

КОНЦЕПЦИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СКВОЗНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ МЕТАЛЛОПРОКАТА ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

*Акулович, доктор технических наук, профессор
leo-akulovich@yandex.ru,*

*Владимир Петрович Миклуш, кандидат технических наук,
профессор, Miklush@tut.by;*

*Белорусский государственный аграрный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь;*

*Дмитрий Брониславович Ермашкевич, заместитель директора
Научно-производственного общества с ограниченной ответственностью
«ЛАКШМИ», mitrich31@mail.ru, г. Минск, Республика Беларусь*

Реферат. Технологические возможности современного оборудования термической резки листового материала, оборудования для раскроя прямоугольных деталей на гильотинных ножницах, а также раскроя круглого и профильного проката на разрезных станках значительно расширились, что позволяет во многих случаях производить обработку отверстий, окон, контуров деталей окончательно с обеспечением заданных чертежом требований точности и шероховатости поверхностей. Отсутствие механического воздействия на обрабатываемый материал, возможность раскроя сложных контуров деталей из листового материала с обеспечением необходимой точности взаимного расположения вырезаемых контуров заготовки являются посылкой использования способов термической резки совместно с операциями механической обработки в единых технологических процессах. Предложенная концепция автоматизации сквозного проектирования технологических процессов изготовления деталей из металлопроката для сельскохозяйственной техники учитывает технологические возможности современного оборудования, базируется на интеграцию систем САПР “Раскрой”, автоматизированного проектирования САПР ТП МО и САПР УП и включает систематизацию входных данных, использование комплексных технологических процессов и их формализацию, создание единой базы данных. Разработана структура интегрированной САПР ТП раскроя листового металла и механической обработки заготовок, ориентированной на проектирование технологических процессов в автоматическом режиме. Использование в САПР комплексных технологических процессов не требует высокой квалификации технологов предприятия, так как в КТП заложена база знаний опытных специалистов. Цель настоящей работы – разработка концепции синтеза системы сквозного автоматизированного проектирования технологических процессов раскроя металлопроката и последующей механической обработки, определение структуры системы, входных и выходных данных. Структура интегрированной САПР ТП была

использована при разработке алгоритмов и программного обеспечения. Внедрение САПР ТП на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения позволит улучшить качество технологических процессов изготовления деталей из листовых сталей, уменьшить сроки их разработки в 3...10 раз в зависимости от сложности деталей.

Ключевые слова. Раскрой листового материала, машины термической резки, карта раскроя, технологическая подготовка производства, механическая обработка, технологический процесс, система автоматизированного проектирования, управляющий массив, комплексная операция.

CONCEPT THROUGH AUTOMATION DESIGN OF TECHNOLOGICAL PROCESSES PARTS OF METAL FOR AGRICULTURAL MACHINERY

Belarusian State Agrarian Technical University, "LAKSHMI" Scientific and Production Ltd. Co.

Abstract. Found that the technological capabilities of modern equipment thermal cutting sheet material, equipment for cutting rectangular parts on the guillotine shears and cutting round and profile rolling machines to split greatly enhanced. This allows in many cases to machine holes, windows, paths details conclusively drawing with a certain level of accuracy and surface roughness. No mechanical impact on the processed material, the possibility of cutting complex contours of parts from sheet material with the required accuracy the mutual arrangement of the cut-out circuits are sending a blank using the methods in conjunction with thermal cutting machining operations in a single process. The proposed concept through design automation of technological processes of manufacturing of metal parts for agricultural machinery account of technological capabilities of modern equipment, based on the integration of CAD systems "Cutting" aided design CAM and CAPP systematization and includes input data, the use of complex technological processes and their formalization, creating a unified database. The structure of integrated CAM cutting sheet metal and machined workpiece-oriented design process automatically. Using CAD integrated process does not require highly skilled technologists enterprise as laid down in complex process knowledge base of experienced professionals. The aim of this work - design synthesis system through-aided design process of cutting metal and subsequent machining, the definition of system structure, input and output data. Structure of integrated CAM-CAPP was be used in the development of algorithms and software. Introduction of CAM-CAPP agricultural machinery enterprises will improve the quality of manufacturing processes of parts from sheet steel, to reduce their development time in 3 - 10 times depending on the complexity of parts.

Keywords. Cutting sheet material, cutting machines, cutting charts, production planning, tooling, processes, computer aided design, control the masses, complex operations.

