

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли  
Высшая школа производственного менеджмента

## КУРСОВАЯ РАБОТА

на тему «Оперативно-производственное планирование на  
машиностроительном предприятии»

по дисциплине: «Проектирование бизнеса»

Выполнил студент гр.3733802/90901 \_\_\_\_\_ Тазетдинова М. Г.  
(подпись)

Руководитель  
Ст.преподаватель \_\_\_\_\_ Симакова З.Л.  
(подпись)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г.

Санкт-Петербург  
2023

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»  
Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение курсовой работы по дисциплине:**  
**«Проектирование бизнеса»**

студенту \_\_\_\_\_ Тазетдиновой М.Г. \_\_\_\_\_  
*Фамилия Имя Отчество*

*Цель выполнения курсовой работы:* создание системы по оперативно-производственному планированию машиностроительного предприятия, определении, анализу и улучшении оптимальной годовой производственной программы, расчету календарно-плановых нормативов для составления производственных программ.

*Исходные данные к выполнению курсовой работы:* 1) Теоретические материалы лекций. 2) Исходные данные, представленные в методических указаниях по курсовой работе. 3) Информация, представленная на сайтах в интернет. 4) Программное обеспечение MS Office.

5) Вариант индивидуального задания представлен в табл. 1.5.

*Структура курсовой работы:* курсовая работа состоит из титульного листа, задания, реферата, содержания, введения, основной части, заключения, списка использованных источников, приложений (в случае необходимости).

*Оформление курсовой работы:* печать на с двух сторон листа бумаги формата А5 через 1,0 интервал., кегль – 10 выравнивание по ширине, шрифт – Times New Roman. Допускается применение в таблицах и рисунках меньшего размера шрифта, но не менее чем 6-м кеглем. Абзацный отступ – 1 см. Подчеркивание текста или его отдельных частей не допускается. Все поля – 20 мм. Страницы нумеруют арабскими цифрами, номер располагают по центру, в нижней части страницы без точки. Объем курсовой работы должен быть от 35 до 70 страниц.

*Срок сдачи законченной курсовой работы:* устанавливается преподавателем в начале семестра.

*Порядок подготовки к защите курсовой работа:* Для представления своего курсовой работы студенту необходимо подготовить доклад.

*Порядок защиты курсовой работы:* Защита курсовой работы проходит публично в устной форме.

Вариант № 14

номер изделия	1			2			3			4			5		
номера деталей	4	3	5	7	2	4	3	1	9	2	6	7	3	2	5
применяемость деталей	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1
Номер детали	3														
Номер изделия	2														
Месяц	апрель														
Номер группы оборудования	1														

Дата выдачи задания: 08.09.2023

Преподаватель: \_\_\_\_\_ Симакова З.Л.  
 (подпись) ( инициалы, фамилия)

Задание принял к выполнению: \_\_\_\_\_  
 (подпись) ( инициалы, фамилия)

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ .....	7
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ГОДОВОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ЗАВОДА .....	11
2.1 Общие положения .....	11
2.2 Подготовка исходных данных для расчета ГППЗ .....	12
2.2.1. Расчет трудоемкости изготовления изделий .....	12
2.2.2. Определение состава и первоначальной стоимости оборудования.....	13
2.2.3. Расчет фондов времени оборудования .....	15
2.2.4. Определение удельных потерь от простоев оборудования	17
2.2.5. Расчет себестоимости, цены и прибыли по изделиям.....	19
2.3 Расчет производственной мощности завода .....	22
2.4 Расчет оптимальной ГППЗ с помощью ROMQM .....	26
2.6 Послеоптимизационный анализ и улучшение ГППЗ.....	37
2.7 Расчет экономических показателей ГППЗ и загрузки оборудования	46
3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГППЗ ПО КВАРТАЛАМ И МЕСЯЦАМ .....	50
4. РАСЧЕТ КАЛЕНДАРНО-ПЛАНОВЫХ НОРМАТИВОВ.....	51
4.1. Расчет размеров и ритмов партий деталей .....	51
4.2 Расчет длительности производственного цикла обработки партии деталей .....	52
4.3 Расчет заделов, опережений запуска и выпуска партий деталей	55
5. СОСТАВЛЕНИЕ ПОДЕТАЛЬНОЙ МЕСЯЧНОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ПО ЦЕХАМ.....	58
5.1 Расчет размеров и ритмов первых партий деталей .....	58
5.2 Расчет общего количества деталей, подлежащих запуску и выпуску за месяц .....	59
5.3 Расчет сроков запуска и выпуска партий деталей.....	61
5.4. Расчет технико-экономических показателей и загрузки оборудования цехов на планируемый месяц.....	62
5.5. Составление подетального плана-графика запуска - выпуска партий деталей .....	65
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	67
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	69
ПРИЛОЖЕНИЕ Б .....	70
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	71

ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....	72
ПРИЛОЖЕНИЕ Д .....	73
ПРИЛОЖЕНИЕ Е .....	74
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж .....	75
ПРИЛОЖЕНИЕ З .....	76
ПРИЛОЖЕНИЕ И .....	77
ПРИЛОЖЕНИЕ Й .....	78
ПРИЛОЖЕНИЕ К .....	79
ПРИЛОЖЕНИЕ Л .....	80
ПРИЛОЖЕНИЕ М .....	81

## ВВЕДЕНИЕ

Целью курсовой работы является осуществление оперативно-производственного планирования машиностроительного предприятия, определении, анализу и улучшении оптимальной годовой производственной программы, расчету календарно-плановых нормативов для составления производственных программ.

В курсовой работе осуществляется оперативно-производственное планирование (ОПП) на машиностроительном заводе по производству на примере такой продукции, как гидроцилиндр. Машиностроительный завод состоит из трех цехов: первый и второй – механические, третий – сборочный. На заводе обрабатывается и собирается определенная номенклатура деталей (10 наименований) и изделий (5 наименований), а также заданы маршрут и трудоемкость обработки деталей по группам взаимозаменяемого оборудования, другие нормативно-справочные данные, необходимые для ОПП.

Достижение поставленной цели будет производиться путем постановки и решения промежуточных задач.

В процессе ОПП необходимо установить, в каких производственных подразделениях и когда должны выполняться производственные задания по изготовлению деталей и сборке изделий, подлежащих выпуску. Правильная организация ОПП должна обеспечить равномерное выполнение заданного плана выпуска продукции по количеству, номенклатуре и сроком, с наилучшими технико-экономическими показателями и загрузкой оборудования.

Основой ОПП являются календарно-плановые нормативы (КПН), позволяющие произвести взаимную увязку календарных планов и согласование работы взаимосвязанных рабочих мест, участков, цехов и обеспечивающие наиболее эффективное использование оборудования, материальных и денежных ресурсов предприятия.

Расчитанные КПН и результаты распределения годовой производственной программы завода по плановым периодам (кварталам и месяцам) используются для составления подетальных месячных производственных программ цехам, графиков запуска и выпуска партий деталей по цехам, подетально-пооперационных календарных планов-графиков по рабочим местам.

При определении, анализе и улучшении оптимальной ГППЗ будет использован пакет прикладных программ POMQM.

## 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Исходные данные для осуществления дальнейших расчетов по курсовой работе приведены в таблицах 1.1-1.5.

Таблица 1.1 - Исходные данные

Показатель	Обозначение	Единица измерения	Значение показателя
Резервное опережение между цехами	$T_p$	раб. дн.	1 ... 3
Резервное опережение перед сборкой изделий	$T_{p,сб}$	раб. дн.	3 ... 5
Длительность производственного цикла сборки изделий	$T_{ц,сб}$	раб. дн.	2 ... 5
Ритм запуска-выпуска партий изделий на сборке	$R$	раб. дн.	1
Межоперационное время	$t_{мо}$	ч	2 ... 8
Число смен работы	$K_{см}$	-	2
Продолжительность смены	$T_{см}$	ч	8
Коэффициент выполнения норм времени с учетом плановых заданий по снижению трудоёмкости	$\gamma$	-	0,9 ... 1,4
Процент времени простоя оборудования в ремонте от номинального фонда времени	$P_{пр}$	%	5 ... 15
Нормативная трудоёмкость сборки изделий	$t_{мсб}$	ч/изд.	3 ... 15

Конкретные значения показателей в пределах указанных интервалов выбираются далее из указанных в таблице 1.1.

