

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:

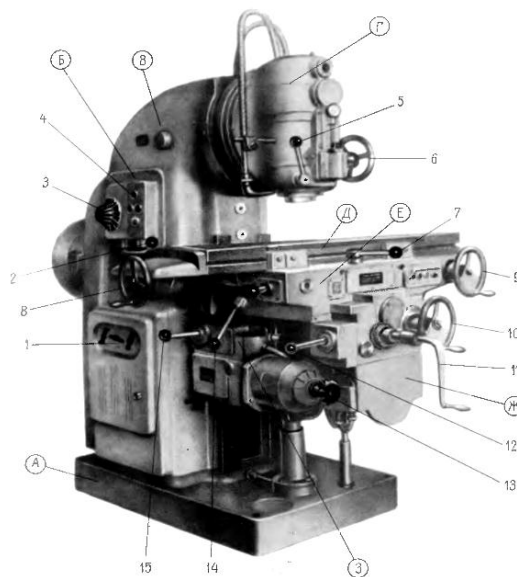
- выполнить анализ литературных данных по данной тематике;
- разработать технологическую документацию для обработки детали «Корпус редуктора» в условиях крупносерийного автоматизированного производства;
- подобрать технологическую оснастку для базирования и транспортирования объекта обработки;

- 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».

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

Деталь «Корпус редуктора» изготовлена из чугуна марки СЧ 15-32 [7], имеет габаритные размеры 400*430*450 мм, качества 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 диаметральные и крепежные.

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



A detailed technical drawing of a machine tool, likely a lathe or a similar turning machine, shown from a perspective view. The machine is mounted on a heavy, rectangular cast-iron base. The main body of the machine is composed of several large, interconnected cast-iron parts. A large, cylindrical component, possibly a headstock or a tailstock, is visible on the left side. A long, horizontal bed or carriage is mounted on the base, with a carriage and a tool post assembly. A large, rectangular, box-like component, possibly a motor or a control unit, is mounted on the right side. The machine is shown on a grid background. Numbered callouts (1 through 17) are used to identify various parts of the machine.

1. Headstock
2. Tailstock
3. Carriage
4. Tool post
5. Tool holder
6. Motor
7. Control unit
8. Bed
9. Carriage
10. Tool post
11. Tool holder
12. Headstock
13. Tailstock
14. Carriage
15. Tool post
16. Tool holder
17. Motor

Результаты исследований. В результате исследований был проведен размерных 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).

ISSN 2079-004X. Вісник НТУ «ХПІ». 2015. №4 (1113)

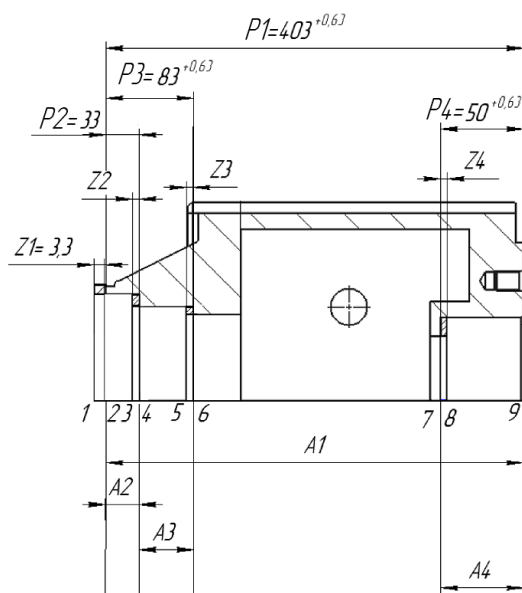


Рис.4 – Размерная схема технологической обработки

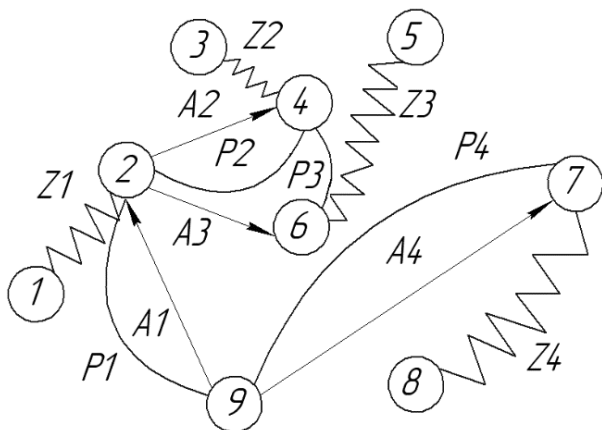


Рис.5 - Граф технологической размерной цепи

- 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 МА2765МЗФ4 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.

