

Наукоёмкие технологии в машиностроении. 2024. №4 (154). С.29-40.
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2024. №4 (154). P.29-40.

Научная статья
УДК 621.91.01; 621.9.011
doi: 10.30987/2223-4608-2024-29-40

Трансформация информационной структуры как инструмент повышения эффективности многономенклатурного производства

Юлий Львович Чигиринский¹, Д.Т.Н.
Дмитрий Вадимович Крайнев², К.Т.Н.
Жанна Сергеевна Тихонова³, К.Т.Н.

^{1, 2, 3} *Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия*

¹ julio-tchigirinsky@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5620-5337>

² krainevdv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8762-4251>

³ tikhonovazhs@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5047-0244>

***Аннотация.** Рассмотрены особенности функционирования многономенклатурного предприятия, в частности: технологической подготовки, оперативного управления и повышения эффективности производства. Освещены вопросы повышения конкурентоспособности многономенклатурного предприятия, определяющие требования к процессам управления и подготовки производства с ориентацией на обеспечение эффективной загрузки технологического оборудования, планирования работы производственных участков при сохранении высокой гибкости. Определены ключевые проблемы можно отметить: отсутствие справочно-статистической информации для расчетов и планирования применительно к условиям конкретного производства; недостаточный уровень взаимодействия между службами и производственными подразделениями; статичный подход к управлению динамической производственной системой; отсутствие эффективных каналов обратной связи, позволяющих отслеживать текущую производственную ситуацию для соответствующего анализа и выработки необходимых коррекций. Показано, что применение цифровых технологий и программных средств имеет существенный потенциал для решения задач в рассматриваемых производственных условиях. Существующие средства цифровизации позволяют значительно повысить уровень взаимодействия между подразделениями и взаимосвязь отдельных этапов подготовки и функционирования производства, доступность необходимой информации и оперативность ее передачи. Выявлены перспективы развития информационной среды предприятия в целях повышения эффективности технологической подготовки производства и оперативного управления производством. Определена необходимость наличия каналов обратной связи, позволяющих отслеживать текущую производственную ситуацию для соответствующего анализа и выработки необходимых коррекций в условиях стохастического характера производственных процессов и динамичности производства. Обоснована целесообразность интеграции в информационную среду предприятия цифровых производственных систем, построенных на базе систем адаптивного управления и наделенных технологическим интеллектом. Таким образом интеллектуализация производства требует модернизации принципов построения информационного обеспечения производственного процесса.*

Ключевые слова: информационная среда предприятия, искусственный технологический интеллект, оперативное планирование, многономенклатурное производство

Для цитирования: Чигиринский, Ю.Л., Крайнев Д.В., Тихонова Ж.С. Трансформация информационной структуры как инструмент повышения эффективности многономенклатурного производства // Наукоёмкие технологии в машиностроении. 2024. № 4 (154). С. 29–40. doi: 10.30987/2223-4608-2024-29-40

Transformation of the information structure as a tool for efficiency increase in high-variety production

Yuliy L. Chigirinsky¹, D. Eng.
Dmitry V. Krainev², Ph.D. Eng.
Zhanna S. Tikhonova³, Ph.D. Eng.

^{1, 2, 3} Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

¹ julio-tchigirinsky@yandex.ru

² krainevdv@mail.ru

³ tikhonovazhs@yandex.ru

Abstract. Characteristics of high-variety production enterprise are viewed, in particular: technological training, operational management and improvement of production efficiency. The issues of increasing the competitiveness of a high-variety production enterprise, determining the requirements for the processes of management and preparation of production with a focus on ensuring efficient loading of technological equipment, planning the operation of production sites while maintaining high flexibility, are highlighted. The key problems identified. The following ones can be noted: the lack of statistical information for calculations and planning in relation to the conditions of a particular production; insufficient level of interaction of services and production units; a static approach to managing a dynamic production system; lack of effective feedback channels that allow tracking the current production situation for appropriate analysis and giving necessary corrections. It is shown that the use of digital technologies and software has significant potential for solving problems in the considered production conditions. The existing means of digitalization make significant improvements possible in the level of interaction between departments and the interconnection of individual stages of preparation and operation of production, the availability of necessary information and quick delivery of it. The prospects for the development of the enterprise information environment for improving the efficiency of technological preparation of production and its operational management are identified. The necessity of having feedback channels that allow monitoring the current production situation for appropriate analysis and development of necessary corrections in the conditions of the stochastic nature of production processes and enterprise agility is determined. The practicability of integrating digital production systems based on adaptive management systems having technological intelligence into the information environment of an enterprise is reasoned out. Thus, the intellectualization of production requires the modernization of the principles of building information support for the production process.

Keywords: enterprise information environment, artificial technological intelligence, operational planning, high-variety production

For citation: Chigirinsky Yu.L., Krainev D.V., Tikhonova Z.S. Transformation of the information structure as a tool for efficiency increase in high-variety production / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2024. № 4 (154). P. 29–40. doi: 10.30987/2223-4608-2024-29-40

Введение

Современные экономические условия определяют необходимость комплексного развития отраслей производственной сферы. Ограничения внешней торговли и уход иностранных компаний оказали существенное влияние на развитие обрабатывающей промышленности. Несмотря на то, что обрабатывающие отрасли в период 2021 – 2023 гг. имели один из наилучших показателей роста, их динамика была достаточно нестабильной. Здесь можно отметить рост сферы ОПК за счет госзаказа и спад в сфере автомобилестроения [1, 2]. Существенное неблагоприятное воздействие на производственную деятельность оказали санкционные ограничения в отношении поставок оборудования, технологий, а

также рост стоимости материалов и комплектующих [3].

