

УДК 621.7/9:658.522-523

DOI: 10.22213/2413-1172-2023-3-67-74

Оценка возможности автоматизации формирования технологических процессов в мелкосерийном производстве

Д. А. Девятков, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

А. А. Чернова, доктор технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Работа посвящена поиску путей решения актуальной проблемы отсутствия удобного инструментария с функциональными возможностями системы автоматизированного проектирования маршрутных технологических процессов, адаптированного под мелкосерийное производство. Приведена оценка потенциальной возможности автоматизации формирования технологических процессов в мелкосерийном производстве посредством оценки эффективности и целесообразности автоматизации ключевых этапов проектирования технологической подготовки производства, таких как выбор оборудования, режимов резания, заготовки, режущего и измерительного инструмента и оснастки. Рассмотрены и охарактеризованы ключевые этапы разработки технологического процесса, такие как выбор технологических баз, типа заготовки и оборудования, формирование маршрутного техпроцесса, расчет режимов резания, выбор припусков и др. Показана актуальность и необходимость анализа подходов к автоматизации и их корректной адаптации к производственным потребностям для достижения максимальной эффективности и экономии ресурсов для мелкосерийного производства, а также высокая актуальность для мелкосерийного производства автоматизации формирования маршрутных технологических процессов. При этом в работе показано отсутствие автоматизированных систем, адаптированных под специфику мелкосерийных производств.

Проанализированы существующие подходы к формированию этапов, а также рассмотрены возможные методы автоматизации этапов и существующие ограничения данных методов, дана оценка эффективности рассмотренных подходов. Приведен анализ методов автоматизации отдельных этапов технологической подготовки производства и дана оценка эффективности рассмотренных подходов. Предложена оригинальная концепция решения задачи автоматизации для мелкосерийных производств за счет применения сочетания ограниченного количества типовых решений, представленных в виде некоторого набора технологических параметров или базы знаний с индивидуальными адаптированными под особенности предприятий и отрасли, показана потенциальная эффективность данного подхода.

Ключевые слова: технологическая подготовка производства, технологический процесс, автоматизация, ключевые этапы работы с изделием, маршрутный техпроцесс.

Введение

В настоящее время автоматизация является одним из наиболее востребованных направлений [1–4] модернизации производственных процессов в промышленности. Внедрение автоматизированных систем позволяет повысить эффективность производства и качество продукции, сократить временной цикл производства.

Одной из наиболее трудоемких производственных процедур является составление/формирование технологических процессов (ТП), в силу чего автоматизация технологической подготовки производства, в том числе и формирования ТП [5–12], остается востребованной и актуальной задачей.

Исторически [13] существует два принципиальных подхода к формированию концепции автоматизированного проектирования:

1. Разработка систем автоматизированного проектирования и систем автоматического управления для конкретного заказчика с встраиванием в нее строго заданного станочного парка и учетом в данной системе уже сформированных производственных циклов (западная модель формирования САПР ТП). Применение данного подхода обуславливает высокую степень автономности и уникальности конкретных решений при необходимости последующего формирования общих для отрасли баз знаний (не включающим в себя новых и уникальных технологий) и построением унифицированных оболочек для обращения к данным базам.

2. Разработка система автоматизированного проектирования с опорой на отраслевые стандарты и нормативные документы (отечественная модель формирования САПР ТП). Использование данного подхода, с одной стороны,

приводит к развитию теории групповых технологических подходов и унифицированных методик проектирования ТП, с другой – обуславливает развитие технологической науки строго на основе единой системы нормирования и единой системы технологической документации. Необходимо отметить, что с годами стандарты, регламенты и требования устаревают, и это приводит к стагнации отраслевой науки и последующей регрессии теоретического аппарата.

В настоящее время наблюдается активный рост сегмента малого и среднего бизнеса, ориентированного на проектирование и разработку уникальных и специализированных конечных изделий, то есть выпускающего мелкосерийную продукцию [14]. В силу этого актуальной проблемой [15] является отсутствие удобного инструментария с функциональными возможностями системы автоматизированного проектирования маршрутных технологических процессов, адаптированного под мелкосерийное производство. Данный инструментарий может быть построен на основе принципа формализации проектирования с включением возможности накопления технологической информации для ее последующего использования.

