информационной системы сбора данных о производстве сокращает время передачи информации о проблемах и повышает вероятность ее достоверной передачи на любой уровень управления, позволяя исполнителям сконцентрироваться на своей непосредственной задаче выработки и реализации качественного управленческого решения.

Применение системы избавляет руководителей от рутинных операций проверки и обобщения информации о производстве, все звенья управляющей цепи работают с единой базой, представляющей «цифровой двойник» реального производства. А задача предоставления достоверной информации о выполнении операции ложится исключительно на исполнителя и его руководителя.

Программное и аппаратное обеспечение системы

Построение системы сбора информации о производстве невозможно без применения программных и аппаратных средств, защищенных от вредных факторов производственной среды, при этом удовлетворяющих требованиям безопасности, надежности и ремонтпригодности. Выбор платформы программного обеспечения (ПО) формирует минимальные требования к аппаратному обеспечению. От надежности системы сбора данных предприятий ОПК зависит обороноспособность страны, поэтому неукоснительное соблюдение требований законодательства в области информационной безопасности при построении объектов критической информационной инфраструктуры является первоочередной задачей.

На основе вышеописанных требований сформулируем критерии выбора программной платформы:

- нахождение в реестре российского ПО (отечественный производитель программного обеспечения);
- работа службы поддержки и развивающейся платформы;
- наличие обученных кадров, которые могут осуществлять доработку и поддержку системы на местах;
- открытость платформы для доработки;
- работа ПО на операционных системах Windows и Linux;
- возможность интеграции с существующей системой управления предприятием (ERP) верхнего уровня (на тот момент 1С: УПП);
- возможность последующей аттестации компонентов комплекса по стандартам Федеральной службы по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК) России;
- наличие успешно реализованных проектов на базе данной платформы.

1С: Предприятие 8.3 с конфигурацией 1С: MES (Оперативное управление производством) является единственной платформой на российском рынке, удовлетворяющей описанным критериям [14].

В процессе внедрения были выявлены недостатки, характерные для платформ, ориентированных на машиностроительные производства:

- отсутствие функций описания разветвления процессов, аналогов спецификации материалов и используемого оборудования;
- ограниченность платформы в области построения эргономичного интерфейса для информационных терминалов;
- обновление платформы приводит не только к устранению ошибок, но и к появлению новых;
- отсутствие драйверов оборудования, проблемы с сервером печати для операционных системах типа Linux.

Преодолеть указанные ограничения удалось посредством дополнения конфигурации и реализации собственных программных модулей на базе встроеного языка программирования и сторонних средств разработки. В процессе внедрения платформы в производство были созданы модули: «Диспетчеризация», «Контроль качества», «Сменные задания», «Учет материалов», «Управление оборудованием».

Модуль «Диспетчеризация» осуществляет сбор данных от исполнителей, первичный контроль ввода данных на основе справочников технологических маршрутов, формирует отчеты о состоянии производ-

ства, сигнализирует о превышении нормативного времени выполнения операций.

Модуль «Сменные задания» обеспечивает мастера участка интерфейсом ввода данных для выдачи сменного задания рабочим бригады и печати журнала сменных заданий. На основе данных, получаемых от модуля «Диспетчеризация», производится формирование документов – наряда на выполненные работы и табеля учета рабочего времени.

Модуль «Учет материалов» на основе справочника норм расхода материалов на операциях формирует отчеты о расходовании материалов по договорам, объеме материалов в незавершенном производстве. Обеспечивает учет фактического расхода материала на участках. Формирует сигнал о превышении норм расходования, приближение сроков окончания годности материалов.

Модуль «Контроль качества» на основе справочника коэффициентов запуска (Кз) операций выявляет превышение установленных Кз, обеспечивает удобный интерфейс для расследования причин технологических потерь и выявления статистических взаимосвязей между их уровнем и технологическими параметрами.

Модуль «Управление оборудованием» на основе параметров, задаваемых в процессе выполнения технологических операций, осуществляет программирование режимов работы технологического оборудования, снижая вероятность их ошибочного ввода оператором.

Предлагаемые состав и структура модулей программы и передаваемая между ними информация показаны на рис. 3.

Аппаратная часть системы построена по клиент-серверной архитектуре и состоит из следующих элементов:

Сервер системы – специализированный высокопроизводительный компьютер, осуществляет прием, обработку данных от остальных узлов системы и выдачу ее по запросу. Ключевые характеристики: скорость обработки и надежность хранения информации.