Тем не менее, рядом экспертов отмечается значимый потенциал восстановительного подъема отечественной промышленности и необходимость работы в данном направлении. Любые кризисные времена помимо вызовов предоставляют и большие перспективы для развития.

В современных условиях российская экономика сталкивается с огромным количеством вызовов. Так необходимость обеспечения собственных потребностей в области машиностроения оказала стимулирующее воздействие на развитие многономенклатурных производств.

Конструкции машин и аппаратов постоянно усложняются, объяснимым становится и необходимость обеспечения постоянно

растущих функциональных требований к отдельным деталям и их поверхностям в соответствии с современным уровнем развития науки и техники. Кроме того, все большую роль играет кастомизация продукции без потерь надежности, долговечности и ремонтпригодности. Фактически, это означает снижение серийности производства и рост удельного веса предприятий с многономенклатурным типом производства в общей структуре машиностроения [4].

Функционирование многономенклатурного производства сопряжено с такими факторами как: динамично изменяющийся спрос на продукцию и высокая динамика производства; сочетание различных типов производства; короткий жизненный цикл изделий; нехватка оборотных средств; рост производственных затрат; широкий диапазон изменения длительности производственного цикла изделий; большая доля унифицированных, нормализованных и стандартизованных деталей; наличие дискретных и непрерывных процессов; тесная связь оперативного управления производством с другими функциональными подсистемами управления предприятием. Все вышеперечисленное диктует свои требования к процессам управления и подготовки производства с

ориентацией на обеспечение эффективной загрузки технологического оборудования, планирования работы производственных участков при сохранении высокой гибкости [5].

Таким образом, решение этих вопросов является актуальным направлением работы и требует решения целого комплекса задач.

Технологическая подготовка в условиях многономенклатурного производства

Эффективность работы и конкурентоспособность машиностроительного предприятия определяется не только уровнем технологического оборудования и квалификацией рабочих, но и правильной организацией управления производственными процессами. Особенности организации устанавливает серийность производства. Каждый тип производства обуславливает построение ресурсных потоков, применяемых станков, транспортную систему и многое другое. Специфические особенности многономенклатурного производства вызывают многофакторные проблемы управления при решении задач планирования, организации и регулирования производства с оперативным реагированием и высокими требованиями к достоверности получаемых результатов (рис. 1).



Рис. 1. Проблемы технологической подготовки многономенклатурного производства

Fig. 1. Problems of technological preparation of high-variety production

Возможности предприятия по изготовлению продукции определяются наличием соответствующего технологического оборудования обеспечивающего выполнение тех или иных методов обработки и формообразования. Как правило, для обеспечения высокой гибкости производства предпочтительной альтернативой широкому станочному парку является применение комплексных станков с ЧПУ с широкими возможностями по геометрии изготавливаемых деталей и высокими точностными показателями и повторяемостью. Такие станки экономят производственные площади, имеют высокий коэффициент загрузки, могут быть достаточно легко интегрированы в единую информационную сеть предприятия, что также

создает дополнительные преимущества. Вместе с тем растет стоимость приобретения и монтажа, а также обслуживания, эксплуатации, квалификации персонала, средств программирования и моделирования.

Конкурентоспособность производства определяется не только парком оборудования и его технологическими возможностями, но и оперативностью реализации всех этапов технологической подготовки без потерь надежности производственного процесса и обеспечения требуемого качества изделий. А особенности организации производства, напрямую влияют на методологию технологической подготовки производства.

