

А.Н. Шелковой, М.С. Степанов, М.С. Семченко

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ МЕТОДАМИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Предлагается метод исследования продуктивности и надежности обработки детали «Корпус редуктора» в гибкой производственной системе крупносерийного производства на базе станка 6Н12ПБ и гибкого производственного модуля МА2765МЗФ4 с использованием специальных инженерных программ. Проведенное исследование позволило сократить время для расчетов, более точно представить сам процесс обработки, получить более точные результаты исследований, разработать технологическую документацию, подобрать необходимую оснастку и инструмент, основное и дополнительное оборудование.

Ключевые слова: гибкое автоматизированное производство (ГАП), электронно-вычислительная техника (ЭВМ), числовое программное управление (ЧПУ), роботизированный технологический комплекс (РТК), гибкий производственный модуль (ГПМ), производственный модуль (ПМ), производственная система (ПС), технологический процесс (ТП), управляющая программа.

Введение. На сегодняшний день направление технического перевооружения производства является наиболее приоритетным в машиностроении.

Современное развитие ГАП на основе ЭВМ и ЧПУ ставит инженерные задачи, которые упираются на новые базовые технологии, обеспечивающие выпуск конкурентоспособной продукции и ориентированные на высокие технологии. А именно комплексно-автоматизированное производство создает условия для одновременного достижения высокой производительности, сопоставимой с возможностями автоматических поточных линий и технологической гибкости, обеспечиваемой в основном участием человека в производственном процессе. Это является особенно важным фактором в крупносерийном производстве.

Использование обрабатывающих центров, ГПМ, РТК предполагает новые возможности ГАП, является неотъемлемой частью комплексно-автоматизированного производства.

Анализ основных достижений и литературы. Автоматизация развивается в направлении автоматизации производства и автоматизации управления. Автоматизация производства осуществляется путем создания автоматизированных и автоматических систем машин, а автоматизация управления – путем создания автоматизированных и автоматических систем управления.

В машиностроении процесс автоматизации развивается ускоренными темпами и охватывает целые производственные комплексы, участки цехи и заводы. На сегодняшний день различают автоматизацию производства трех уровней: частичную, при которой автоматизация ограничивается автоматизацией отдельных операций технологического процесса, комплексную - автоматизацию производственных процессов изготовления деталей и сборки с использованием ав-

томатических систем машин, а также полную – высшую ступень автоматизации, при которой все функции контроля и управления производством выполняются автоматами. Наиболее развитой пока является частичная автоматизация, продолжает развиваться комплексная, но, конечно, главной целью будущего преследуется цель полной автоматизации, без вмешательства человека в производственный процесс.

Полная автоматизация открывает ряд преимуществ, к которым можно отнести значительные повышения производительности труда; работу в тяжелых условиях, вредных и опасных для здоровья человека; более экономическое использование ресурсов; более высокое и стабильное качество продукции; сокращение периода времени от начала проектирования до получения изделия; возможность расширения производства без увеличения трудовых ресурсов. Все это заставляет серьезно задуматься над повышением эффективности и автоматизации машиностроения, так как от этого зависит прогресс всех отраслей промышленности.

Цель исследования и постановка задачи. Основной целью исследования является повышение производительности участка механической обработки резанием детали «Корпус редуктора» на основе применения групповых методов обработки в условиях серийного производства на ГПМ МА2765МЗФ4.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ литературных данных по данной тематике;
- разработать технологическую документацию для обработки детали «Корпус редуктора» в условиях крупносерийного автоматизированного производства;
- подобрать технологическую оснастку для базирования и транспортирования объекта обработки;

- выбрать основное и вспомогательное технологическое оборудование [1];
- выполнить моделирование системы изготовления детали «Корпус редуктора»;
- выполнить нормирования процесса обработки изделия «Корпус редуктора» на ГПМ МА2765МЗФ4.

При разработке технологической документации необходимо составить маршрут обработки детали, далее на его основании разработать технологические операции. Для составления полного технологического процесса необходимо определить припуски на операциях и режимы резания для обработки детали «Корпус редуктора».

Необходимо учитывать особенности конструкции, габариты обрабатываемых деталей для подбора основного и вспомогательного оборудования, устройства, а также для выбора способа транспортировки и работа, которая будет выполнять перенос деталей и заготовок [5].

С помощью имитационного моделирования необходимо определить взаимное расположение всех элементов технологического процесса, а также время, которое тратится на вспомогательные действия.