Целью данной работы является оценка потенциальной возможности автоматизации отдельных этапов технологической подготовки производства: выбор оборудования, режимов резания, заготовки, режущего и измерительного инструмента и оснастки.

Оценка потенциальной возможности автоматизации технологической подготовки производства

Согласно [16] обобщенная последовательность задач автоматизации проектирования технологических процессов для единичного и мелкосерийного производства сводится к непосредственной автоматизации проектирования маршрутно-операционной технологии. То есть для мелкосерийных производств [17] под автоматизированной системой проектирования технологической подготовки производства укрупненно можно понимать удобный инструментарий с функциональными возможностями системы автоматизированного проектирования маршрутных технологических процессов.

Несмотря на определенную специфику мелкосерийного производства, стадии технологической подготовки производства в общем случае соответствуют стадиям, принятым в технологии машиностроения [18]. Рассмотрим особенности каждого из этапов технологической подготовки

производства, в том числе проведем оценку потенциальной возможности их автоматизации.

Выбор заготовки. Выбор заготовки – это важная часть процесса проектирования и изготовления деталей (металлопродукции или другого материала), что влияет на качество и стоимость изделий. Как правило, выбор заготовки осуществляется с помощью одного из следующих подходов.

а) Анализ по типам поверхностей, размерам и другим характеристикам заготовки-аналога для выбора из базы схожих готовых заготовок, где прописаны основные параметры и характеристики заготовки. В рамках данного подхода решаются такие задачи, как определение типа поверхности и размера заготовки с учетом требований к покрытию и типу материала; выбор из существующей базы заготовок наиболее удовлетворяющего всем требованиям аналога.

б) Анализ загруженной заготовки для выбора сорта проката и выбора материала. В этом случае учитываются специфические требования к материалу и его свойствам, что может повлиять на технологический процесс и стоимость производства. В рамках данного подхода решаются такие задачи, как анализ характеристик загруженной заготовки в терминах геометрии, требуемой прочности, толщины и других параметров; определение типа материала, соответствующего требованиям изделия, а также доступность и стоимость проката; анализ и оценка влияния выбранного материала на технологический процесс, стоимость изготовления и долговечность готового изделия.

Применение того или иного подхода к выбору заготовок обусловлено конкретными производственными задачами. Однако необходимо отметить, что подход (б) позволяет обеспечить повышенную точность изготовления конечного изделия.

Для подхода (а) возможна полная автоматизация процесса выбора заготовки при условии использования стандартных заготовок. Данная автоматизация позволит сократить время на выбор стандартных заготовок для изделия при незначительных требованиях к системе.

Для подхода (б) необходимо введение дополнительных критериев, отражающих специфичность изделия, что усложняет структуру автоматизированной системы выбора заготовок и снижает надежность работы алгоритма в целом.

Для мелкосерийного производства [19] характерно регулярное изменение размерного ряда изделий, а также конструктивного исполнения элементов и непосредственно материала

изделия. В совокупности это требует симбиоза применения технологий компьютерного зрения и искусственного интеллекта для выбора типа заготовки каждого конкретного изделия [20].

Выбор технологических баз (базирование).

Выбор базирования изделия важен для обеспечения точности и стабильности процесса производства. Известны следующие подходы к определению оптимальных технологических баз.

а) Поиск схожих элементов, поверхностей и типов деталей в базе данных и применение требований, указанных на чертежах для анализа пригодности этих параметров для текущего изделия.

б) Использование готовых заготовок из базы, к которым уже прописаны/сформированы основные операции и их составляющие.

в) Градация базовых поверхностей: определение, вариантов базирования, которые доступны для каждого уровня ответственности (черновая обработка – использует не точные, но приемлемые базировки для начала обработки; чистовая обработка – начинается с черновой поверхности и переходит к более точным параметрам для завершения изделия и ограничения при использовании чистовых поверхностей).