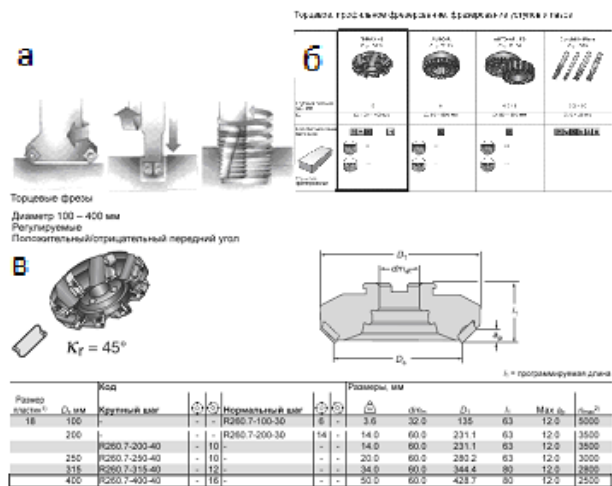


Рис.6 – Этапы выбора инструмента: а – выбор вида обработки, б – выбор типа инструмента, в – выбор параметров инструмента

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

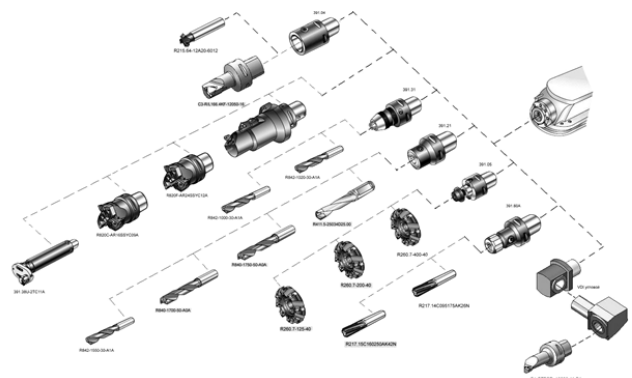


Рис.7 – Виды инструментальной оснастки для обработки детали «Корпус редуктора»

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											
Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Предел.значения		Ин-декс звена	Гра-ницы звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения		kon7	
		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-еоднократ	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 объемного 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]:

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

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

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

$\sum T_o$ - 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 МА2765МЗФ4 (рис.11).

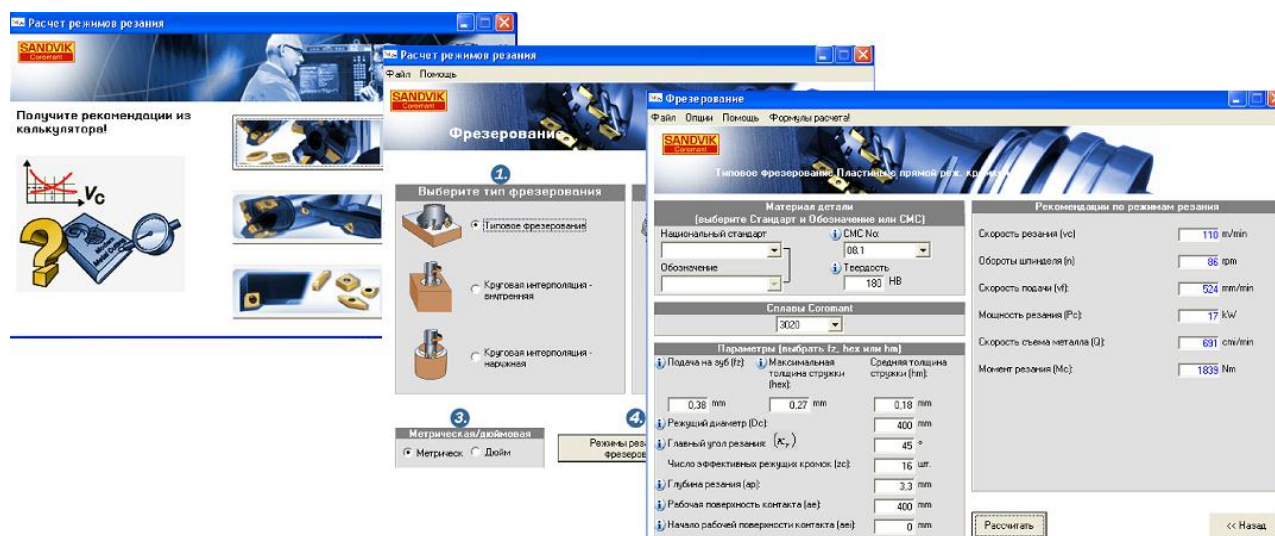


Рис.8 – Расчет режимов резания в программе «Coro Guide»