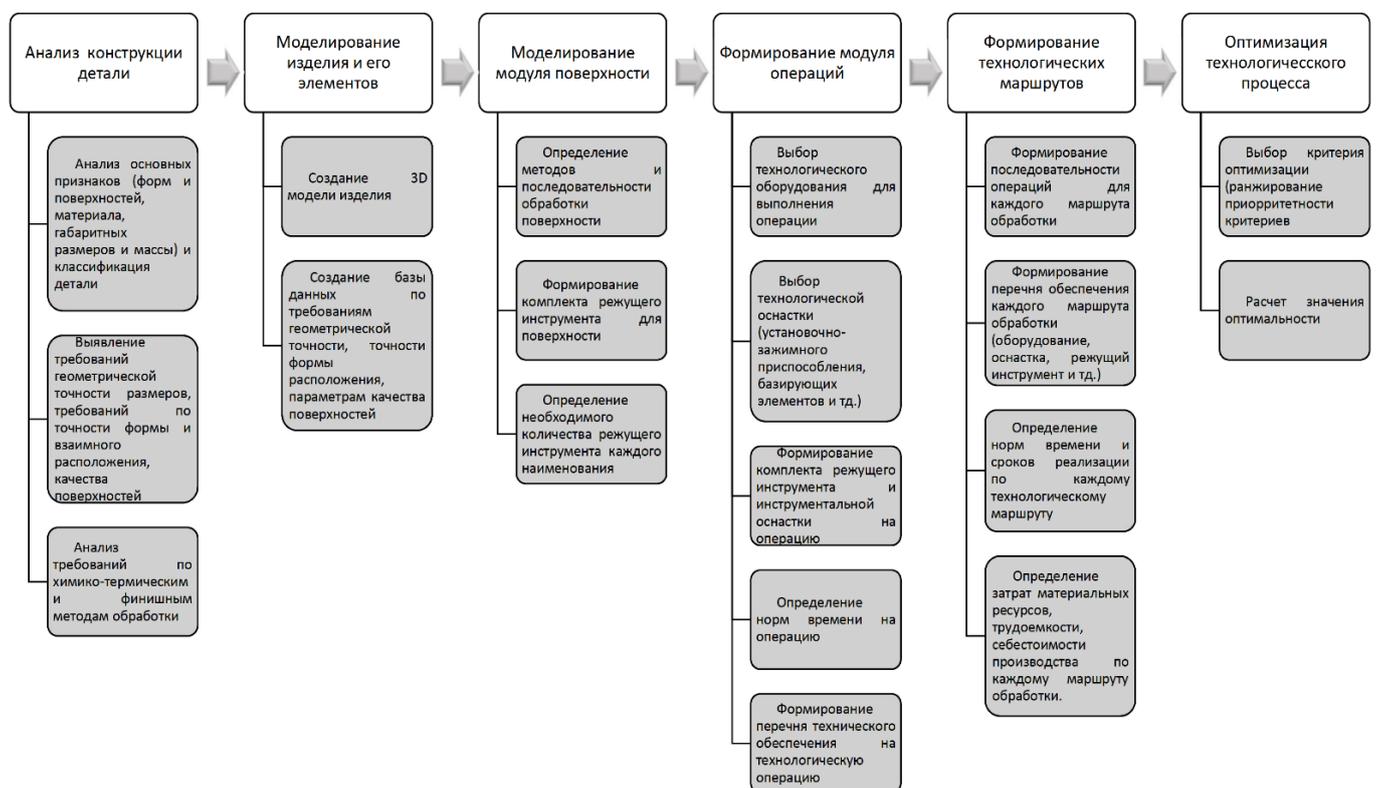


Рис. 2. Декомпозиционная схема технологической подготовки производства

Fig. 2. Decomposition scheme of technological preparation of production

В процессе технологической подготовки производства (ТПП) решаются технологические, экономические и организационные задачи, каждая из которых тесно взаимосвязана с другими. В первую очередь (рис. 2) проводится анализ конструктивных особенностей детали (требуемая точность размеров,

параметры качества поверхностей и физико-механические свойства материала детали) с целью определения технологических задач. В дальнейшем контур детали дифференцируется на модули поверхностей, для которых выбираются методы формообразования и параметры процесса обработки. Здесь также в

зависимости от типа и технических характеристик определяется перечень допустимых методов обработки каждой поверхности и применяемого / имеющегося технологического оборудования. Для каждого маршрута обработки составляются комплекты режущего инструмента и технологической оснастки. Определяются режимы резания и нормы времени. Помимо того, выявляется трудоемкость операций и загрузка станков, определяется необходимое количество и разновидности оборудования, количество и квалификацию работников, устанавливаются нормы расхода материалов и многое другое.

Невысокая серийность выпуска продукции в условиях многономенклатурного производства сказывается на существенной доли затрат на технологическую подготовку, которые могут достигать до 25 % от себестоимости изготовления [6]. В общем объеме затрат на технологическую подготовку до 80 % составляют затраты связанные с проектированием и изготовлением специальной технологической оснастки (40 % – проектирование, 60 % – изготовление), 5 % составляют затраты, связанные с решением общих вопросов, 5 % составляют затраты на проектирование технологических процессов, 7 % – затраты на управление ТПП, 3 % – затраты на программирование и настройку программных средств [7].

Возможные варианты реализации обработки формируют некоторую сетевую структуру маршрутного технологического процесса, по которой производится оптимизация и определяется маршрут обработки согласно выбранных критериев [8].

Оптимизация требует систематизации, организации хранения, обновления, поиска и актуализации технических и экономических данных, а также их интеграции. Многовариантность технологии обработки детали и необходимость достижения различных взаимно противоречивых целей в процессе изготовления изделия обосновывает использование комплексных критериев оптимизации, выражаемых целевой функцией с регулируемыми весовыми коэффициентами, значения которых определяются текущими целями и задачами предприятия [9, 10]. Сложность формализации

технологического процесса и отдельных операций определяют необходимость наработки технологической информационной базы данных в условиях конкретного предприятия.

Немаловажным вопросом является организация эффективной системы оперативного управления в связи с необходимостью учета динамики спроса и динамики производства. Такая система должна обладать гибкостью к динамике номенклатуры и объемов выпуска; исключать укрупненные и условные планово-учетные единицы; обеспечивать высокую точность оперативных плановых заданий и согласованность целей и показателей на отдельных периодах для различных структурных подразделений; вести подетальный оперативно-производственный учет; осуществлять регулярный контроль, анализ и регулирование производства [11]. Более того, оперативная система управления для различных типов производства (единичного, мелко-, средне- и крупносерийного) должна строиться на единой методологической основе, с едиными алгоритмами и моделями.

Высокая загрузка персонала, оборудования, сложности синхронизации операций в рамках маршрута обработки, увеличение сроков выполнения задач на каждом этапе ведет к росту длительности изготовления изделий в условиях многономенклатурного производства. Кроме того, в процессе производства часто возникает необходимость корректировок, что еще больше усложняет технологическую подготовку производства.

Одной из ключевых проблем, снижающих эффективность производства, становятся непроизводственные потери, связанные с выполнением работы не предусмотренной производственным заданием, но вызванной производственной необходимостью.

В качестве главной причины непродуктивных потерь отмечается необходимость согласования требований технологического процесса и текущих производственных условий. Зачастую производственные подразделения применительно к текущей ситуации и на основе своей квалификации заменяют технологическое оборудование и оснастку, схему базирования, а также режущий инструмент и режимы

обработки, что может вести к появлению брака [12].