Таблица 1.2 - Исходные данные об обработке деталей по группам оборудования

Номер цеха	Номер группы взаимозаменяемого оборудования	Количество единиц оборудования в группе	Норма штучно-калькуляционного времени обработки деталей по операциям $t_{шкij}$ ; ч/шт.									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	5	0,12	0,33	0,55	0,25	1,14	0,17	0,21	0,31	0,15	0,33
	2	6	0,71	0,27	0,44	0,43	0,63	0,22	0,14	0,32	0,25	0,27
	3	7	2,18	2,03	1,53	0,37	0,42	0,31	0,35	1,12	0,22	0,23
2	4	7	0,51	0,29	0,42	0,72	0,63	0,81	1,02	2,13	1,31	0,91
	5	6	0,38	0,21	0,48	0,53	0,18	1,17	0,36	1,84	1,64	2,62
	6	5	0,41	1,12	1,01	2,81	0,61	2,46	0,52	0,47	1,17	0,91
	7	7	0,47	0,51	0,21	0,29	3,21	0,63	1,51	1,27	0,28	0,51
	8	7	0,91	0,16	0,33	0,63	0,56	2,72	0,23	0,24	1,44	0,77

В таблице 1.2 приведены исходные данные по обработке деталей на соответствующем оборудовании, а в таблице 1.3 фактические остатки деталей в заделах.

Таблица 1.3 - Фактические остатки деталей в заделах (в процентах от нормативных заделов)

Вид задела	Процент фактического задела для деталей									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Цикловой задел в первом цехе	90	130	80	100	120	60	70	90	100	110
Оборотный задел между первым и вторым цехами	40	120	160	90	110	150	130	90	80	120
Резервный задел между первым и вторым цехами	100	80	40	120	110	140	90	50	100	110
Цикловой задел во втором цехе	120	90	110	140	130	100	110	90	80	100
Оборотный задел между вторым и третьим цехами	110	100	120	130	60	90	100	100	140	130
Резервный задел между вторым и третьим цехами	120	110	100	120	90	130	80	60	130	100
Цикловой задел в третьем цехе	80	100	110	60	120	70	140	90	100	70

Индивидуальное задание (номера деталей, входящих в каждое изделие; применяемость (комплектность) деталей в изделиях) приведено в таблице 1.4.

Таблица 1.4 - Применяемость деталей в изделиях

Показатель	Номер изделий														
	1			2			3			4			5		
Номер изделия	4	3	5	7	2	4	3	1	9	2	6	7	3	2	5
Номера деталей	4	3	5	7	2	4	3	1	9	2	6	7	3	2	5
Применяемость деталей	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1

Индивидуальные примеры всех расчетов выполняются по показателям, приведенным в таблице 1.5.

Таблица 1.5 - Индивидуальные показатели, по которым необходимо привести примеры расчетов

Показатель	Номер
Номер детали m	3
Номер изделия i	2
Месяц s	апрель
Номер группы оборудования k	1

Условно задается, что на каждой группе оборудования выполняется одна операция, поэтому принимается, что индекс группы оборудования соответствует индексу операции.

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ГОДОВОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ЗАВОДА

### 2.1 Общие положения

Годовая производственная программа любого предприятия составляется по номенклатуре и количеству выпускаемой продукции (выполняемых работ и оказываемых услуг). При этом следует учесть многие внешние и внутренние условия.

Внешние: спрос потребителей (наименование и количество продукции, ее ассортимент, комплектность); ограничения на поставку материалов, полуфабрикатов, покупных готовых комплектующих изделий; рыночные цены и др.

Внутренние: ресурсы завода (оборудование, производственные площади, рабочая сила и т.д.); дополнительные финансовые средства, которые может выделить предприятие на увеличение соответствующих ресурсов; стремление предприятия повысить серийность (количество) выпускаемой продукции соответствующего наименования; жизненный цикл продукции и т.д.

Одна из задач работы найти оптимальную годовую производственную программу условного завода (ГППЗ).

В таблице 2.1 приведены виды изделий, которые будут выпускаться и результаты маркетингового исследования спроса на них и рыночных цен.

Таблица 2.1 - Выпускаемые изделия

Номер изделия	Наименование изделия и его параметры (диаметр поршня в мм)	Рыночная цена изделия, руб./шт.	Ограничения по спросу, шт.	
			нижний предел	верхний предел
1	Гидроцилиндр 40	14 450,00	50	2500
2	Гидроцилиндр 50	20 010,00	100	1700
3	Гидроцилиндр 63	39 300,00	-	3000
4	Гидроцилиндр 75	45 900,00	200	-
5	Гидроцилиндр 80	55 950,00	-	-

Гидроцилиндр (гидравлический цилиндр) – объемный гидравлический двигатель, основанный на принципе возвратно поступательного движения, происходящего за счет подачи жидкости под высоким давлением. В настоящее время они нашли свое широкое

применение во всех секторах промышленности. Они входят в устройство практически каждой механической машины [1].