Материалы исследований. В качестве материалов исследования используются деталь «Корпус редуктора» (см. рис.1), универсальный вертикально-фрезерный станок модели 6Н12ПБ (см. рис.2), а также ГПМ МА2765МЗФ4 (см. рис.3).

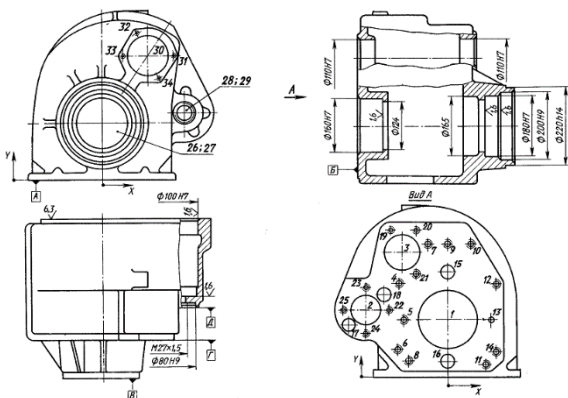


Рис. 1 - Деталь «Корпус редуктора»

Деталь «Корпус редуктора» изготовлена из чугуна марки СЧ 15-32 [7], имеет габаритные размеры 400*430*450 мм, квалитеты точности обрабатываемых поверхностей находятся в пределах от IT14 до IT7, шероховатость поверхностей находится в пределах от Ra 6,3 до Ra 1,6, большинство обрабатываемых поверхностей диаметрально и крепежные.

Универсальный вертикально-фрезерный станок модели 6Н12ПБ предназначен для обработки базовых поверхностей детали. Он имеет 18 скоростей вращения шпинделя, мощность главного двигателя 10кВт, а также пределы чисел оборотов шпинделя 63 – 3150 об/мин. ГПМ модели МА2765МЗФ4 - это современный многоцелевой комплекс с ЧПУ типа 2Р32, который состоит из обрабатываемого оборудования, транспортной системы и накопительной системы. Он предназначен для комплексной обработки детали и

имеет мощность главного двигателя 20кВт, пределы рабочих подач стола 10-4000 мм/мин, наибольшую выходную мощность на главном валу 14,8 кВт [6].

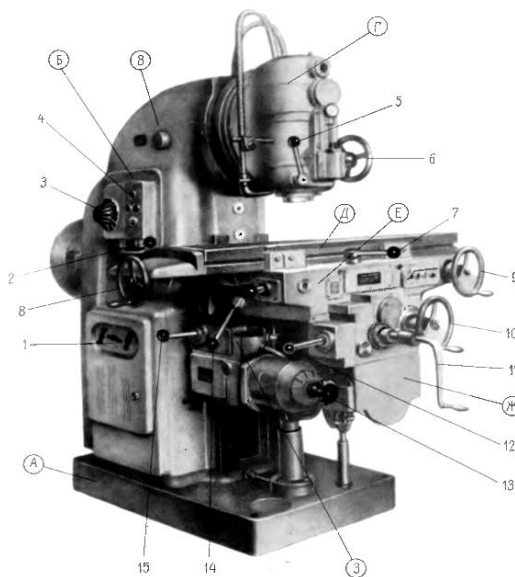


Рис. 2 – Вертикально-фрезерный станок модели 6Н12ПБ

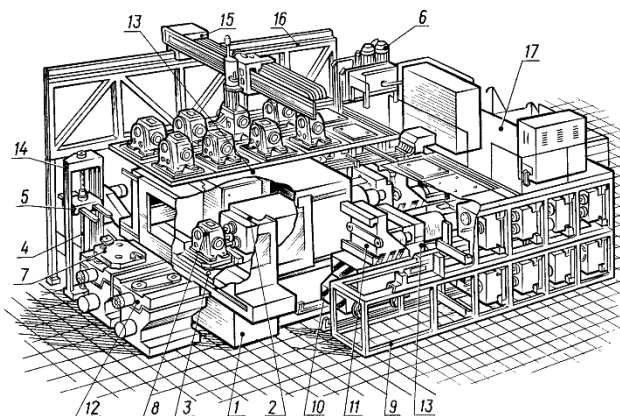


Рис. 3 – ГПМ модели МА2765МЗФ4

Результаты исследований. В результате исследований был проведен размерный анализ обрабатываемых поверхностей. Для выявления технологических размерных цепей необходимо предварительно разработать технологический процесс обработки заготовки детали «Корпус редуктора» и на его основе составить размерную схему процесса, в данном случае на примере обработки внутренних ступенчатых отверстий (см. рис.4). Для предварительного, анализа варианта ТП необходимо вручную построить граф размерных изменений заготовки (см. рис.5).