Следует отметить, что к браку может вести не только недостаточная компетентность производственных, но и технологических подразделений, а также низкий уровень взаимодействия между ними. Кроме того, нарушается график выпуска продукции и затрудняется планирование, учет, контроль, анализ и регулирование производства и в итоге сбалансированность целей и показателей результативности деятельности предприятия, оперативное управление производственными запасами и затратами. Важность вопросов оперативного управления, учета и управления незавершенного производства подтверждается и работами авторов [13].

Таким образом, в качестве ключевых проблем можно отметить: отсутствие справочно-статистической информации применительно к условиям конкретного производства; недостаточный уровень взаимодействия между службами и производственными подразделениями; статичный подход к управлению производством, являющимся динамической системой; отсутствие эффективных каналов обратной связи, позволяющих отслеживать текущую производственную ситуацию для соответствующего анализа и выработки необходимых коррекций.

Цифровые средства повышения эффективности функционирования многономенклатурного производства

К настоящему времени созданы и функционируют технологии, имеющие достаточный потенциал для решения указанных проблем, в частности в условиях многономенклатурного производства.

Одним из перспективных направлений развития производственной сферы, реализуемых на государственном уровне, является цифровизация. Концепция «цифрового производства» изложенная в рамках государственной программы «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности», утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 года № 328,

предполагает, что интеллектуализация производственных систем на основе современных информационных технологий станет одним из основных факторов повышения конкурентоспособности российских промышленных предприятий [14].

На современных машиностроительных предприятиях широко используются такие цифровые решения как САПР, объединяющие CAD/CAE/CAM и PDM-системы (рис. 3). Последние осуществляют управление проектными данными инженерно-технической информации на всех этапах проектирования и координируют работу CAD/CAE/CAM систем. Управление массивами данных на всех этапах жизненного цикла изделия осуществляют PLM-системы. Они же обеспечивают интеграцию не только САПР, но и MES, ERP, PDM, SCM, CRM и других автоматизированных систем [15].

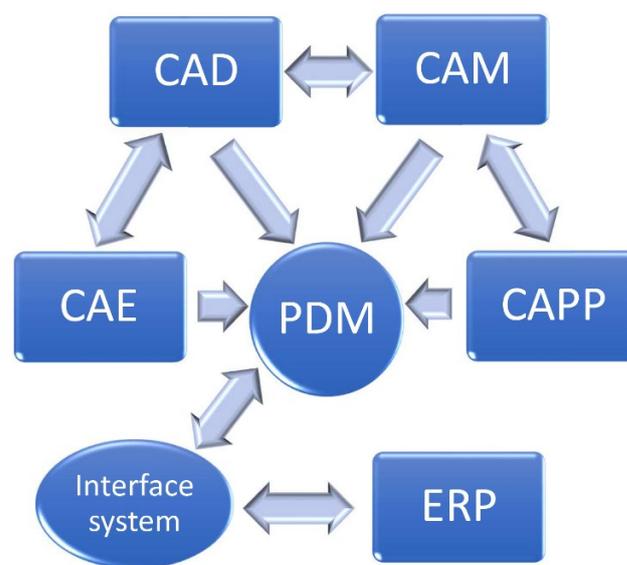


Рис. 3. Схема взаимодействия модулей информационной среды функционирования производства

Fig. 3. Scheme of interaction of modules of the information environment of production performance

В настоящее время достаточно четко прослеживается тенденция интеграции изначально специализированных CAD/CAE/CAM систем в единую среду создания изделия «от идеи до реализации», что функционально должно обеспечить решение таких задач как:

планирование, проектирование, проведение изменений и архивация. Это означает снижение ресурсоемкости и трудоемкости проведения проектно-конструкторских работ, а также повышение производительность труда и в итоге прибыль организации [16].

Одним из примеров практической реализации описанной выше концепции является САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ, в которой на основе импортированной модели изделия создается комплексная структурно-графическая база данных технологического процесса [17], что позволяет связать цифровую модель изделия с технологическим маршрутом ее изготовления и механическими переходами технологического процесса. Теоретической основой создания данной системы стали разработки профессора Базрова Б.М. [18].

В рамки концепции единой информационной автоматизированной среды укладывается и совершенствование математического и методического аппарата конструкторского и размерного анализа изделия, позволяющие системе автоматизированного планирования технологических процессов выбирать рациональные технологии изготовления [19].

Разработанные программные средства помогают решать и задачи планирования, направленные на снижение производственных затрат за счет исключения простоя оборудования. Для составления расписаний как всего производства, так и отдельных производственных подразделений (цеха и участки) применяются системы планирования и обеспечения производственного процесса (APS, MES, ERP). К сожалению, перечисленные средства не лишены определенных недостатков. Функциональные алгоритмы данных систем имеют эвристический характер и зачастую не учитывают транспортные операции, а также переналадку оборудования, регулирование режимов обработки или настройку исполнительного размера и др. Как следствие разработанные планы-графики и производственное расписание будет с высокой вероятностью нарушаться [20].

Таким образом, существующие средства цифровизации позволяют существенно

повысить уровень взаимодействия отдельных этапов подготовки и функционирования производства, доступность необходимой информации и оперативность ее передачи, но для комплексного решения задачи повышения эффективности предприятия необходимо соответствующее информационное обеспечение.