Частичная или полная автоматизация процесса выбора технологических баз возможна для простых изделий, содержащих небольшой набор базовых поверхностей. Кроме того, при формировании единой базы знаний ранее обработанных деталей-аналогов, включающей подробную технологическую документацию (в том числе и набор выбранных для деталей-аналогов технологических баз), возможен автоматизированный поиск и анализ существующих решений. Для сложных и специфичных изделий, в которых присутствует большое количество рабочих поверхностей или используются сложные геометрические формы, невозможно или частично (в малой степени) возможно автоматизировать процесс выбора базирования изделия. Это связано с тем, что не все критерии можно четко привязать к конкретному варианту выбора базы, при этом необходимо добавлять новые критерии для каждого нового изделия.

Выбор маршрута. Процесс выбора маршрута для производства включает ряд факторов, обеспечивающих соответствие полученных деталей техническим требованиям, а также оптимизацию операционных и контрольных операций [21].

• Изучение чертежа и технических требований изделия. При анализе чертежа и спецификаций (шероховатости, твердости, ГОСТ, ОСТ,

внутренние стандарты и др.) необходимо определить ключевые характеристики и требования к детали. Это может предполагать добавление дополнительных операций для соответствия нужным параметрам.

• Определение возможности отправки операций на сторону. Создание базы возможных операций или оборудования, доступных на стороннем предприятии. При создании слоев обработки или при считывании с чертежа требований появляется возможность передачи части операций на аутсорсинг.

• Создание ограничений для промежуточных этапов. Необходим учет ограничений, обусловленных дополнительной обработкой (например, закалка, гальваническое покрытие, воронение и др.) для обеспечения отсутствия отклонения выполняемых этапов маршрутного техпроцесса от установленных стандартов и норм.

• Внедрение контрольно-измерительных операций для контроля и валидации качества деталей на протяжении всего производственного процесса.

• Обеспечение возможности применения различных вариантов обработки. Предоставление вариантов обработки с различными параметрами, такими как время обработки, загрузка оборудования, стоимость и точность, необходимо для решения задачи оптимизации маршрута по таким параметрам, как затраты, ресурсы и требования к качеству.

Возможна как полная, так и частичная автоматизация построения маршрута, однако согласно [22] именно автоматизация построения маршрутного технологического процесса является наиболее сложно реализуемым этапом в построении САПР ТП, особенно для мелкосерийного производства. Поскольку при формировании маршрутного ТП необходимо учитывать значительное число критериев, одним из возможных рациональных решений является формирование на начальном этапе автоматизации пула допустимых вариантов маршрута для дальнейшего анализа и сравнения с учетом требований на данный момент. При применении такого подхода эффективность автоматизации будет частично определяться числом используемых критериев и ограничиваться допустимым количеством предлагаемых маршрутов.

Принципиально другим подходом к автоматизации построения маршрутного технологического процесса является сочетание ограниченного количества типовых решений, представленных в виде некоторого набора технологических параметров или базы знаний, с индивидуальными,

адаптированными под особенности предприятий и отрасли. Данный подход требует развития и апробации, но в перспективе позволяет обеспечить высокую степень автономности работы автоматизированной системы.

Выбор оборудования. Выбор оборудования для реализации технологических процессов является важным аспектом промышленного производства. Учитывая разные критерии и требования, можно оптимизировать процесс и обеспечить эффективность работы производства. Рассмотрим наиболее распространенные критерии выбора оборудования:

- тип поверхности, включающий конкретные требования к поверхностному слою изделия (например, шероховатость, радиусы скругления, отклонение от геометрической формы и др.) – учет типа поверхности необходим для корректного выбора типа станка или режущего инструмента;

- шероховатость – учет данного критерия необходим для корректного выбора метода обработки и контроля;

- учет свойства материала изделия – различные материалы имеют свои особенности и требуют различных подходов к механической обработке, сварке или термообработке;