Для расчетов размерной цепи используем диалоговую программу «KON7». Программа «KON7» автоматизирует выявление взаимосвязанных контуров цепей, а после проверки их рациональности и допустимости - решает уравнения, исходя из заданной точности конструкторских размеров. Для расчета производим следующие действия:

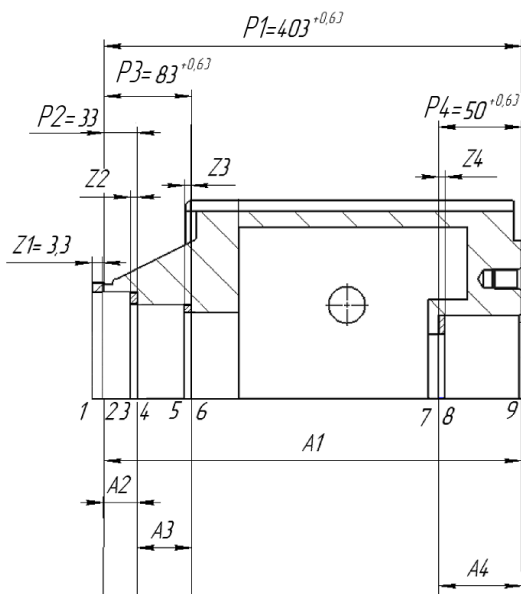


Рис.4 – Размерная схема технологической обработки

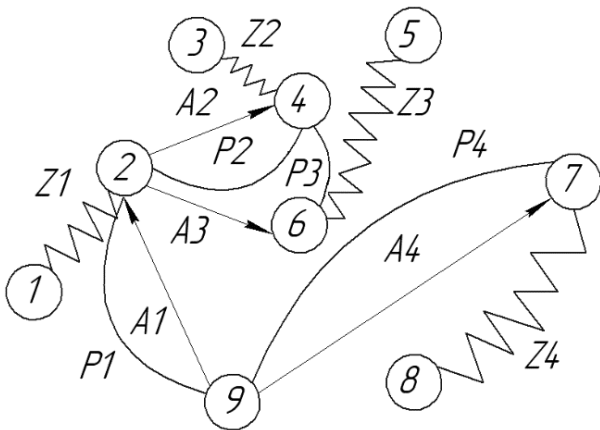


Рис.5 - Граф технологической размерной цепи

- Вводим общую информацию для данного варианта технологического процесса, которая помимо прочего определяет избранные системой допуски для всех размеров заготовки;
- Вводим конструкторские размеры (P1-P4);
- Вводим припуски на обработку (Z1-Z4) [3];
- Вводим размеры заготовки (A1-A4);
- Вводим размеры механообработки (A5-A8);
- Получаем данные расчета (табл.1):

Следующим этапом исследований являлся выбор инструмента и расчет режимов резания. При обработке детали «Корпус редуктора» на ГПМ МА2765М3Ф4 выполняются: фрезерование, сверление, расточка и нарезание резьбы. Для обработки детали выбираем режущие инструменты компании «Sandvik Coromant».

Выбор всего инструмента проводится по схеме, показанной по примеру выбора фрезы (см. рис.6) – определяется вид обработки, тип инструмента и параметры инструмента.

Размер пластины	D _h , мм	Код		Размеры, мм		Max. D _h	L _{max} , D			
		Круглый вал	Нормальный вал	Ø	l					
18	100	-	R260 7-100-30	6	3,6	32,0	135	63	12,0	5000
200	-	R260 7-200-40	R260 7-200-30	14	14,0	60,0	231,1	63	12,0	3500
250	-	R260 7-250-40	-	10	14,0	60,0	231,1	63	12,0	3500
315	-	R260 7-315-40	-	12	20,0	60,0	293,2	63	12,0	3000
400	-	R260 7-400-40	-	16	34,0	60,0	344,4	80	12,0	2800
					50,0	60,0	423,7	80	12,0	2500

Рис.6 – Этапы выбора инструмента: а – выбор вида обработки, б – выбор типа инструмента, в – выбор параметров инструмента

В конечном итоге получаем полный набор инструмента для обработки детали «Корпус редуктора» (см. рис.7).