В качестве информационного обеспечения при технологической подготовке традиционно используются справочные данные, сведенные в табличные логические модели. Классическим примером тому являются таблицы достижимой экономической точности обработки, которые охватывают наиболее распространенные методы обработки и содержат сведения о точности размеров, шероховатости поверхности и величине дефектного слоя. На этом принципе основываются основные справочные и учебные материалы для технологических специальностей. Табличные базы не требуют значительных объемов хранилищ, являются доступными и не вызывают затруднений в работе, однако не лишены определенных недостатков.

Прежде всего, не учитывается стохастический характер процесса обработки, фактор технологической наследственности (фактически не учитывается предыдущие операций, в том числе изменение параметров поверхностного слоя детали) и зависимость результатов обработки от технологических возможностей конкретного производства. Названные проблемы требуют существенного расширения объема информационной базы и, в ряде случаев, модернизации логической структуры информационных массивов.

Все вышеперечисленное выступает предпосылкой изменения принципов построения информационного обеспечения ТПП. Одним из наиболее перспективных направлений является технологию хранения и обработки больших объемов информации с использованием гибридных многомерных информационных HOLA-структур, что позволяет упростить переход к оптимальному проектированию с использованием вероятностных таблиц точности обработки. Кроме того, единый информационный массив может

расширяться за счет наработки данных в рамках конкретного предприятия на основе анализа существующих и создаваемых методов обработки. Тем самым наработывается информационное обеспечение, актуализированное применительно к условиям конкретного производства и определяющее высокую надежность и достоверность сформированных моделей [9].

Это требует наполнения информационных структур данными непосредственно с производства (участков, операций и т. д.). Существенно облегчают решение данной задачи цифровые измерительные средства, современные модели которых позволяют работать с поддержанием технологии беспроводной передачи данных не только между прибором и компьютером, но и между отдельными приборами. Подобные возможности закономерно ведут к эволюции производственных систем измерения и контроля, а также учета измерительной информации. Однако даже эти средства не позволяют в полной мере обеспечить сплошной контроль изделия на всех этапах производства.

Кроме того, некоторые характеристики как выпускаемых изделий или же, например режущего инструмента требуют использования разрушающих методов контроля, что в условиях производства не всегда является приемлемым.

Вместе с тем контроль и измерения требуются и при выполнении технологических операций с целью обеспечения формирования требуемых параметров изделия в установленном допуске. Характер же большинства процессов обработки существенно ограничивают использование прямых измерений, в отличие от косвенных измерений. Это позволяет не только выполнять мониторинг хода технологической операции, но и строить системы адаптивного управления, в том числе на базе технологического оборудования с ЧПУ.

Иначе говоря, естественное развитие производственного оборудования до уровня цифровых технологических систем [21], обладающих определенной степенью автономности за счет приобретения

«технологического интеллекта» [22] позволяет не только решить задачу повышения эффективности операций, но и информировать о длительности, динамике технологических операций вышестоящие системы управления производством. Таким образом, цифровое производство должно опираться на разработки, связанные с применением адаптивного управления производственными процессами» [15].

Цифровые производственные системы, как следующий этап развития систем адаптивного управления и обладающие технологическим интеллектом, должны строиться на информационных каналах мониторинга процесса резания, применимых в производственных условиях и не требовать существенного изменения принципов построения технологического оборудования.

Поскольку в условиях реального производства в качестве информационных каналов отслеживания хода процесса обработки при вышеописанных условиях могут быть использованы косвенные характеристики (измерения термо-ЭДС, динамометрические, виброакустические измерения), то повышение уровня надежности системы возможно за счет их интеграции и совместного анализа. Кроме того, это требует накопления информационного массива данных в памяти с целью обучения и развития системы. Коррекцию же режимов резания целесообразно построить в виде многоуровневой поэтапной оптимизации в соответствии с требуемыми характеристиками результата обработки [23].

Расширение возможностей технологического оборудования с ЧПУ за счет установки модуля адаптивного управления и интеграция производственной системы в информационную сеть позволяет изменить порядок технологической подготовки и оперативного управления производственным подразделением (рис. 4).

Получив производственное задание, включающее параметрическую цифровую модель изделия, объем выпуска и прочую информацию о технологическом оборудовании, оснастке и инструменте и т. д., технолог с помощью соответствующих программных

средств (CAM, CAPP) может разработать по-операционный маршрут обработки, управляющие программы для требуемых станков с ЧПУ и распределить технологические задания по подразделениям. После укомплектования и настройки занятых производственных единиц оборудования операторами ими же осуществляется контроль выполнения обработки. При штатном режиме работы с цифровой производственной системы по каналам обратной связи поступает информация о динамике и длительности технологической операции, которая учитывается в MES и других производственных системах более высокого уровня. В случае выхода за допустимую

область регулирования режимов обработки адаптивная система сообщает оператору о невозможности обеспечения требований и необходимости корректировки технологической операции (изменении схемы базирования, последовательности обработки и т. д.) для передачи информации технологу.

Это позволяет не только сократить длительность этапа технологической подготовки, накопить базу технологической информации применительно к данному производству, но и повысить эффективность оперативного управления.