- точность и технологические возможности – оценка требования к точности, стабильности и повторяемости процессов необходима для подбора соответствующего оборудования с учетом его технических характеристик и возможностей;

- наличие оборудования на производстве предполагает проверку доступности имеющегося на производстве оборудования, оснастки и инструментов для выполнения задачи, то есть оценивается реальная загруженность станочного парка с учетом текущего плана производства и состояния оборудования;

- возможность передачи на аутсорсинг – данный нестандартный критерий выбора оборудования необходим для мелкосерийного и единичного производства, особенно развивающегося в виде субъектов малого предпринимательства, и сводится к оценке целесообразности и возможности передачи работы сторонним предприятиям.

Одним из путей автоматизации этапа выбора оборудования является формирование единой базы данных парка станков с последующим применением алгоритмов машинного обучения для поиска оптимальных вариантов оборудования. Соответственно, данный этап технологической подготовки производства возможно полно-

стью автоматизировать, что позволит, в том числе, учитывать оперативную загруженность станочного парка в реальном времени.

Назначение припусков. Данный этап является важным при автоматизации написания технологических процессов [23, 24]. Корректное назначение припусков предполагает анализ требований к изделию, в том числе к точности, размерам, твердости и др., и определение видов припусков. Виды припусков могут включать:

- черновые – предназначены для грубой обработки материала и выполняются на начальном этапе процесса;

- полустачные – служат для обработки сниженной грубости, обеспечивают средний уровень точности и качества поверхности;

- чистовые – позволяют получить высокую точность и качество поверхности, выполняются на заключительном этапе обработки;

- сторонние состояния поверхности – это слои, которые формируются при выпуске, закаливании, покраске или гальванической обработке деталей.

Назначение оптимальных припусков является существенным фактором для улучшения качества изделий, сокращения времени обработки и экономии ресурсов. При этом полная автоматизация процесса назначения припусков достижима в рамках двух подходов: при постоянном контроле реального состояния изделия (в ходе каждой из операций техпроцесса) либо путем реализации авторских алгоритмов, учитывающих возможные погрешности при обработке изделия.

Расчет режимов резания. Для выбора оптимальных режимов резания из полученных припусков следует учитывать ряд факторов, таких как материал детали, режущий инструмент, глубина и ширина резания, требуемая точность, тип обработки. Процесс выбора режимов резания включает следующие шаги:

- определение оптимальной скорости резания и подачи для данного материала с использованием специальных программ;

- учет характеристик используемого инструмента (тип режущей кромки, материал, покрытие и износ);

- определение глубины и ширины резания в соответствии с размерами детали, требуемой точностью и производительностью;

- учет требуемой точности готового изделия;

- выбор режимов резания.

Процесс расчета режимов резания полностью автоматизирован за счет применения баз данных, которые позволяют учитывать выбор инст-

румента, подходящего под заданную операцию и выбранный материал изделия.

Проектирование/выбор оснастки. Выбор правильной оснастки в сочетании с оборудованием играет ключевую роль в технологическом процессе, поскольку обеспечивает увеличение эффективности, качества и гибкости производства. Для корректного выбора оснастки необходимо учитывать следующие факторы:

- совместимость оснастки и оборудования – проверка технической документации оборудования для анализа совместимости выбранной оснастки;

- тип операции – определение, какие операции следует выполнять на станке, подбор подходящего станочного приспособления и инструментов на основе этих операций (например, выбор способа закрепления заготовки для сверления, фрезерования, токарной обработки и других операций);

- материал изделия – необходимо учитывать материал изделия, поскольку оснастка должна быть изготовлена из материала, который может выдерживать силу и температуру во время обработки; это также поможет уменьшить износ инструмента и увеличить срок службы оснастки;

- гибкость и универсальность – выбор оснастки, которая может использоваться с разными типами оборудования и различными операциями, чтобы максимизировать возможности и добавить гибкости к технологическому процессу;

- производительность и качество – применяемая оснастка должна увеличить производительность и качество изготовления изделия; необходимо учитывать время установки и смены оснастки на станке, так как это может сократить общее время изготовления;

- экономическая эффективность – сравнение стоимости различных видов оснастки, учитывая их прочность, износостойкость, доступность.