Введение. Продукция для механизации сельскохозяйственных работ является металлоемкой и технологически сложной, ее изготовление требует значительных материальных и трудовых затрат [1].

Особенностью машиностроительного производства предприятий по ре-

монту и техническому сервису сельскохозяйственной техники является необходимость частой сменяемости номенклатуры выпускаемых изделий. В таких условиях для обеспечения гибкости производства необходимо иметь технологическое оснащение, соответствующее требованиям серийного производства [2]. С другой стороны, условия жесткой конкуренции вынуждают минимизировать трудоемкость изготовления изделий. Поэтому значительно повысились требования высокой производительности в мелко- и среднесерийном производствах. Это особенно актуально на стадии подготовки производства в связи с непрерывным увеличением ее доли затрат в себестоимости продукции серийных производств. Основной составляющей в трудоемкости подготовки производства является затраты инженерного труда на проектирование технологических процессов. Содержание, объем и организация технологической подготовки производства (ТПП) во многом зависят от типа производства. В единичном и мелкосерийном производствах объем технологической подготовки производства составляет около 25%, в серийном – до 50%, в крупносерийном и массовом – до 70% от всего объема работ по ТПП новых изделий [3].

Проектирование технологических процессов является центральным, основным звеном всей системы ТПП, которое решающим образом влияет на сроки подготовки и освоения новых изделий, повышение их качества и конкурентоспособности. С функциональной точки зрения значение этапа “проектирование технологических процессов” наиболее велико. Разработанные технологические процессы определяют методы обеспечения точности при сборке и при изготовлении деталей, форму организации производства и, следовательно, трудоемкость процессов. Виды заготовок и припуски на обработку характеризуют коэффициент использования материала при механической обработке. Разработка унифицированных операций и технологических процессов в значительной степени определяет объем работ практически по всем этапам ТПП. От принятого уровня оснащенности, видов применяемой технологической оснастки и специального инструмента зависит объем работ в конструкторских подразделениях отдела главного технолога и в инструментальном цехе. Обоснованное нормирование всех элементов технологических процессов направлено на определение себестоимости изделия.

Одним из наиболее эффективных средств решения возникших задач является компьютеризация проектирования технологических процессов. Все это обуславливает создание систем автоматизированного проектирования (САПР) сквозных технологических процессов изготовления деталей машин, позволяющих разрабатывать как единые технологические процессы изготовления деталей, так и управляющие программы для оборудования с числовым программным управлением.

Структура производства машиностроительных и ремонтных предприятий сельскохозяйственной техники различается по составу имеющихся технологических переделов, однако типичным для всех предприятий является: раскрой листового проката на гильотинных ножницах или на машинах термической резки, лазерных установках, раскрой круглого и профильного металлопроката на разрезных станках (ленточно-отрезных, абразивно-отрезных, фрезерно-отрезных станках), холодная штамповка, термическая обработка, механическая обработка, лакокрасочные и гальванические покрытия.

Наиболее сложные и трудоемкие звенья технологической подготовки производства упомянутых предприятий – проектирование технологии механи-

ческой обработки, разработка раскладок для фигурного раскроя, подготовка управляющих программ для оборудования с ЧПУ.

В настоящее время существуют достаточно эффективные системы автоматизированного проектирования машиностроительных деталей и изделий, проектирования управляющих программ для оборудования с ЧПУ, однако автоматизация этапа технологической подготовки производства с использованием универсального оборудования с ручным управлением развита в значительно меньшей мере, особенно заготовительного производства. Существуют локальные диалоговые автоматизированные системы проектирования техпроцессов механической обработки и других технологических переделов [4,5].

Однако эти системы не обеспечивают сквозного проектирования и имеют низкий уровень автоматизации проектных процедур. Поэтому наряду со снижением расхода применяемых материалов актуальна задача автоматизации технологической подготовки производства.

В области раскроя металла известны локальные программные комплексы, в основном для раскроя деталей произвольной формы на машинах термической резки (МТР) с ЧПУ, настройки к графическим пакетам для автоматического или ручного размещения контуров деталей на листах материала, а также специализированные программные комплексы, которые поставляются заказчиком совместно с машинами лазерной и плазменной резки [6]. В последние годы прослеживается тенденция поставки из западных стран машин для резки металла совместно с программным обеспечением для раскладки деталей и подготовки управляющих программ для этих машин.