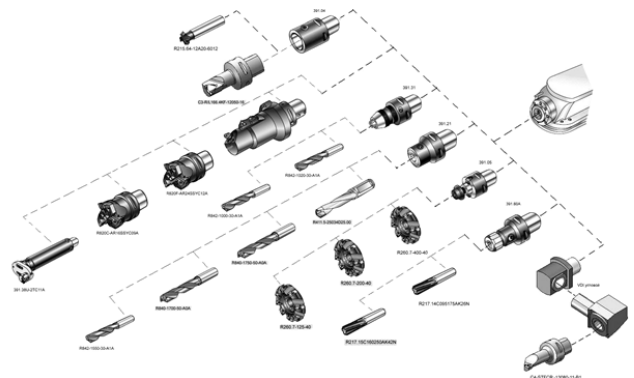


Рис.7 – Виды инструментальной оснастки для обработки детали «Корпус редуктора»

Расчет режимов резания проводим в программе «Coro Guide» сформированной специально для инструмента «Sandvik Coromant». Последовательность расчета такова (см. рис.8):

- Выбирается вид операции (фрезерование, точение, сверление и т.д.);
- Выбор типа операции (фрезерование торцевое, круговая интерполяция, фрезерование лыски);
- Ввод данных инструмента (подача на зуб, главный угол в плане, режущий диаметр) и расчет режимов (скорость резания, обороты шпинделя, скорость подачи и т.д.).

Далее на основе базового технологического процесса (ТП) был сформирован конкретный ТП в программе «Техно Про 5+», в котором были указаны операции, переходы, коды обрабатываемых поверхностей и режимные характеристики (см. рис.9). На выходе этой программы мы получаем всю технологическую документацию (маршрутная карта, операционная карта, карта эскизов).

Таблица 1 – Результаты расчета технологических размерных цепей

Результаты расчета технологических РЦ ЯГТУ, С Калачев О.Н., 2000 ** KON7 **

Замыкающие звенья				Составляющие звенья							
Р-черт.размер, Z-припуск								kon7			
Индекс звена	Графицы звена	Предел.значения		Индекс звена	Графицы звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения			
		max	min					Верхнее	Нижнее		
P1	2	9	406.300	403.000	A1	1	9	литьё чугуна и стали в земл.фор	411.100	1.500	-1.500
P2	2	4	33.400	32.600	A2	3	2	литьё чугуна и стали в земл.фор	31.260	0.800	-0.800
P3	4	6	50.630	50.000	A3	5	4	литьё чугуна и стали в земл.фор	48.430	0.800	-0.800
P4	7	9	50.630	50.000	A4	8	9	литьё чугуна и стали в земл.фор	48.430	0.800	-0.800
Z1	2	1	---	3.300	A5	9	2	фрезер-однократ	406.300	0.000	-0.760
Z2	4	3	---	1.000	A6	2	4	точение однократ	33.400	0.000	-0.340
Z3	6	5	---	1.000	A7	4	6	точение однократ	50.630	0.000	-0.400
Z4	7	8	---	1.000	A8	9	7	точение однократ	50.630	0.000	-0.400

Завершающим этапом исследования является имитационное моделирование 2D и 3D, а также написание управляющей программы для оборудования с ЧПУ.

С помощью программы SolidWorks была смоделирована имитационная 3D модель системы изготовления детали «Корпус редуктора», в которую вошли составные части и элементы гибкого производственного модуля (рис.10). Это дало возможность объемно-го представления ГПМ и расположения его частей друг относительно друга [2].

Для написания управляющей программы в системе SolidCAM была смоделирована обработка детали «Корпус редуктора». Это позволило получить рабочую программу для станка с ЧПУ (рис.12), а также определить основное время обработки для каждого

перехода, после чего мы можем вывести основное нормативное время обработки используя формулу (1) [4]:

$$N_{\text{час.заг}} = \sum T_{\text{шт}} = \sum T_0 + \sum T_{\text{доп}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{час.заг}}$ - общая норма времени на обработку детали;

$\sum T_{\text{шт}}$ - суммарное штучное время;

$\sum T_0$ - суммарное основное время обработки детали;

$\sum T_{\text{доп}}$ - суммарное вспомогательное время.

В имитационном моделировании на основании трехмерных моделей задается последовательность обработки детали. С помощью «ГПМ 3D редактор», был смоделирован алгоритм обработки детали типа «Корпус редуктора» на ГПМ MA2765M3Ф4 (рис.11).