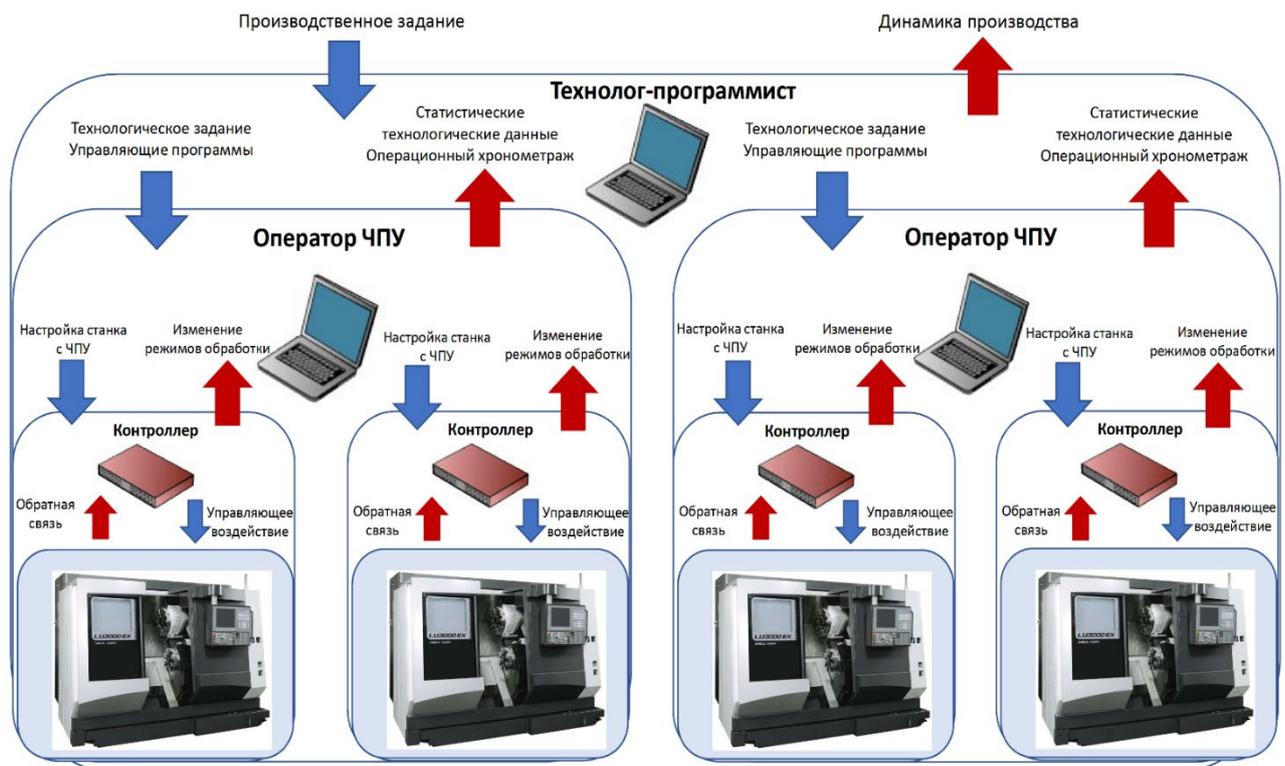


Рис. 4. Схема взаимодействия цифровой производственной системы с информационной средой предприятия

Fig. 4. Scheme of interaction of the digital production system with the information environment of the enterprise

Выводы

Функционал современных программных средств обеспечения организации и планирования промышленного производства имеет существенный потенциал развития за счет включения в информационную среду

предприятия основного обрабатывающего оборудования

Повышение эффективности производства на современном этапе развития отечественного машиностроения требует глубокой модернизации принципов построения информационного обеспечения производственного процесса, в том числе, в отношении идей

«Индустрии 4.0» и расширения функциональных возможностей основного оборудования металлообрабатывающих производств – в плане «интеллектуализации» систем ЧПУ и, в частности, развития систем адаптивного управления процессами обработки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Промышленное** производство в России. 2023: Стат.сб. / Росстат. М.: 2023. 259 с.

2. **Тенденции** развития и модернизация промышленности регионов России. Итоги 2022 года // Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова. URL: <https://www.рэу.рф/~file/44385/Тенденции+развития+i+модернизации+промышленности+регионо в+России+выпуск+4.pdf> (дата обращения: 04.02.2024)

3. **Кузнецов С.В., Горин Е.А.** Промышленность макрорегиона «Северо-Запад»: адаптация к новым реалиям // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. 2023. № 3 (74). С. 17–23. DOI 10.52897/2411-4588-2023-3-17-23. EDN QAIQLS.

4. **Капитанов А.В., Митрофанов В.Г.** Анализ закономерностей развития переналаживаемых производственных систем многономенклатурного производства // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2016. № 5(184). С. 61–66. EDN VYWZWP.

5. **Вороненко В.П., Седых М.И., Шашин А.Д.** Проблемы проведения технологической подготовки производства в многономенклатурном производстве // Инновационные технологии в металлообработке: Всероссийская научно-практическая заочная конференция с международным участием: сборник научных трудов (посвящается 90-летию Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, д.т.н., профессора Л.В. Худобина), Ульяновск, 25 ноября 2018 года / Ответственный редактор Н.И. Веткасов. Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2019. С. 326–330. EDN BBCRNJ.

6. **Анализ** существующих методов технической подготовки мелкосерийного производства <http://pereosnastka.ru/> (Анализ существующих методов технической подготовки мелкосерийного производства – Совершенствование производства (pereosnastka.ru)) (дата обращения: 06.02.2024).

7. **Костюков В.Д., Сычев В.Н., Селиверстов А.И., Цырков А.В.** Проектирование технологической подготовки производства // Системы проектирования,

технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM - 2010): ТРУДЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Москва, 19–21 октября 2010 года. М.: ООО «Аналитик», 2010. С. 293–297. EDN TCTVTT.