Это программное обеспечение является узкоспециализированным для конкретных машин резки металла и их отдельная поставка фирмами производителями не производится. У некоторых производителей графических систем имеются настройки с математическим и программным аппаратом для размещения деталей на листе, которые могут быть поставлены только с их графическими пакетами.

Ни одна из известных САПР ТП не осуществляет сквозное проектирование технологических процессов раскроя металлопроката и механической обработки. Поэтому возникает потребность в разработке интегрированной системы для сквозного проектирования, что позволит избежать основного недостатка использования автономных модулей, а именно, исключить многократный «ручной» ввод одинаковых исходных данных и минимизировать возможные при этом ошибки, сократить время на проектирование.

Современные САПР ТП реализуют следующие методы проектирования: автоматический, полуавтоматический, интерактивный (диалоговый) и «по-аналогу» [8,10,12]. Каждый из перечисленных методов проектирования имеет свои преимущества и недостатки. Общим недостатком САПР ТП, реализующих эти методы проектирования, является неудовлетворительная производительность проектирования технологических процессов для изготовления относительно несложных деталей. Например, для деталей, поддающихся группированию в технологические группы, интерактивный режим не эффективен, а при использовании автоматического режима в большинстве случаев требуется адаптация разработанного технологического процесса к условиям производства. Решить эту проблему возможно, используя сразу несколько САПР ТП под соответствующие виды деталей. Но такой подход является нецелесообразным по следующим причинам:

- пользователю системы потребуется приобретать и осваивать несколько различных систем, что усложняет и удорожает проектирование;
- необходимо создание нескольких баз данных и архивов спроектированных техпроцессов;
- у пользователя могут появиться проблемы интеграции систем и вытекающие отсюда организационные сложности.

Другой путь решения проблемы – совершенствование методов проектирования и представления технологической информации, которые составляют базовую основу режимов проектирования в САПР ТП.

В настоящее время развитие технологического оборудования несколько опережает развитие средств автоматизации проектирования технологии. В новейших образцах станков все чаще появляются новые функции, характерные для другого вида оборудования. Продолжается тенденция максимальной концентрации операций на одном рабочем месте [10].

Разработка интегрированного программного обеспечения для сквозного проектирования позволит избежать основного недостатка использования автономных модулей, а именно – исключить многократный «ручной» ввод одних и тех же данных, что позволит сократить время на проектирование и минимизировать ошибки ввода данных исключением влияния человеческого фактора. Автоматизированное формирование управляющих программ для МТР посредством работы постпроцессоров значительно снизит трудоемкость их проектирования.

Сквозное функционирование объектно-ориентированных технологических модулей по разным переделам в составе одной автоматизированной системы позволит устранить «разрыв» в развитии технологического оборудования и средств автоматизации проектирования технологии для этого оборудования.

Цель исследования – разработка концепции синтеза системы сквозного автоматизированного проектирования технологических процессов раскря металлопроката и последующей механической обработки, определение структуры системы, входных и выходных данных. Предложенная концепция была использована для создания алгоритмов и программ.

Материалы и методы. Детали, изготавливаемые из металлопроката (листовой, круглый и профильный прокат) представляют собой тела вращения и плоские детали, что дает возможность вести проектирование техпроцессов их обработки в автоматическом режиме на базе комплексных технологических процессов с адаптацией к конкретным условиям предприятия.

С целью снижения материальных и трудовых затрат, сокращения сроков технической подготовки производства в интегрированную систему был включен следующий набор проектных процедур:

- возможность интеграции с графическими пакетами разных производителей (AutoCAD, T/FLEX, Компас и др.);
- ведение автоматизированного архива деталей и сборочных единиц (управление составом изделий);
- ввод информации с электронных чертежей и 3D-моделей, созданных в разных графических системах (AutoCAD, T-FLEX, Компас и др.);
- создание и ведение единой базы данных технологического назначения с передачей данных между единой базой данных и модулями, выполняющими основные функции системы и обменом информацией с информационными системами предприятий;
- сквозное проектирование технологических процессов в автоматическом

(с использованием комплексных технологических процессов (КТП)) и диалоговом режимах (в том числе методом структурного синтеза с использованием конструктивно-технологических элементов (КТЭ)), режиме «по аналогу», комбинированным методом;

- построение схем раскладки для всех видов раскроя металлопроката с расчетом их показателей эффективности;

- проектирование УП для оборудования с ЧПУ;

- формирование комплектов стандартной технологической документации.