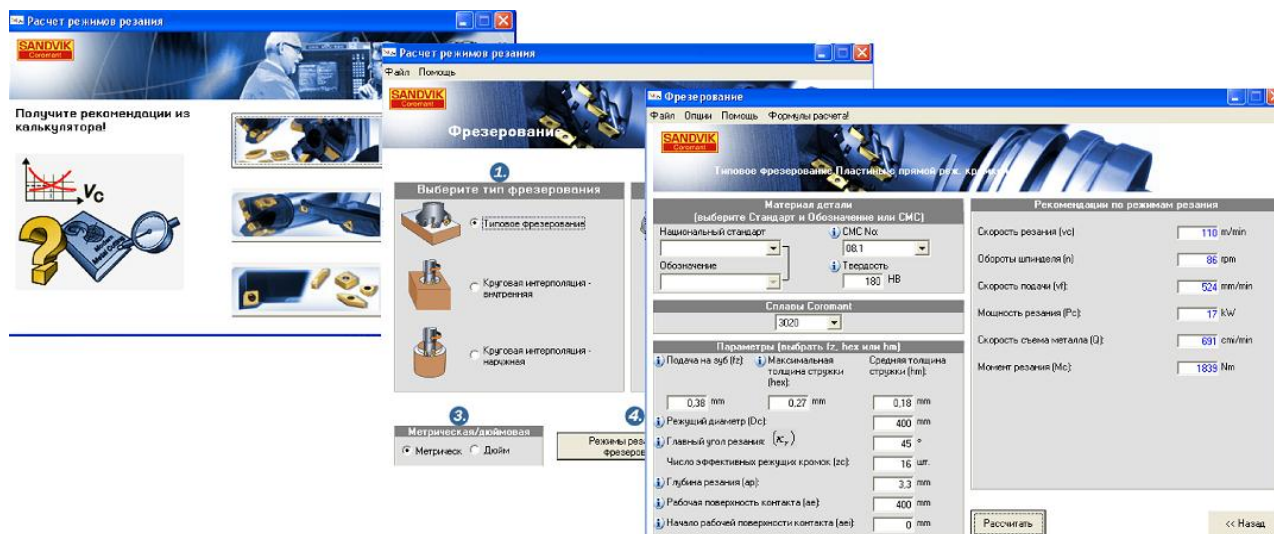


Рис.8 – Расчет режимов резания в программе «Coro Guide»

- Конкретные ТП
 - дет 001 Корпус редуктора
 - дет Деталь
 - оп 005 Вертикально-Фрезерная
 - пер 001 Установить и закрепить деталь на станке
 - пер 002 Фрезеровать поверхность прилегания 400601 предварительно и окончательно на глубину 3,3 мм
 - пер 003 Центровать 2 отверстия 630401 диаметром 10 мм
 - пер 004 Сверлить отв. 2 отв. 630401 диаметром 15,5 мм
 - пер 005 Расточить 2 отверстия 630401 до диаметра 30 мм
 - пер 006 Расточить 2 отверстия 630401 до диаметра 35 мм
 - пер 007 Контролировать обработанные поверхности
 - пер 008 Снять обработанную деталь со станка
 - оп 010 Комплексная
 - пер 001 Установить и закрепить деталь на станке
 - пер 002 Фрезеровать поверхность прилегания 400601 предварительно и окончательно на глубину 3,3 мм
 - пер 003 Центрировать 12 отверстий 650601 диаметром 10 мм
 - пер 004 Сверлить 6 отверстий 650601 диаметром 10,2 мм на глубину 32 мм
 - пер 005 Сверлить 6 отверстий 650601 диаметром 17,5 мм на глубину 37 мм
 - пер 006 Сверлить 4 отверстия 650602 диаметром 15,5 мм на глубину 32 мм
 - пер 007 Сверлить отверстие 650603 диаметром 10,2 мм на глубину 32 мм
 - пер 008 Центровать 5 отверстий 650604 диаметром 17 мм
 - пер 009 Зенковать 4 отверстия 590601 диаметром 18 мм под углом 60 градусов
 - пер 010 Сверлить отверстие 650603 диаметром 10,2 мм на глубину 32 мм
 - пер 011 Сверлить 5 отверстий 650604 диаметром 17,5 мм
 - пер 012 Нарезать резьбу 680601 M12 на 6 отв. на глубину 22 мм
 - пер 013 Нарезать резьбу 680602 M20 на 6 отв. на глубину 27 мм
 - пер 014 Нарезать резьбу 680603 M12 на отв. на глубину 22 мм
 - пер 015 Нарезать резьбу 680604 M20 на 5 отв. на глубину 27 мм
 - пер 016 Повернуть заготовку на 180 градусов
 - пер 017 Фрезеровать поверхность прилегания 400501 предварительно и окончательно на глубину 2,2 мм
 - пер 018 Фрезеровать поверхность прилегания 400502 предварительно и окончательно на глубину 2,2 мм
 - пер 019 Фрезеровать поверхность прилегания 400503 предварительно и окончательно на глубину 2,2 мм