8. **Хрусталева И.Н., Любомудров С.А., Романов П.И.** Автоматизация технологической подготовки единичного и мелкосерийного производства // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2018. Т. 24, № 1. С. 113–121. DOI 10.18721/JEST.240111. EDN YUJEKA.

9. **Чигиринский Ю.Л.** Информационная структура маршрутного технологического проектирования // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2019. № 8 (98). С. 41–48.

10. **Селиванов С.Г., Гаврилова О.А.** Методы оптимизации технологических процессов в авиадвигателестроении // Information Technologies for Intelligent Decision Making Support ITIDS'2015 : Proceedings of the 3rd International Conference, Ufa, 18–21 мая 2015 года / General Chair Woman: Yusupova Nafisa. Том 1. Ufa: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2015. С. 188–193. EDN VKSKSR.

11. **Коновалова Г.И.** Концепция формирования конкурентоспособности машиностроительного предприятия в условиях жесткой рыночной конкуренции // Организатор производства. 2019. Т. 27, № 3. С. 92–101. DOI 10.25987/VSTU.2019.42.50.008. EDN NYWRLZ.

12. **Долгов В.А.** Повышение эффективности многономенклатурного машиностроительного производства путем адаптации работ технологического процесса к текущему состоянию технологической системы // Вестник МГТУ «Станкин». 2011. № 3(15). С. 83–87. EDN NWDWHR.

13. **Галимов М.Р., Якимович Б.А.** Постановка задачи применения показателя конструктивно-технологической сложности для управления затратами незавершенного производства // Вестник Ижевского государственного технического университета. 2006. № 3(31). С. 107–108. EDN KAUNMT.

14. **Программа** «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденная правительством РФ от 28 июля 2017 г. №1632-р. URL:<http://www.government.ru/docs/28653/> (дата обращения: 03.02.2024).

15. **Вороненко В.П., Шашин А.Д.** От адаптивного управления станочным оборудованием до адаптивного цифрового управления механообрабатывающим участком //

Вестник РГАТА имени П. А. Соловьёва. 2018. № 2(45). С. 66–73. EDN URVKIV.

16. **Воробьев А.М., Щеглов Д.К., Данилова Л.Г. и др.** Концепция создания единой среды проектирования, как первый этап обеспечения жизненного цикла изделий. Опыт ОАО «КБСМ» // Журнал CADmaster, № 2(42). М.: Нанософт, 2008. С. 16–20.

17. **Вертикаль.** Система автоматизированного проектирования технологических процессов (2023) URL : <https://ascon.ru/products/vertikal/> (дата обращения: 06.02.2024)

18. **Базров Б.М.** Модульная технология в машиностроении. М.: Машиностроение, 2001. 368 с.

19. **Назарьев А.В., Бочкарев П.Ю., Митин С.Г.** Формализация стратегии выявления критичных требований к сборке при проведении технологической подготовки многономенклатурных машиностроительных производств // Научные технологии в машиностроении. 2022. № 10(136). С. 42–48. DOI 10.30987/2223-4608-2022-10-42-48. EDN BOTNWO.

20. **Загидуллин Р.Р.** Влияние подналадки на точность планирования в системах классов APS, MES // Станкостроение и инновационное машиностроение. Проблемы и точки роста: Мат. Всерос. науч.-технич. конф., Уфа, 26–28 февраля 2019 года. Уфа: «Уфимский государственный авиационный технический университет», 2019. С. 133–139. EDN SJVJHU.

21. **Ингеманссон А.Р.** Основные положения методологии технологической подготовки производства и адаптивного управления в цифровых производственных системах для механической обработки // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2021. № 1 (248). С. 15–18. DOI :10.35211/1990-5297-2021-1-248-15-18.

22. **Плотников А.Л., Чигиринский Ю.Л., Тихонова Ж.С. и др.** Как научить систему ЧПУ решать технологическую задачу по выбору надёжных значений параметров процесса металлообработки // Научные технологии в машиностроении. 2022. № 3(129). С. 32–39. DOI 10.30987/2223-4608-2022-3-32-39. EDN UCREPT.

23. **Чигиринский Ю.Л., Крайнев Д.В., Фролов Е.М.** Цифровизация машиностроительного производства: технологическая подготовка, производство, прослеживание // Научные технологии в машиностроении. 2022. № 8 (134). С. 39–48. DOI : 10.30987/2223-4608-2022-8-39-48.

REFERENCES

1. Industrial production in Russia. 2023: Collection of papers / Rosstat. Moscow: 2023, 259 p.

2. Trends in the development and modernization of industry in the regions of Russia. 2022 year in review // Plekhanov Russian University of Economics. URL: <https://www.reu.ru/~file/44385/Trends+and+development+and+modernization+of+industries+and+regions+Russia+issue+4.pdf> (accessed on 02/04/2024)

3. Kuznetsov S.V., Gorin E.A. Industry of the macro-region «North-West»: adaptation to new realities // The economy of the North-West: problems and prospects of development, 2023, no. 3 (74), pp. 17–23. DOI 10.52897/2411-4588-2023-3-17-23. EDN QAIQLS.

4. Sokolov A.Yu. Improving the organization and planning of single and small-scale production in the conditions of using CNC machines: Dissertation PhD in Economics: 08.00.05 / Author Alexey Yurievich Sokolov. Moscow, 1984. 189 p.

5. Voronenko V.P., Sedykh M.I., Shashin A.D. Problems of technological preparation of production in high-variety production // Innovative technologies in metalworking: All-Russian scientific and practical correspondence conference with international participation: collection of scientific papers (dedicated to the 90th anniversary of the Honored Worker of Science and Technology of the RSFSR, Doctor of Technical Sciences, Professor L.V. Khudobina), Ulyanovsk, November 25, 2018 / Responsible editor N.I. Vetkasov. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Technical University, 2019. pp. 326–330. EDN BBCRNJ.