Полная автоматизация данного этапа технологической подготовки производства достижима при условии использования стандартной оснастки на основе применения систем компьютерной симуляции для решения задачи оптимизации оснастки для каждого конкретного изделия.

При использовании нестандартной оснастки необходимо определять и учитывать все возможные варианты ее использования для каждого станка в парке предприятия, что усложняет процесс работы и ведет к увеличению расходов на обновления программного обеспечения.

Разработка программы для станков с ЧПУ. По завершении всех этапов подготовки технологического процесса на основании выбранного

оборудования и инструмента с рассчитанными режимами резания создается программа обработки детали на станках с ЧПУ с учетом элементов поверхностей обрабатываемого тела, а также выбором оптимальных траекторий прохождения инструмента. С помощью САПР/САМ-систем оператор может визуализировать и проверить реализацию программы обработки на виртуальной модели станка с ЧПУ, что позволяет исключить ошибки перед началом обработки на реальном оборудовании.

Выводы

Таким образом, в настоящее время систем, адаптированных под специфику мелкосерийных производств не существует, и вопросы реализации алгоритмов автоматического формирования маршрутных технологических процессов остаются открытыми. При этом анализ этапов технологической подготовки производства показывает потенциальную возможность их автоматизации, в том числе для нужд мелкосерийного производства. Приведен анализ методов автоматизации отдельных этапов технологической подготовки производства и дана оценка эффективности рассмотренных подходов. Показано, что применение совокупности сформированных в работе подходов позволит увеличить производительность за счет сокращения продолжительности технологических процессов.

Показана потенциальная эффективность оригинальной концепции решения задачи автоматизации разработки маршрутного технологического процесса для мелкосерийных производств, предусматривающая применение сочетания ограниченного количества типовых решений, представленных в виде некоторого набора технологических параметров или базы знаний, с индивидуальными, адаптированными под особенности предприятий и отрасли.

Библиографические ссылки

1. Трофимова Н. Н. Проблемы стратегического управления бизнес-процессами в условиях комплексной цифровизации наукоемких производств // Вестник университета. 2020. № 8. С. 33–40. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2020-8-33-40>.

2. Автоматизация управления технологической подготовкой производства на приборостроительном предприятии / В. Е. Лелюхин, О. В. Колесникова, И. С. Белкин, Т. А. Кузьмина // Автоматизация в промышленности. 2018. № 9. С. 21–25.

3. Подборнова Е. С., Мельников М. А. Особенности формирования институционального подхода к развитию отечественного промышленного производства // Вестник Самарского университета. Эконо-

мика и управление. 2021. Т. 12, № 2. С. 78–83. DOI: 10.18287/2542-0461-2021-12-2-78-83

4. Пудовкина О. Е. Технологические приоритеты развития промышленного сектора России в условиях глубокого проникновения цифровых технологий // Вестник университета. 2021. № 9. С. 74–80 DOI: 10.26425/1816-4277-2021-9-74-80

5. Автоматизация накопления опыта оптимизации технологических процессов и минимизации рисков распределенного виртуального производства в ходе эксплуатации сервиса технологической подготовки производства / В. Н. Попов, А. Б. Батырева, Л. И. Ковтун, И. П. Бояров // Экономика. Право. Инновации. 2019. № 1. С. 42–48.

6. Александров И. А. Принципы автоматизация технологической подготовки производства путем нейросетевого моделирования // Инженерный вестник дон. 2019, № 5 (56).

7. Кашапова Л. Р., Панкратов Д. Л., Симонова Л. А. Автоматизация технологической подготовки производства листовой штамповки на основе нечеткой логики // Научно-технический вестник Поволжья. 2020, № 5. С. 57–59.