- пер 020 Центровать 4 отверстия 650501 диаметром 10 мм
- пер 021 Центрировать отверстие 650502 диаметром 25 мм
- пер 022 Сверлить 4 отверстия 650501 диаметром 10,2 мм на глубину 30 мм
- пер 023 Сверлить отверстие 650502 диаметром 25,5 мм на глубину 22 мм
- пер 024 Нарезать резьбу 680501 M12 на 4 отв. на глубину 20 мм
- пер 025 Нарезать резьбу 680502 M27 на отв. на глубину 22 мм
- пер 026 Обточить диаметр 030501 на размер 220 мм предварительно на глубину 2,2 мм
- пер 027 Расточить отверстие 500501 до диаметра 199,5 мм предварительно на глубину 2,2 мм
- пер 028 Расточить отверстие 500502 до диаметра 179,5 мм предварительно на глубину 2,2 мм
- пер 029 Расточить отверстие 500503 до диаметра 164,6 мм предварительно на глубину 2,2 мм
- пер 030 Расточить отверстие 500501 до диаметра 200 мм
- пер 031 Расточить отверстие 500502 до диаметра 180 мм
- пер 032 Расточить отверстие 500503 до диаметра 165 мм
- пер 033 Точить фаску 590501 в размер 3 x 30 град.
- пер 034 Точить фаску 590502 в размер 3 x 30 град.
- пер 035 Расточить отверстие 500504 до диаметра 109,6 мм предварительно на глубину 2,2 мм
- пер 036 Расточить отверстие 500505 до диаметра 110 мм окончательно на глубину 0,4 мм
- пер 037 Точить фаску 590503 в размер 3 x 30 град.
- пер 038 Расточить отверстие 500505 до диаметра 60 мм предварительно на глубину 1,9 мм
- пер 039 Точить фаску 590504 в размер 2 x 30 град.
- пер 040 Расточить отверстие 500601 до диаметра 160 мм окончательно на глубину 0,4 мм
- пер 041 Расточить отверстие 500602 до диаметра 110 мм окончательно на глубину 0,4 мм
- пер 042 Расточить отверстие 500603 до диаметра 100 мм окончательно на глубину 0,4 мм
- пер 043 Точить фаску 590602 в размер 3 x 30 град.
- пер 044 Точить фаску 590603 в размер 3 x 30 град.
- пер 045 Точить фаску 590604 в размер 3 x 30 град.
- пер 046 Расточить 4 отверстия 650602 до диаметра 32 мм на глубину 32 мм
- пер 047 Контролировать обработанные поверхности
- пер 048 Снять обработанную деталь со станка
- оп 015 Моющая
- оп 020 Технический контроль

Рис.9 – Конкретный технологический процесс для обработки детали «Корпус редуктора»

Благодаря этому мы имеем возможность воочию проследить за трехмерным процессом обработки, увидеть взаимодействие составных частей ГПМ а также максимально сократить вспомогательное время при обработке.

На базе подготовленных исходных данных в системе «Pro edit» были разработаны имитационные модели гибких обрабатывающих модулей. В результате в системе «GPS» была разработана имитационная 2D модель гибкой производственной системы, которая состоит из моделей обрабатывающих модулей и транспортно-накопительной системы (рис.13). Это дало возможность провести анализ эффективности обработки ГПС - оценить уровень загрузки технологического оборудования, оценить энергетические затраты ГПС и эффективность использования ГПС по коэффициенту полезного действия, провести анализ процесса синтеза маршрута обработки детали «Корпус редуктора» (рис.14-17 соответственно).