В интегрированную систему включены следующие основные компоненты [8,11]:

- CAD – система (графический пакет);

- система управления БД (СУБД);

- БД технологического назначения, подключенная к СУБД;

- архив изделий (система электронного управления составом изделий);

- проблемно-ориентированный программный модуль для графического ввода геометрической информации с электронных чертежей и 3D-моделей;

- объектно-ориентированные модули систем автоматизированного проектирования технологических процессов по всем переделам;

- проблемно-ориентированный программный модуль генерации форм технологических и других документов;

- архив технологических процессов (система электронного управления технологической документацией);

- проблемно-ориентированный программный модуль связи с информационными системами предприятия.

Фрагмент структурной схемы интегрированной системы показан на рисунке 1.

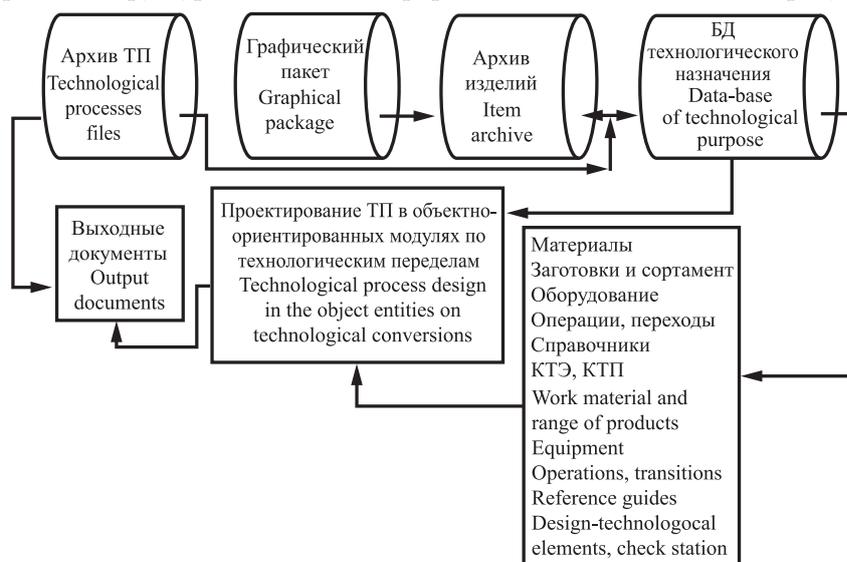


Рис. 1. Фрагмент структурной схемы интегрированной системы

Программные модули по запросу выбирают состав изделия, характеристики узлов и деталей из архива изделий интегрированной системы. Далее для разработки документации по технологическим переделам используются условно-постоянные параметры единой базы данных технологического назначения, с возможностью их дополнения и(или) редактирования. Результаты работы модулей передаются в архив технологических процессов интегрированной системы.

Архивы интегрированной системы содержат информацию о результатах работы модулей:

- структуру изделий;
- характеристики изделий, узлов, деталей;
- расход материалов на изделия;
- технологические процессы изготовления изделий, узлов и деталей.

Определены состав и структуры входных (рисунок 2, а) и выходных данных (рисунок 2, б) интегрированной системы [9]. Входные данные системы делятся на условно-постоянные и переменные. Условно-постоянные данные содержат информацию об основных и вспомогательных материалах, сортаменту заготовок, оборудовании и оснастке, технологических операциях и переходах, КТЭ, КТП, справочного характера.

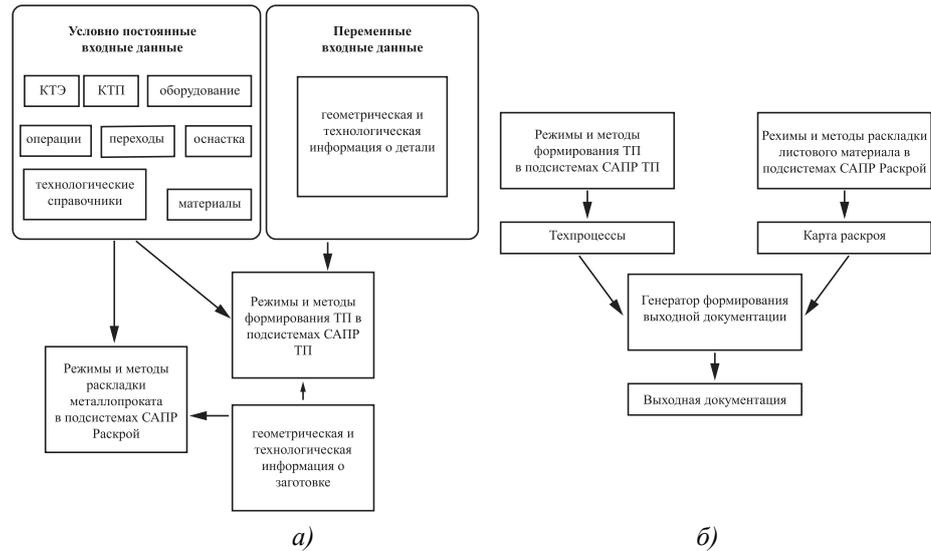


Рис. 2. Представление входных и выходных данных в структурированном виде:
а – входные данные, б – выходные данные