8. Карлина Ю. И. Интеграция этапов подготовки производства высокоточных малогабаритных деталей на станках с числовым программным управлением // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2021. № 1 (69). С. 17–23. DOI: 10.26731/1813-9108.2021.1(69).17-23

9. Лобанов Д. В., Купцов М. В., Мулюхин Н. В. Мобильное приложение для автоматизации организационно- технологической подготовки производства // Актуальные проблемы в машиностроении. 2020. Т. 7, № 3-4. С. 26–31.

10. Поляков Е. Ю., Кондусов Д. В., Кондусова В. Б. Унифицированная модель процесса автоматизации согласования документации технологической подготовки производства // Автоматизация в промышленности. 2023, № 6. С. 56–58. DOI: 10.25728/avtprog.2023.06.13

11. Назаров М. В. Автоматизация принятия решений в процессе применения опыта групп пользователей при технологической подготовке производства нежестких деталей машин // Инновационные технологии в металлообработке. 2019. С. 237–241.

12. Сергеев С. В., Луценко А. В., Веретенников С. А. Использование сетевых матричных структур для конструкторско-технологической подготовки производства // Сварочное производство. 2021. № 5. С. 56–60.

13. Новиков О.А. Пути совершенствования системы комплексной автоматизации технологической подготовки производства нефтегазового оборудования // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2020, № 3(17). С. 39-43. DOI: 10.33285/1999-6934-2020-3(17)-39-43

14. 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

15. Колыбенко Е. Н. Принципы подхода к определению технологической элементной базы средств автоматизации для подготовки производства механообработки по всему ее циклу продолжение // Справочник. Инженерный журнал. 2021. № 12 (297). С. 20–27. DOI: 10.14489/hb.2021.12.pp.020-027

16. Колыбенко Е. Н. Принципы подхода к определению технологической элементной базы средств автоматизации для подготовки производства механообработки по всему ее циклу // Справочник. Инженерный журнал. 2021. № 11 (296). С. 43–51. DOI: 10.14489/hb.2021.11.pp.043-051

17. Методы и подходы к решению задачи автоматизации проектирования технологических процессов для единичных и мелкосерийных производств / М. Р. Королева, О. В. Мищенко, М. Д. Токарев, А. А. Чернова, Т. В. Шеховцева // Технология металлов. 2023. № 7. С. 30–41. DOI: 10.31044/1684-2499-2023-0-7-30-41

18. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. / под ред. А. С. Васильева, А.А. Кутина. 6-е изд., перераб. и доп. М. : Инновационное машиностроение, 2018. Т. 1. 756 с.

19. Azamjon Ibrohim ugli Tokhirov (2021) Technological process development using CAD-CAM programs. “Science and Education” Scientific Journal. June 2021, Vol. 2, Iss. 6, Pp. 288-291.

20. Emil Hr. Yankov, Nikolay Tontchev, Simeon Yonchev (2017) Application of cad design of technological processes in the field of material science. High-temperature synthesis on the intermetallic compound. Nitinol (nickel and titanium) receiving and analyzing the property. Conference Paper December 2017.

21. Безъязычный В. Ф., Шеховцева Т. В., Шеховцева Е. В. Обобщенный критерий технологичности деталей для их изготовления // Справочник. Инженерный журнал. 2022. № S11. С. 18–28.

22. Кордюков А. В., Рябов А. Н. Разработка нейронной сети для оптимизации распределения сменных производственных заданий // Справочник. Инженерный журнал. 2017. № 8 (245). С. 45-49.

23. Лыфарь Ю. С. Автоматизация процесса контроля корректности расцеховочных маршрутов по производственной ведомости // Техника XXI века глазами молодых ученых и специалистов. 2018. № 17. С. 415–419.

24. Кордюков А. В., Рябов А. Н. Искусственный интеллект в технологии машиностроения // Вестник РГАТА имени П. А. Соловьева. 2017. № 4 (43). С. 147-151.

References

1. Trofimova N.N. (2020) [Problems of strategic management of business processes in the context of integrated digitalization of high-tech industries]. *Vestnik universiteta*, 2020, no. 8. pp. 164-171 (in Russ.).