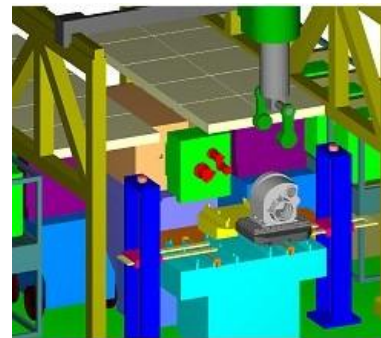


Рис.11 – Имитационная модель ГПМ MA2765M3Ф4

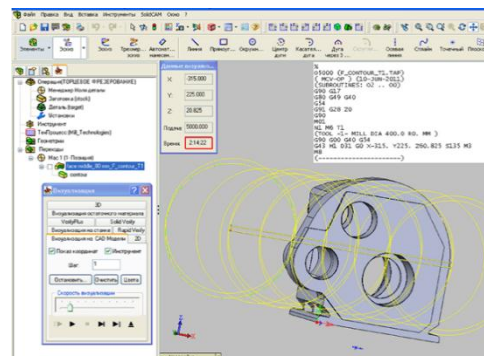


Рис.12 – Управляющая программа обработки детали

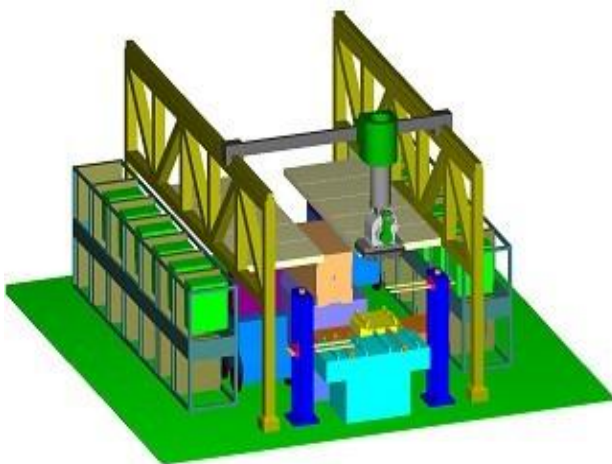


Рис.10 – Модель 3D ГПМ MA2765M3Ф4

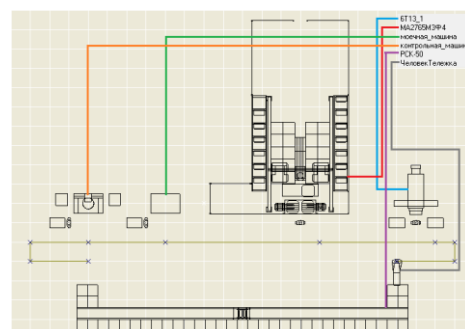


Рис.13 – Имитационная модель ГПС 2D

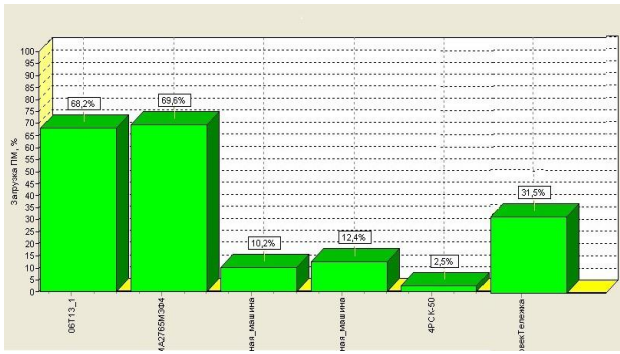


Рис. 14 – Гистограмма загрузки ПМ

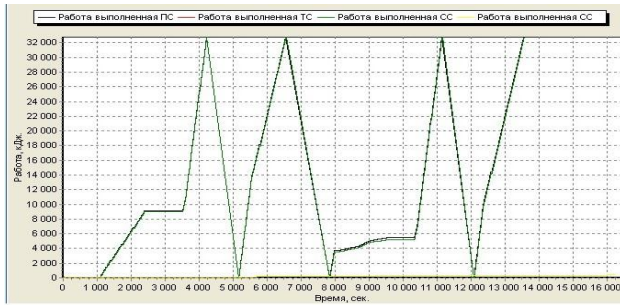


Рис. 15 – График затрат энергии в ПС

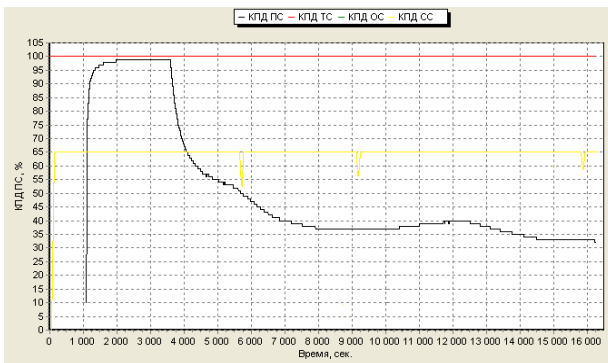


Рис. 16 – График КПД ПС

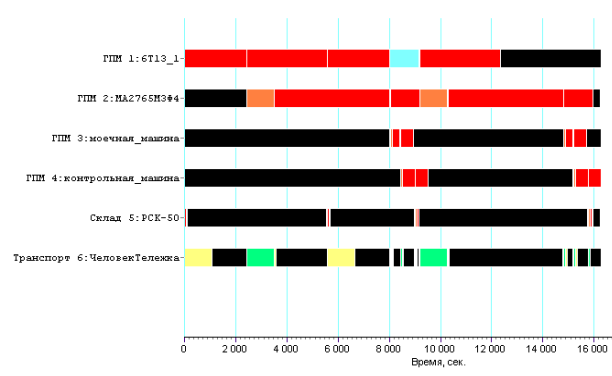


Рис. 17 – Диаграмма Ганта

Выводы. В результате исследований был проведен выбор основного и вспомогательного инструмента для обработки детали «Корпус редуктора» на ГПМ МА276МЗФ4, рассчитаны режимные характеристики для выбранного инструмента, разработана размерная цепь обработки детали, получена технологическая документация процесса обработки, создана управляющая программа обработки детали, создано трехмерное имитационное моделирование процесса обработки детали «Корпус редуктора», проведен анализ эффективности работы ГПС. Все это было выполнено при помощи специальных инженерных программ, что позволило сократить время для расчетов, более точно представить сам процесс обработки, получить более точные результаты исследований, и эти факторы являются серьезным стимулом для дальнейшего развития полной автоматизации машиностроения.

Список литературы: 1. Промышленные роботы в машиностроении. Альбом схем и чертежей : учеб. пособие для технич. ВУЗов / под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. — М. : Машиностроение, 1986. — С. 76. 2. Основы автоматизации машиностроительного производства: учебн. для машиностроит. спец. ВУЗов / Е.Р. Ковальчук, М.Г. Косов, В.Г. Митрофанов [и др.] ; под ред. Ю.М. Соломенцева. - 2-е изд., испр. — М. : Высш. шк., 1999. — С. 295. 3. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1985. - С. 322. : ил. 4. Балабанов А.