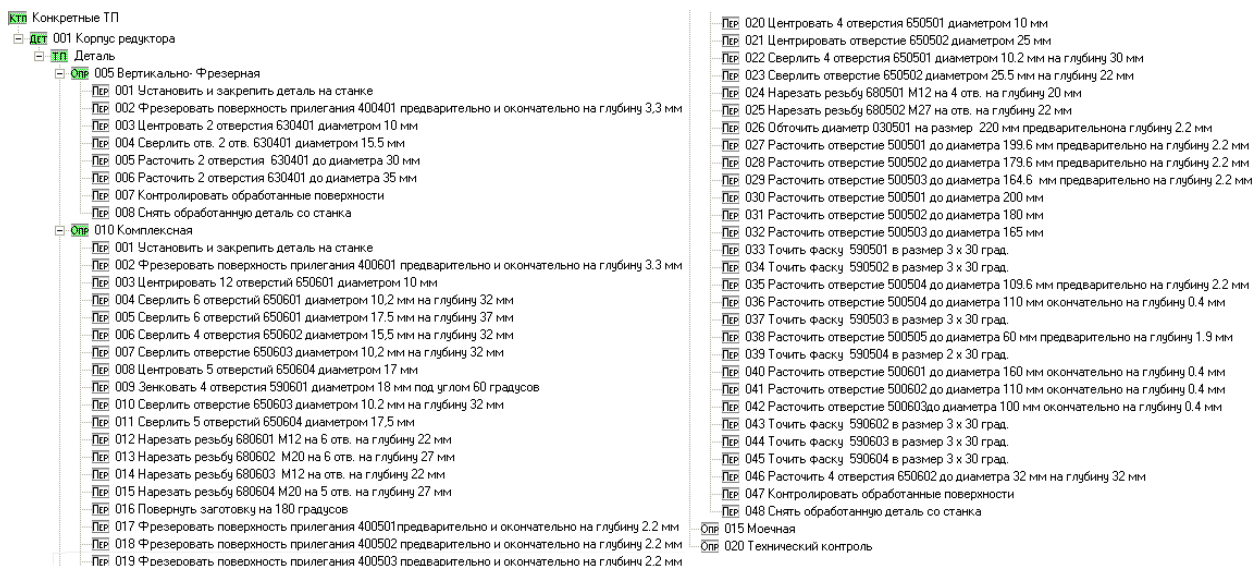


Рис.9 – Конкретный технологический процесс для обработки детали «Корпус редуктора»

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).