2. Belkin I.S., Kolesnikova O.V., Kuzminova T.A., Lelyukhin V.E. (2018) [Automation of management of technological preparation of production at the instrument-making enterprise]. *Avtomatizaciya v promyshlennosti*, 2018, No. 9, pp. 21-25 (in Russ.).

3. Podbornova E.S., Melnikov M.A. (2021) [Features of the formation of an institutional approach to the development of domestic industrial production]. *Vestnik Samarskogo universiteta. ekonomika i upravlenie*, 2021, vol.12, no.2, pp.78-83 (in Russ.).
4. Pudovkina O.E. (2021) [Technological priorities for the development of Russia's industrial sector in the context of deep digital penetration]. *Vestnik universiteta*, 2021, no. 9, pp. 74-80 (in Russ.).
5. Popov V., Baytreva A., Kovtun L., Boyrov I. (2019) [Co-automization of accumulation of experience in optimization if technological processes and minimizing the risk of distributed virtual production during the operation of the computer-aided process planning service]. *Ekonomika. Pravo. Innovacii*, 2019, no 1, pp. 42-48 (in Russ.).
6. Alexandrov I.A. (2019) [Principles of technological preparation automation of production by neural network modeling]. *Inzhenernyj Vestnik Dona*, 2019, no. 5(56) in Russ.).
7. Kashapova L.R., Pankratov D.L., Simonova L.A. (2020) [Automation of technological preparation of sheet forging production based on fuzzy logic]. *Nauchno-tekhnicheskij Vestnik Povolzhya*, 2020, no. 5, pp. 57-59 (in Russ.).
8. Karlina Yu.I. (2021) Integration of stages of preparation of production of high-precision small parts on CNC machines. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie*, 2021, no. 1(69), pp. 17-23 (in Russ.).
9. Lobanov D.V., Kuptcov M.V., Muliukhin N.V. (2020) [Mobile app for automation of organizational and technological preparation of production]. *Aktual'nyeproblemy v mashinostroenii*, 2020, vol. 7, no 3-4, pp. 26-31 (in Russ.).
10. Polyakov E.Yu., Kondusov D.V., Kondusova V.B. (2023) [Unified model of the process of automation of documentation coordination of technological preparation of production]. *Avtomatizaciya v promyshlennosti*, 2023, no. 6, pp.56-58 (in Russ.).
11. Nazarov M.V. (2019) [Automation of decision-making in the process of applying the experience of user groups in the technological preparation of production of non-rigid machine parts]. *Innovacionnye tekhnologii v metalloobrabotke*, 2019. pp. 237-241 (in Russ.).
12. Sergeev S.V., Lutsenko A.V., Veretennikov S.A. (2021) [The use of network matrix structures for design and technological preparation of production]. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2021, no. 5, pp. 56-60 (in Russ.).
13. Novikov O.A. (2020) [Ways of improving the integrated system automation of technological preparation of oil and gas equipment production]. *Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa*, 2020, no. 3(117), pp. 39-43 (in Russ.).
14. Khrustaleva I.N., Lyubomudrow S.A., Romanov P.I. (2018) [Automation of technological preparation of production in single-unit and small-batch manufacturing]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPBPU. Estestvennye i inzhenernye nauki*, 2018, vol. 24, no. 1, pp. 113-121 (in Russ.).
15. Kolybenko E.N. (2021) [Principles of approach to determination of technological element base for automation of machining production preparation throughout cycle. Continuation]. *Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal*, 2021, vol. 297, no. 12, pp. 20-27 (in Russ.).
16. Kolybenko E.N. (2021) [Principles of approach to determination of technological element base for automation of machining production preparation throughout cycle]. *Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal*, 2021, vol. 296, no. 11, pp. 43-51 (in Russ.).
17. Koroleva M.R., Mishchenkova O.V., Tokarev M.D., Chernova A.A., Shekhovtseva T.V. (2023) [Approaches and methods to solve the problem of automating the design of technological processes for single and small batch production]. *Tehnologija metallov*, 2023, no. 7, pp. 30-41 (in Russ.).
18. Vasil'eva A.S., Kutina A.A. (eds.) (2018) *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya* [Handbook of mechanical engineering technologists]. Moscow, Innovacionnoe mashinostroenie Publ., vol. 1, 756 p. (in Russ.).
19. Azamjon Ibrohim ugli Tokhirov (2021) Technological process development using CAD-CAM programs. "Science and Education" Scientific Journal. June 2021. Vol. 2, Iss. 6, Pp. 288-291.
20. Emil Hr. Yankov, Nikolay Tontchev, Simeon Yonchev (2017) Application of cad design of technological processes in the field of material science. High-temperature synthesis on the intermetallic compound. Nitinol (nickel and titanium) receiving and analyzing the property. Conference Paper December 2017.
21. Bezyazichny V.F., Shehovtseva T.V., Shehovtseva E.V. (2022) [The generalized criterion of the parts for their manufacture]. *Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal*, 2022, no. S11, pp. 18-28 (in Russ.).
22. Kordjukov A.V., Rjabov A.N. (2017) [Development of a neural network to optimize the distribution of replaceable production tasks]. *Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal*, 2017, vol. 245, no. 8, pp. 45-49 (in Russ.).
23. Lyfar Yu.S. (2018) [Automation of the process of controlling the correctness of the routing routes on the production sheet]. *Tekhnika XXI veka glazami molodyh uchenyh i specialistov*, 2018, no.17, pp. 415-419 (in Russ.).
24. Kordjukov A.V., Rjabov A.N. (2017) [Artificial intelligence in mechanical engineering technology]. *Vestnik RGATA imeni P.A. Solov'eva*, 2017, vol. 43, no. 4, pp. 147-151 (in Russ.).