Выходными данными интегрированной системы являются:

- техпроцессы механической обработки, холодной штамповки, раскроя, нанесения лакокрасочных и гальванических покрытий, сборки с выходными документами;
- УП для оборудования с ЧПУ.

Автоматизированное проектирование технологических процессов механической обработки в интегрированной системе осуществляется комбинированным методом [11], сущность которого заключается в следующем:

- для деталей, поддающихся группированию по конструкторско-технологическим признакам, – проектирование автоматическим методом на базе КТП с доработкой (при необходимости) полуавтоматическим и диалоговым методами с использованием (или без использования) метода структурного синтеза;
- для деталей, не поддающихся группированию по конструкторско-технологическим признакам или не обеспеченных КТП по тем или иным причинам, – проектирование диалоговым методом, в том числе методом структурного синтеза с использованием КТЭ;
- для деталей, у которых одна часть КТЭ поддается группированию, а другая – не поддается, – проектирование комбинированным методом, при

котором первая часть технологического процесса формируется в автоматическим методом, другая часть – диалоговым

– методом, в том числе методом структурного синтеза с использованием КТЭ, обработка которых не предусмотрена в КТП;

– для деталей, входящих в технологическую группу, – проектирование методом «по аналогу», при условии наличия в САПР ТП спроектированного ранее технологического процесса на деталь-аналог.

Для реализации метода структурного синтеза в интегрированной системе была разработана база данных КТЭ, в основу которой вошла библиотека КТЭ, содержащая 46 видов различных поверхностей (плоские, отверстия, пазы, канавки и т.д.) со схемами их обработки с операциями лазерной и плазменной резки, а также условиями выбора оптимальных схем обработки в зависимости от требуемой точности. Для определения условий выбора оптимальных схем обработки были проведены экспериментальные исследования. Объектом наблюдений при экспериментальных исследованиях геометрической точности обработанных поверхностей выбрана величина действительного диаметрального размера. Качество обработанных поверхностей оценивалось по параметру Ra шероховатости поверхности (среднее арифметическое отклонение профиля) реза.

Экспериментальные исследования проводили на участке плазменной и лазерной резки базового предприятия. Оборудование, на котором проводили вырезку заготовок:

– плазменную – порталный станок для плазменной и газовой резки VanadProxima (Portal) HDSeries;

– лазерную – консольный станок для лазерной резки VANAD MIRON LASER (Fiber). Из листового металлопроката 345-09Г2С-св-2 ГОСТ 19281-89 различной толщины плазменной и лазерной резкой вырезали заготовки деталей круглой формы определенных диаметров (по 5 штук на определенный диаметр из листов каждой толщины), на которых измеряли диаметральный (ДФ) размер и параметр Ra шероховатости поверхности реза. По фактической величине диаметров вычисляли отклонения от номинальных размеров (мм). Плазменная резка выполнялась на следующих режимах: ширина реза - 3 мм; точность позиционирования – 0,02 мм; сила тока – 200-400А. Варьируемые факторы при плазменной резке: толщина листового материала (5; 12; 30; 48; 55 мм), радиус реза (15; 40; 100; 160; 185 мм).

Лазерная резка выполнялась на следующих режимах: ширина реза - 0,5 мм; точность позиционирования – 0,02 мм; мощность лазера – 2,5 кВт. Варьируемые факторы при лазерной резке: толщина листового материала (3; 6; 14; 22; 25 мм), радиус реза (3; 16; 48; 80; 93 мм).

Измерение действительных диаметральных размеров и уклона проводили по ГОСТ 26433.1-89 с использованием электронного штангенциркуля ШЦЦ-1-300 0,01мм. Параметр Ra шероховатости поверхности измеряли с использованием профилометра MITUTOYO SJ-201P.