Рабочие станции – персональные компьютеры, установленные на рабочих местах управляющего персонала. Основная функция – вывод информации и удобный ввод параметров системы. В остальном к элементу предъявляются требования офисного персонального компьютера.

Терминалы ввода данных – специализированные компьютеры, эксплуатируемые в сложных производственных условиях повышенной температуры, пыли и влажности.

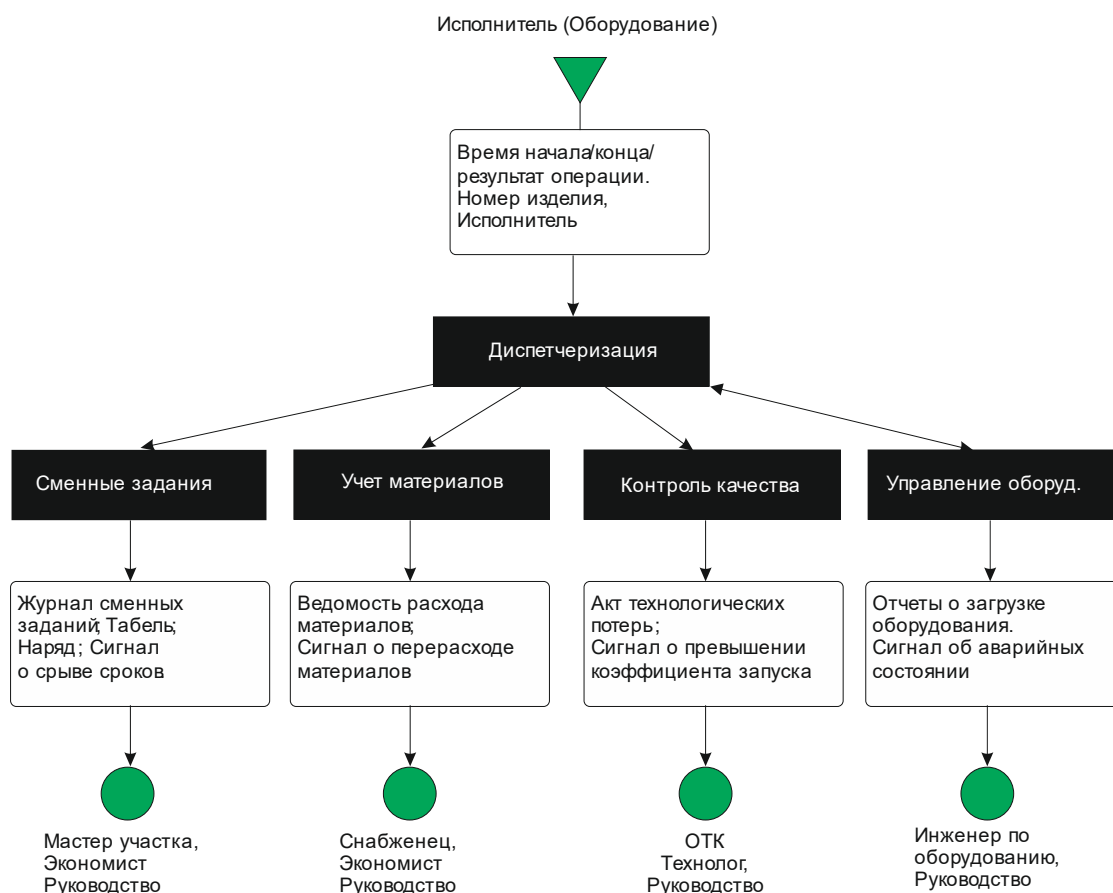


Рис. 3. Структура программного обеспечения и передаваемая информация

Основная задача: быстрая идентификация пользователя, считывание идентификационных кодов и карт, надежная работа и удобное обслуживание.

Информационные табло – специализированные телевизионные табло с поддержкой веб-технологии либо компактные компьютеры – с возможностью работы в режимах «тонкого клиента». Ключевая характеристика – возможность длительной бесперебойной работы. Основная функция – вывод состояния оборудования и аварийных сообщений о нарушении режимов работы, выработки норм бригады на участках, доступности материалов и оснастки.

Блоки сбора информации от оборудования – специализированные компьютеры, осуществляющие опрос параметров оборудования и программирование режимов обработки изделий. Ключевая особенность – высокая скорость опроса оборудования, надёжность.