## 2.2 Подготовка исходных данных для расчета ГППЗ

### 2.2.1. Расчет трудоемкости изготовления изделий

Нормативная трудоемкость равна

$$t'_{misl} = \sum_{i=1}^{I_{misl}} t'_{шкiisl} K_{im},$$

где  $t'_{шкiisl}$  – норма штучно-калькуляционного времени обработки  $i$ -й детали на  $s$ -й группе взаимозаменяемого оборудования в  $l$ -м цехе, ч/шт.;  $i = \overline{1, I}$  – индекс номера детали;  $I_{misl}$  – общее число наименований деталей  $m$ -го изделия, обрабатываемых на  $s$ -й группе взаимозаменяемого оборудования в  $l$ -м цехе;  $K_{im}$  – применяемость (комплектность)  $i$ -й детали в  $m$ -м изделии, шт./изд.

Пример расчета:

$$t'_{211} = 0,33*2+0,25*2+0,21*2 = 1,58 \text{ ч/изд.}$$

Фактическая трудоемкость изготовления изделий по цехам и группам оборудования с учетом выполнения норм времени  $t_{misl}$  равна:

$$t_{misl} = \frac{t'_{misl}}{\gamma_{sl}},$$

где  $t'_{misl}$  – нормативная трудоемкость обработки  $m$ -го изделия на  $s$ -й группе взаимозаменяемого оборудования в  $l$ -м цехе, ч/изд.;  $\gamma_{sl}$  – коэффициент выполнения норм времени с учетом плановых заданий по снижению трудоемкости на  $s$ -й группе оборудования в  $l$ -м цехе.

Пример расчета:

$$t_{211} = 1,58/0,9 = 1,76 \text{ ч/изд.}$$

Таблица 2.2 - Трудоемкость изготовления изделий

Номер цеха	Номер группы	Коэффициент	Номер изделий									
			1		2		3		4		5	
			$t'_{misl}$ , ч/изд. Нормативная	$t_{misl}$ , ч/изд. Фактическая	$t'_{misl}$ , ч/изд.	$t_{misl}$ , ч/изд.						
1	1	0,9	3,63	4,03	1,58	1,76	1,37	1,52	1,21	1,34	2,35	2,61

	2	0,9	2,57	2,86	1,68	1,87	1,84	2,04	1,12	1,24	1,61	1,79
	3	1	4,27	4,27	5,50	5,50	5,46	5,46	5,03	5,03	6,01	6,01
2	4	1,1	2,82	2,56	4,06	3,69	2,66	2,42	3,22	2,93	1,63	1,48
	5	1,2	1,85	1,54	2,20	1,83	2,98	2,48	3,12	2,60	1,08	0,90
	6	1,3	6,05	4,65	8,90	6,85	3,60	2,77	7,68	5,91	3,86	2,97
	7	1,4	7,13	5,09	4,62	3,30	1,17	0,84	3,79	2,71	4,44	3,17
	8	1,4	2,41	1,72	2,04	1,46	3,01	2,15	5,99	4,28	1,21	0,86
	Итого		30,73	26,73	30,58	26,25	22,09	19,68	31,16	26,04	22,19	19,80

### 2.2.2. Определение состава и первоначальной стоимости оборудования

Состав оборудования для механообрабатывающих цехов определяется из следующих соображений:

- группы взаимозаменяемого оборудования и количество единиц оборудования в каждой группе указаны в табл. 1.2;

- виды и цена оборудования подобраны с учетом вида изготавливаемой продукции (табл. 2.1);

- первоначальная стоимость оборудования включает в себя затраты на его доставку, установку и монтаж.

- дата (год и месяц) установки оборудования, одинаковая для всех единиц соответствующей группы оборудования задана самостоятельно: 4 группы оборудования приобретены в 2022 году, 4 группы – в 2021 году.

Стадии технологического процесса изготовления гидроцилиндра включают следующее:

1. Операция отрезки на мерные заготовки;
2. Обработка торцев и фасок;
3. Обработка базовых поверхностей;
4. Черновое растачивание внутренней поверхности цилиндра;
5. Фрезерование плоскостей;
6. Работы с внутренними поверхностями;
7. Сверление отверстий и нарезание резьбы;
8. Сварочная операция.