Результаты и обсуждение. Учитывая результаты экспериментальных исследований, сформулированы граничные условия назначения технологических операций термической резки в технологические процессы их изготовления:

- при плазменной резке 14-й квалитет точности (для любой толщины листа), шероховатость Ra16.0 мкм (для листов толщиной менее 12 мм);

- при лазерной резке 12-й квалитет точности квалитет точности, шероховатость Ra10.0 мкм.

Результаты исследований позволили разработать рациональные схемы обработки и установить технологические условия назначения операций термической резки, создать базу данных и библиотеку КТЭ, необходимую при проектировании технологических процессов изготовления деталей машин из металлопроката методом структурного синтеза.

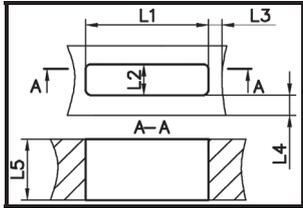
Структура библиотеки КТЭ приведена на рисунке 3. Фрагмент библиотеки КТЭ приведен в таблице 1.



Рис. 3. Структура библиотеки КТЭ

Таблица 1

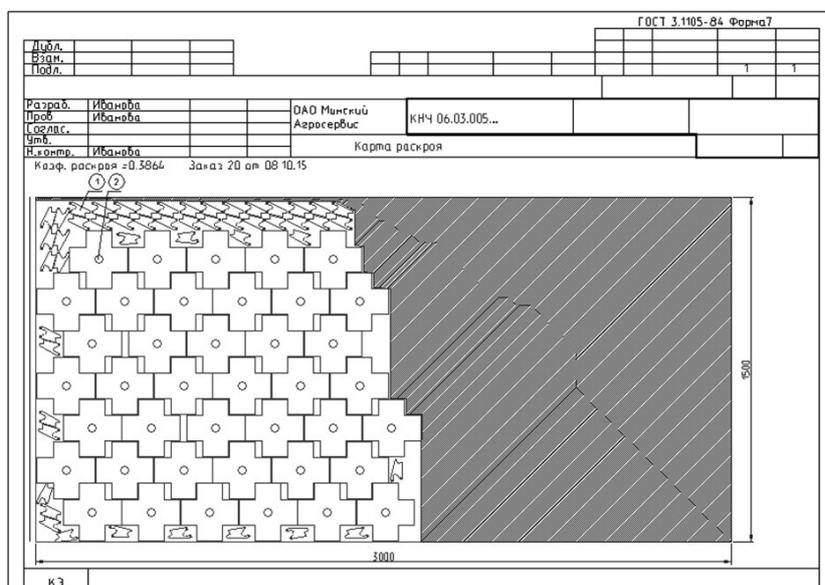
Фрагмент библиотеки КТЭ

КТЭ	Условия выбора КТЭ	Варианты маршрута обработки КТЭ
КТЭ - окно в сплошном материале на плоской поверхности 	Шероховатость поверхности окна $Ra \geq 3.2$	- фрезерование концевой фрезой или долбление (сквозные) - фрезерование концевой фрезой
	Шероховатость поверхности окна $Ra \geq 10.0$ $S \leq 25$ мм Квалитет 12 и ниже	- фрезерование концевой фрезой или долбление (сквозные) - фрезерование концевой фрезой - лазерная резка - фрезерование концевой фрезой
	Шероховатость поверхности окна $Ra \geq 16.0$ $25 \text{ мм} < S \leq 55 \text{ мм}$ Квалитет 14 и ниже	- фрезерование концевой фрезой или долбление (сквозные) - фрезерование концевой фрезой - плазменная резка - фрезерование концевой фрезой

На рисунке 4 показаны результаты работы модуля фигурного раскроя (а) и механической обработки (б) – фрагменты выходных технологических документов.

Выводы. Технологические возможности современного оборудования термической резки листового материала, оборудования для раскроя прямоугольных деталей на гильотинных ножницах, а также раскроя круглого и профильного проката на разрезных станках значительно расширились, что позволяет во многих случаях производить обработку отверстий, окон, контуров деталей окончательно с обеспечением заданных чертежом требований точности и шероховатости поверхностей. Отсутствие механического воздействия на обрабатываемый материал, возможность раскроя сложных контуров деталей из листового материала с обеспечением необходимой точности взаимного расположения вырезаемых контуров заготовки являются

посылкой использования способов термической резки совместно с операциями механической обработки в единых технологических процессах.