Н. Краткий справочник технолога-машиностроителя / А.Н. Балабанов. — М. : Издательство стандартов, 1992. - С. 291-295. 5. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм [и др.] ; под общ. ред. А.А. Панова. — М. : Машиностроение, 1988. - С. 180. 6. Кучер А.М. Металлорежущие станки (альбом общих видов, кинематических схем и узлов) / А.М. Кучер, М.М. Киватицкий. — М. : Машиностроение, 1972. - С. 164. 7. Общетехнический справочник / под ред. Е.А. Скороходова - 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1982. - С. 15.

Bibliography (transliterated): 1. Solomenceva, Ju.M., eds. *Промышленные роботы в машиностроении. Альбом схем и чертежей: учеб. пособие для технич. ВУЗов*. Moscow : Mashinostroenie, 1986. –76 p. Print. 2. Koval'chuk, E.R., et al. *Основы автоматизации машиностроительного производства : учебн. для машиностроит. спец. ВУЗов*. 2nd ed. Moscow : Vyssh. shk., 1999. – 295 p. Print. 3. Kosilovoj, A.G., and R.K. Meshherjakov, eds. *Spravochnik tehnologa-mashinostroitelja*. 2Vols. Vol.1. 4th ed. Moscow : Mashinostroenie, 1985. – 322 p. Print. 4. Balabanov, A.N. *Kratkij spravochnik tehnologa-mashinostroitelja*. Moscow : Izdatel'stvo standartov, 1992. – PP.291-295. Print. 5. Panov, A.A., et al. *Obrabotka metallov rezaniem: Spravochnik tehnologa* Moscow : Mashinostroenie, 1988. – 180 p. Print. 6. Kucher, A.M., and M.M. Kivaticij. *Metallorézhusshie stanki (al'bom obshhjih vidov, kinematcheskijh shem i uzlov)* Moscow : Mashinostroenie, 1972. –164 p. Print. 7. Skorohodova, Ju.M., eds. *Obshhetehnicheskij spravochnik* 2nd ed. Moscow : Mashinostroenie, 1982. – P. 15. Print.

Поступила (received) 19.03.2015

Шелково Александр Николаевич – док. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ», тел.: (096)-923-49-80, e-mail: shan-56@mail.ru;

Степанов Михаил Сергеевич – док. техн. наук, проф., декан машиностроительного факультета НТУ «ХПИ», тел.: 057)-720-66-25;

Семченко Мария Сергеевна – аспирант, НТУ «ХПИ», тел.: (096)-475-11-99, e-mail: maho-4an@mail.ru.