Заключение

Получение объективной и актуальной информации является фундаментом

для принятия качественных управленческих решений. Данные о производстве, собираемые устным и письменным образом, в силу естественных причин не обеспечивают требуемый уровень достоверности и актуальности. Использование в качестве первичной единицы учета конкретного экземпляра изделия, характеристик и параметров выполненных над ним технологических операций позволило реализовать на предприятии концепцию «цифрового двойника» изделия. Такой подход позволяет осуществить процесс цифровой трансформации «снизу вверх», когда внедрение системы начинается со сбора фактических данных об осуществляемой производственной деятельности. Система встроена в деятельность каждого участника производственного процесса (контролеры ОТК, технологи, рабочие, лаборанты, техники, транспортировщики) и представляет собой комплекс, создающий единое информационное пространство. Внедрение системы упростило поиск «узких мест» производства и операций с большим временем ожидания. В ряде случаев оперативное выявление таких «заторов» позволяло со-

кратить длительность производственного цикла с 3 месяцев до 14 дней. Построенная таким образом система с 2018 г. функционирует и развивается на производстве продукции военного назначения. На основе данных, предоставляемых системой, руководство предприятия смогло провести оптимизацию и переоснащение производства, результатом которых стал двукратный рост производительности. Снижение прямых затрат по ряду видов продукции составило 20%, сокращение длительности производственного цикла – 30%. На данный момент система включает в себя 15 терминалов сбора данных, 30 рабочих станций, 10 информационных табло. Подробное описание взаимодействия ключевых элементов системы и технические эффекты от её применения содержатся в патенте на изобретение [15]. Проведенная таким образом цифровая трансформация позволяет эффективно решить задачу повышения производительности предприятия.

Список литературы

1. Батьковский М.А., Клочков В.В., Кравчук П.В. Повышение производительности труда на предприятиях оборонно-промышленного комплекса // *International Journal of Professional Science*. 2018. № 4. С. 16–23.
2. ГОСТ РВ 0015-002-2020. Государственный военный стандарт. Система разработки и постановки на производство военной техники. М.: Стандартинформ, 2020. С. 34.
3. Бочкарев О.И., Тюлин А.Е., Асанова Е.А. Жизненный цикл деятельности предприятий ОПК: от фискальной экономики к мотивационной // *Экономические стратегии*. 2019. № 7. С. 6–29.
4. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы менеджмента качества. Требования. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200124394> (дата обращения: 13.04.22).
5. ГОСТ Р 56404–2021. Бережливое производство. Требования к системам менеджмента [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200179301> (дата обращения: 05.05.22).
6. Волков В.И., Голубев С.С., Щербаков А.Г. Цифровая трансформация как новый формат инновационно-технологической политики, реализуемой на предприятиях ОПК // *Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России*. 2018. № 3. С. 22–31.
7. Гунина И.А., Шкарупета Е.В., Решетов В.В. Прорывное технологическое развитие промышленных комплексов в условиях цифровой трансформации // *Инновационные кластеры цифровой экономики: теория и практика*. СПб.: ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». 2018. С. 535–554.
8. Щербаков А.Г. Организационно-экономический механизм внедрения цифровых технологий на предприятиях оборонно-промышленного комплекса России. М.: Издательство «Институт экономических стратегий», издательство «Перспектив», 2015. 176 с.
9. Чаркин Е.И. О реализации стратегии цифровой трансформации ОАО «РЖД» // *Железнодорожный транспорт*. 2020. № 2. С. 66–70.
10. Фролов Е.Б., Паршина И.С., Зайцев А.С., Климов А.С. Индустрия 4.0: «Цифровой двойник» как средство повышения эффективности производственной системы // *Научные технологии в машиностроении*. 2019. № 2 (92). С. 42–48.
11. Загидуллин Р.Р. Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP. Полная версия. Старый Оскол: Изд-во ТНТ, 2020. 416 с.
12. Указ Президента Российской Федерации от 30.03.2022 № 166 «О мерах по обеспечению технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации. [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/00011202203300001> (дата обращения: 10.04.22).
13. Гнатюк О.Л. Основы теории коммуникации: учебное пособие. 2-е изд. М.: КНОРУС, 2017. 256 с.
14. Сафронова Е.М., Гурылев О.А., Черненко Л.В. Российский рынок систем управления производством // *Наука и бизнес: пути развития*. 2020. № 12 (114). С. 70–73.
15. Харитонов Д.В., Грошев А.В., Анашкина А.А., Хамидов А.С., Русин М.Ю. Программно-аппаратный управленческий комплекс, интегрированный в производство керамических изделий // Патент РФ № 2699330 С1. Патентообладатель: ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина. заявл. 06.11.2018. Оpubл. 04.09.2019. Бюл. № 25.