а)

НАИМЕНОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ		МАТЕРИАЛ	ТВЕРДОСТЬ	ЕВ	МП	ПРОФИЛЬ И РАЗМЕРЫ		МЭ	КОИД
Вертикально-фрезерная		СТАЛЬ 45 ГОСТ 1050-88	285	309	1,30	с предыдущей операцией		1,51	
ОБОРУДОВАНИЕ, УСТРОЙСТВО ЧПУ		СВОНАЧЕНИЕ ПРОГРАММЫ	ТО	ТВ	ТПЗ.	ТШГ.	СОЖ		
6Н13П			0,1182	0,3147	0,2000	0,5194	5% эмульсия		
Р	ПИ	Д	ИЛИ В	L	T	I	S	N	V
01	Установить и закрепить заготовку в тисках								
02	ТИСКИ 7200-0214 ГОСТ 14904-80								
04	Фрезеровать поверхности, выдерживая размер 25								
05	ОПРАВКА 6222-0033 ГОСТ 13785-68								
06	ФРЕЗА 2214-0001 45-1 Т15К6 ГОСТ 24359-80								
07			56,00	183,00	7,50	2,00	300,00	375,00	65,97
08	Фрезеровать поверхности, выдерживая размер 32								
09	ОПРАВКА 6222-0033 ГОСТ 13785-68								
10	ФРЕЗА 2214-0001 45-1 Т15К6 ГОСТ 24359-80								
11			35,00	170,00	4,00	2,00	300,00	375,00	41,23
12	Фрезеровать поверхности, выдерживая размер 100								
13	ОПРАВКА 6222-0033 ГОСТ 13785-68								
14	ФРЕЗА 2214-0001 45-1 Т15К6 ГОСТ 24359-80								
15			35,00	102,00	10,00	2,00	300,00	375,00	41,23
16	Снять и уложить деталь в тару								
17	Контролировать деталь								

Рис. 4. Фрагменты выходных технологических документов:
а – модуля фигурного раскроя, б – модуля механической обработки

Предложенная концепция автоматизации сквозного проектирования технологических процессов изготовления деталей из металлопроката для сельскохозяйственной техники учитывает технологические возможности современного оборудования, базируется на интеграцию систем САПР “Раскрой”, автоматизированного проектирования САПР ТП МО и САПР УП и включает систематизацию входных данных, использование комплексных технологических процессов и их формализацию, создание единой базы данных. Разработана структура интегрированной САПР ТП раскроя ли-

стового металла и механической обработки заготовок, ориентированной на проектирование технологических процессов в автоматическом режиме. Использование в САПР комплексных технологических процессов не требует высокой квалификации технологов предприятия, так как в КТП заложена база знаний опытных специалистов. Структура интегрированной САПР ТП использована при разработке алгоритмов и программного обеспечения. Внедрение САПР ТП на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения позволит улучшить качество технологических процессов изготовления деталей из листовых сталей, уменьшить сроки их разработки в 3...10 раз [9] в зависимости от сложности деталей, что в свою очередь, обеспечит:

- сокращение сроков подготовки производства на 20-25%;
- экономию металлопроката на 5-10%;
- снижение брака на 10-15%;
- повышение загрузки оборудования на 15-20% [11].

Библиографический список

1. Черепанов, С.С. *Использование земледельческих агрегатов / Ч 1,2. М.: «Росинформагротех», 2000. – 668 с.*
2. Сайганов, А.С. *Этапы развития вторичного рынка сельскохозяйственной техники в системе АПК и обоснование его емкости / А.С. Сайганов // Аграрная экономика. 2013. № 7. С. 54-59.*
3. *Основы автоматизации машиностроительного производства / Под. ред. Ю.М.Соломенцева. – Москва : Высшая школа, 1999. 312 с.*
4. Акулович Л.М., Шелег В.К. *Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении. Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2012. 488 с.*
5. Норенков, И.П. *Основы автоматизированного проектирования / И.П. Норенков – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 430с.*
6. *Лазерные комплексы [Электронный ресурс] : Серия ПРО / Сайт производителя. Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <http://www.lasercomp.ru/> Дата доступа: 12.12.2016.*
7. *Система автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки деталей PRAMEN. Руководство пользователя. ОРГС 4664.013.ИЗ. – Минск : ОАО «Институт Белорганкинпром», 2014. 135 с.*
8. Гривачевский, А.Г., Ермашкевич Д.Б., Кулик Р.Л., Штейн Б.М. *Функциональная структура системы автоматизированного проектирования технологических процессов для машиностроительных предприятий // Проблемы создания информационных технологий : Москва : «Технополиграфцентр», 2014. Вып. 25. С.39-44.*
9. Акулович Л.М., Ермашкевич Д.Б. *Методические основы интеграции систем автоматического проектирования технологических процессов резки заготовок из листа и их механической обработки // Агростанорама. 2014. №1 (101). С.43-46.*
10. Акулович, Л.М., Ермашкевич Д.Б. *Автоматизация раскроя заготовок деталей из профильного металлопроката // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-техн. навук. 2017. № 1. С.76-84.*
11. Акулович, Л.М., Ермашкевич Д.Б. *Комбинированный метод автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления деталей машин // Вестник Белорусско-российского университета. 2017. №2 (55). С.5-15.*