Possibility Assessment of Automatic Formation of Technological Processes in Small Batch Production

D.A. Devyatov, Post-graduate, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

A.A. Chernova, DSc in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

The work is devoted to urgent problem solution of lack of convenient tools with functional capabilities of the system of route technological process automated design, adapted to small-scale production. The estimation of potential possibility of automatic small-scale production formation by means of estimation of efficiency and expediency technological processes of automation of key stages of design of production technological preparation, such as equipment selection, selection of cutting modes, workpiece, cutting and measuring tools and tooling selection is given. The key stages of technological process development are considered and characterized, such as selection of technological bases, type of workpiece and equipment, formation of route technological process, calculation of cutting modes, selection of allowances and so on. The paper shows both the relevance and necessity of analyzing approaches to automation and their correct adaptation to production needs to achieve maximum efficiency and resource savings for small batch production, and the high relevance for small-batch production of the automatic formation of route technological processes. At the same time, the paper shows the lack of automated systems adapted to the specifics of small-batch production.

The existing approaches to the formation of stages are analyzed, as well as the possible methods of automation of stages and the existing limitations of these methods are considered, the efficiency of the considered approaches is evaluated. The methods of automation of separate stages of technological preparation of production are analyzed and the efficiency of the considered approaches is evaluated. The original concept of solving the problem of automation for small-scale production by using a combination of a limited number of standard solutions, represented as a set of technological parameters or knowledge base, with individual solutions, adapted to the specifics of enterprises and industry, is proposed and the potential effectiveness of this approach is shown.

Keywords: technological preparation of production, technological process, automation, key stages of work with the product, route technological process.

Получено 04.09.2023

Образец цитирования

Девятков Д. А., Чернова А. А. Оценка возможности автоматизации формирования технологических процессов в мелкосерийном производстве // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2023. Т. 26, № 3. С. 67–74. DOI: 10.22213/2413-1172-2023-3-67-74.

For Citation

Devyatov D.A., Chernova A.A. (2023) [Possibility Assessment of Automatic Formation of Technological Processes in Small Batch Production]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2023, vol. 26, no. 3, pp. 67-74 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2023-3-67-74.