6. Analysis of existing methods of technical preparation of small-scale production <http://pereosnastka.ru/> (Analysis of existing methods of technical preparation of small-scale production - Improvement of production (pereosnastka.ru)) (accessed on 02/06/2024)

7. Kostyukov V.D., Sychev V.N., Seliverstov A.I., Tsytkov A.V. Designing technological preparation of production // Systems of design, technological preparation of production and management of stages of the life cycle of an industrial product (CAD/CAM/PDM - 2010): Proc. of the International Conference, Moscow, October 19-21, 2010. Moscow: LLC «Analyst», 2010. pp. 293–297. EDN TCTBTT.

8. Khrustaleva I.N., Lyubomudrov S.A., Romanov P.I. Automation of technological preparation of single and small-scale production // Scientific and technical bulletin of SPbPU. Natural and engineering sciences. 2018, vol. 24, No. 1. pp. 113–121. DOI 10.18721/JEST.240111. EDN YUJEKA.

9. Chigirinsky Yu.L. Information structure of route technological design // Science intensive technologies in mechanical engineering. 2019, no. 8 (98), pp.41–48.

- 10.Selivanov S.G., Gavrilova O.A. Methods of optimization of technological processes in aircraft engine building // Information Technologies for Intelligent Decision Making Support ITIDS'2015 : Proceedings of the 3rd International Conference, Ufa, May 18-21, 2015 / General Chair Woman: Yusupova Nafisa. Volume 1. Ufa: Ufa State Aviation Technical University, 2015. pp. 188–193. EDN VKSKSR.
- 11.Konovalova G.I. The concept of forming the competitiveness of a machine-building enterprise in conditions of tough market competition // Organizer of production. 2019. Vol. 27, No. 3. pp. 92–101. DOI 10.25987/VSTU.2019.42.50.008. EDN NY-WRLZ.
- 12.Dolgov V.A. Improving the efficiency of high-variety machine-building production by adapting the work of the technological process to the current state of the technological system // Bulletin of MG TU «Stankin», 2011, no. 3(15), pp. 83–87. EDN NWDWHR.
- 13.Galimov M.R., Yakimovich B.A. Statement of the problem of applying the indicator of constructive and technological complexity to manage the costs of work in progress // Bulletin of Izhevsk State Technical University. 2006, no. 3(31), pp. 107–108. EDN KAUNMT.
- 14.The program «Digital Economy of the Russian Federation», approved by the Government of the Russian Federation dated July 28, 2017 No.1632-R. URL:<http://www.government.ru/docs/28653> / (accessed on 02/03/2024).
- 15.Voronenko V.P., Shashin A.D. From adaptive control of machine tools to adaptive digital control of a machining site // Bulletin of the Russian State Technical University named after P. A. Solov'yov. 2018, no. 2 (45), pp. 66–73. EDN URVKIV.
- 16.Vorobyov A.M., Shcheglov D.K., Danilova L.G., et. al The concept of creating a unified design environment as the first stage of ensuring the life cycle of products. The experience of JSC «KBSM» // CADmaster Magazine, No. 2(42). Moscow: Nanosoft, 2008, pp. 16–20.
- 17.Vertical. Computer-aided design of technological processes (2023) URL : <https://ascon.ru/products/vertikal/> (accessed on 02/06/2024)
- 18.Bazrov B.M. Modular technology in mechanical engineering. Moscow: Mashinostroenie, 2001, 368 p.
- 19.Nazariev A.V., Bochkarev P.Y., Mitin S.G. Formal characterization of the strategy for identifying critical assembly requirements when staging multipart machinery productions // Science intensive technologies in mechanical engineering, 2022, no. 10(136), pp. 42–48. DOI 10.30987/2223-4608-2022-10-42-48. EDN BOTHWO.
- 20.Zagidullin R.R. Influence of the metal-cutting equipment corrective adjustment on planning accuracy in class systems APS and MES // Machine tool construction and innovative mechanical engineering. Problems and growth points: Maths All-Russian Scientific and Technical Conference, Ufa, February 26-28, 2019. Ufa: Ufa State Aviation Technical University, 2019, pp. 133–139. EDN SJVJHU.
- 21.Ingemansson A.R. The main provisions of the methodology of technological preparation of production and adaptive management in digital production systems for mechanical processing // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2021, no. 1 (248), pp. 15–18. DOI :10.35211/1990-5297-2021-1-248-15-18.
- 22.Plotnikov A.L., Chigirinsky Yu.L., Tikhonova Zh.S., et al. How to teach a CNC system to solve a technological problem of choosing reliable values of the parameters of the metalworking process // Science intensive technologies in mechanical engineering, 2022, no. 3(129), pp. 32–39. DOI 10.30987/2223-4608-2022-3-32-39. EDN UCRIPT.
- 23.Chigirinsky Yu.L., Krainev D.V., Frolov E.M. Digitalization of machine-building production: technological preparation, production, control // Science-intensive technologies in mechanical engineering, 2022, no. 8 (134), pp. 39–48. DOI: 10.30987/2223-4608-2022-8-39-48

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 16.02.2024; одобрена после рецензирования 26.02.2024; принята к публикации 05.03.2024.

The article was submitted 16.02.2024; approved after reviewing 26.02.2024; assepted for publication 05.03.2024.