References

1. Cherepanov S. *Ispolzovanie zemledelcheskih agregatov [The exploitation of*

agricultural aggregates] / Part 1,2. M.: FGNU «Rosinformagroteh», 2000. 668 p. (in Russian)

2. Saiganov A. *Etapy razvitiya vtorichnogo rynka selskohozyaistvennoy tehniky v sisteme APK I obosnovanie ego emkosti* [The stages of development of the secondary market of agricultural machinery in the agricultural sector and justification of its capacity] // *Agrarnaya ekonomika* [Agricultural economics]. 2013, no. 7, pp. 54–59. (in Russian)

3. Solomencev U. *Osnovy avtomatizatsiy mashinostroitel'nogo proizvodstva* [Basics of automation machinebuilding production]. Moscow, *Vyshaya shkola*, 1999. – 312 p. (in Russian)

4. Akulovich L., Sheleg V. *Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya tehnologicheskikh processov v mashinostroenii* / [Fundamentals of the automated designing of technological processes in mechanical engineering]. Minsk, *Novoe znanie M., INFRA-M*, 2012, 488 p.

5. Norenkov I. *Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya* [Fundamentals of the automated designing]. Moscow, *Izdatel'stvo MGTU im. N. E. Baumana*, 2009, 430 p. (in Russian)

6. *Lazernye komplekxy* [Laser complexes]. Access mode: <http://www.lasercomp.ru/>, access date: 12.12.2016 (in Russian)

7. *Sistema avtomatizirovannogo proektirovaniya tehnologicheskikh processov mehanicheskoy obrabotki detaley PRAMEN. Rukovodstvo polzovatelya. ORGS 4664.013.13* [Computer-aided design of technological processes of machining parts. User manual. ORGS 4664.013.13]. Minsk, *AO «Institute Belorgstankinprom»*, 2014, 135 p. (in Russian)

8. Grivachevskiy A., Yermashkevich D., Kulik R., Shtein B. *Funkcionalnaya struktura sistemy sistemy avtomatizirovannogo proektirovaniya tehnologicheskikh processov dlya mashinostroitel'nykh predpriyatiy* [Functional structure of the automated design system of technological processes of machine-building enterprises] // *Problemy sozdaniya informatsionnykh tehnologiy : sb. nauchnykh trudov* [coll. of scientific works]. Moscow, *OOO «Tehpoligrafcentr»*, 2014, issue 25, pp. 39–44. (in Russian)

9. Akulovich L., Yermashkevich D. *Metodicheskie osnovy integratsii avtomaticheskogo proektirovaniya tehnologicheskikh processov rezki zagotovok iz lista I ih mehanicheskoy obrabotki* [The methodological principles of integration of automated design of technological processes of cutting blanks from the sheet and their mechanical processing] // *Agropanorama* [Agropanorama]. 2014, no. 1(101), pp. 43–46. (in Russian)

10. Akulovich L., Yermashkevich D. *Avtomatizatsiya raskroya zagotovok detaley iz profilnogo metalloprocata* [Automation of cutting of workpieces details from profile rolled metal] // *Vesti Natsyonal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-tachnichnykh navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series], 2017, no. 1, pp. 76-84. (in Russian)

11. Akulovich L., Yermashkevich D. *Kombinirovannyi metod avtomatizirovannogo proektirovaniya tehnologicheskikh processov izgotovleniya detaley mashin* [The combined method of automated designing of technological processes of manufacturing of details of machines from profile rolled metal] // *Vestnik Belorussko-rossiiskogo universiteta* [Bulletin of the Belarusian-Russian University]. 2017, no. 2 (55), pp. 5-15. (in Russian)