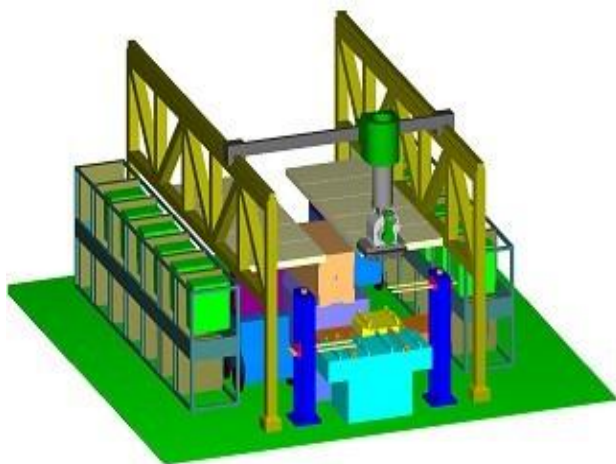


Рис.10 – Модель 3D ГПМ MA2765M3Ф4

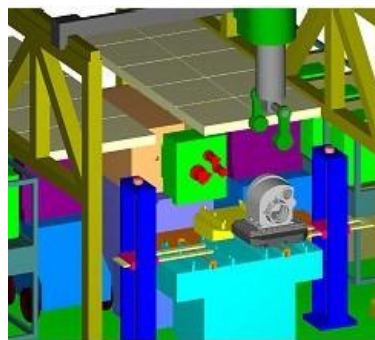


Рис.11 – Имитационная модель ГПМ MA2765M3Ф4

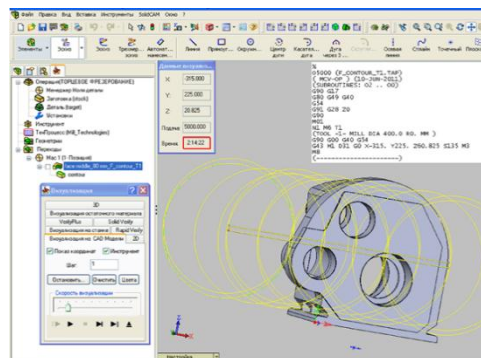


Рис.12 – Управляющая программа обработки детали

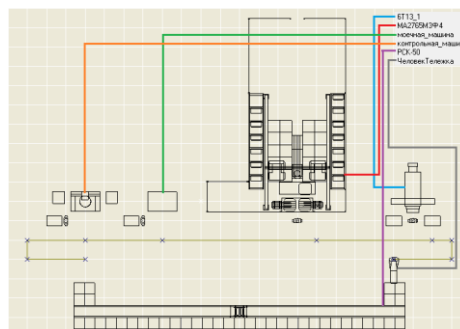


Рис.13 – Имитационная модель ГПС 2D

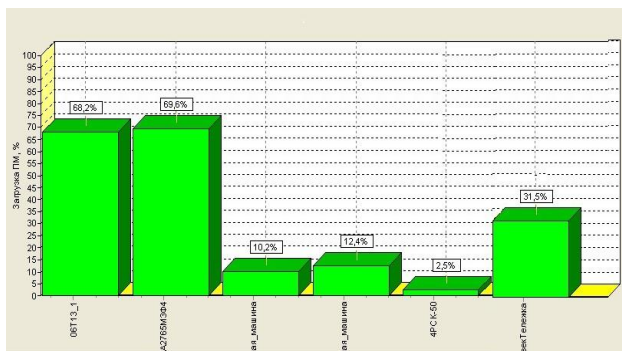


Рис.14 – Гистограмма загрузки ПМ

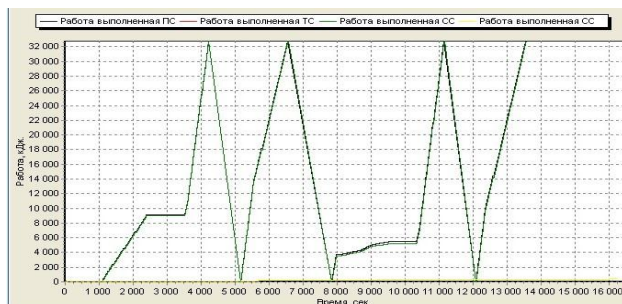


Рис.15 – График затрат энергии в ПС

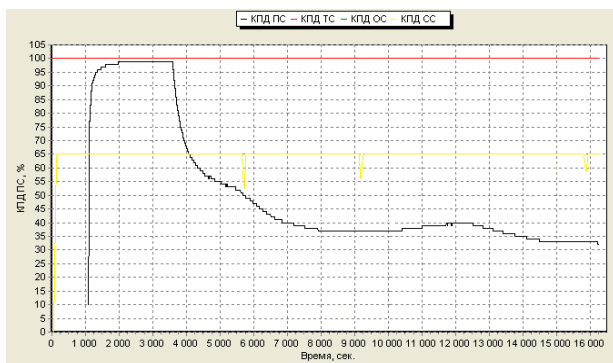


Рис.16 – График КПД ПС

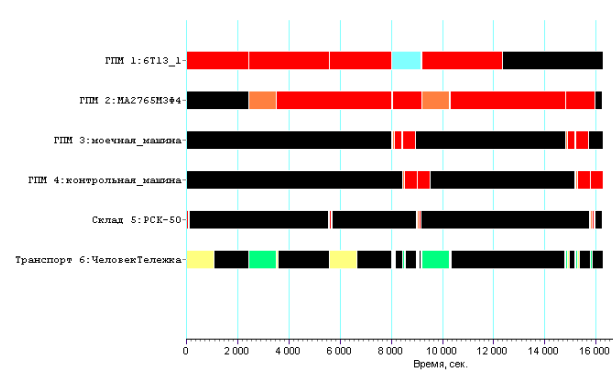


Рис.17 – Диаграмма Ганта

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 ППС. 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. *Promyshlennye roboty v mashinostroyenii. Al'bom shem i chertezhej: ucheb. posobie dlja tehnic. VUZov*. Moscow : Mashinostroyenie, 1986. —76 p. Print. 2. Koval'chuk, E.R., et al. *Osnovy avtomatizacii mashinostroyitel'nogo proizvodstva : uchebn. dlja mashinostroyit. spec. VUZov*. 2nd ed. Moscow : Vyssh. shk., 1999. — 295 p. Print. 3. Kosilovoj, A.G., and R.K. Meshherjakov, eds. *Spravochnik tehnologa-mashinostroyitelja*. 2Vols. Vol.1. 4th ed. Moscow : Mashinostroyenie, 1985. — 322 p. Print. 4. Balabanov, A.N. *Kratkij spravochnik tehnologa-mashinostroyitelja*. Moscow : Izdatel'stvo standartov, 1992. — PP.291-295. Print. 5. Panov, A.A., et al. *Obrabotka metallov rezaniem: Spravochnik tehnologa* Moscow : Mashinostroyenie, 1988. — 180 p. Print. 6. Kucher, A.M., and M.M. Kivaticikij. *Metallorazhushhie stanki (al'bom obshhih vidov, kinematicheskikh shem i uzlov)* Moscow : Mashinostroyenie, 1972. —164 p. Print. 7. Skorohodova, Ju.M., eds. *Obshhetekhnicheskij spravochnik* 2nd ed. Moscow : Mashinostroyenie, 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.