Таблица 2.1 (а) - Данные о приобретенном оборудовании

Номер цеха	Группа оборудования	Наименование оборудования	Цена, руб	Амортизированная группа оборудования	Срок полезного использования оборудования
1	1	Ленточнопильный	250 000	5	8
	2	Токарный	3 050 000	5	8
	3	Вертикально-фрезерный	162 880	5	8
2	4	Радиально-сверлильный	190 000	5	8
	5	Горизонтально-расточной	345 000	5	8
	6	Вертикально-хонинговальный	120 620	5	8
	7	Токарно-винторезный	900 000	5	8
	8	Сварочный	313 000	5	8

Характеристики оборудования приведены в таблице 2.3, приложение А.

Срок полезного использования оборудования устанавливается с учетом «Классификатора основных средств, включаемых в амортизационные группы» утвержденного Постановлением правительства РФ от 1.01.2002 №1 [2].

Остаточная стоимость единицы оборудования на начало планируемого года  $\Pi'_{osl}$  определяется по формуле

$$\Pi'_{osl} = \Pi'_{sl} \left(1 + \frac{P_y}{100}\right) (1 - \tau_{sl} \frac{H_{asl}}{100}),$$

где  $\Pi'_{sl}$  – цена единицы оборудования  $s$ -й группы взаимозаменяемого оборудования в  $l$ -м цехе, руб.;  $P_y$  – затраты на доставку, установку и монтаж оборудования по отношению к цене оборудования, %;  $\tau_{sl}$  – число лет работы единицы  $s$ -й группы взаимозаменяемого оборудования в  $l$ -м цехе, лет;  $H_{asl}$  – норма

амортизации оборудования  $s$ -й группы взаимозаменяемого оборудования в  $l$ -м цехе, %.

Пример расчета:

Предполагается, что на заводе используется в соответствии с его учетной политикой линейный способ начисления амортизации.

Годовая норма амортизационных отчислений для каждой группы оборудования  $H_{asl}$  рассчитывается как

$$H_{as} = \frac{1}{СПИ_s},$$

где  $СПИ_s$  - срок полезного использования оборудования  $s$ -й группы, лет.

Пример расчета остаточной стоимости единицы оборудования и годовой нормы амортизационных отчислений для 1 группы оборудования:

$$H_{a1} = 1/8 = 0,13 = 13\%$$

$$Ц'_{o11} = 250\,000 * (1+8\%) * (1 - (6/12 * 13\%)) = 253\,125,00 \text{ руб.}$$

### 2.2.3. Расчет фондов времени оборудования

Различают календарный, номинальный и эффективный фонды времени оборудования. Календарный фонд времени в плановом периоде определяется по календарю. В производственной деятельности он используется редко. Номинальный фонд времени работы единицы оборудования в планируемом году  $\Phi_n$  определяется по производственному календарю планируемого года или по формуле

$$\Phi_n = \sum_1^{D_p} \sum_1^{K_{cm}} T_{cm}$$

или

$$\Phi_n = D_p \times K_{cm} \times T_{cm} - D_p^* \times K_{cm} \times T_{np},$$

где  $T_{cm}$  – продолжительность смены, ч;  $D_p$  – число рабочих дней в планируемом году, раб.дн.;  $K_{cm}$  – число рабочих смен в рабочем дне, см.;  $D_p^*$  – число предпраздничных дней в году, раб.дн.;  $T_{np}$  – число часов, на которое сокращена продолжительность смен в предпраздничные дни, ч.

Производственный календарь на 2023 год (для пятидневной рабочей недели) найден на сайте КонсультантПлюс, продолжительность смены и число смен - исходные данные [3].

$$\Phi_n = 8 * 247 * 2 - 3 * 2 * 1 = 3946 \text{ ч}$$

Эффективный фонд времени единицы оборудования  $\Phi'_{эфsl}$

равен

$$\Phi'_{эфsl} = \Phi_n \left(1 - \frac{P_{nps}}{100}\right),$$

где  $P_{nps}$  — плановый процент времени простоя оборудования  $s$ -й группы в ремонте, % (установлен с учетом табл. 1.1).

Эффективный фонд времени работы  $s$ -й группы оборудования в  $l$ -м цехе  $\Phi_{эфsl}$  равен

$$\Phi_{эфsl} = \Phi'_{эфsl} Q_{sl},$$

где  $Q_{sl}$  — количество единиц оборудования  $s$ -й группы оборудования в  $l$ -м цехе (табл. 1.2), ед.

Пример расчета по 1 группе оборудования:

$$\Phi'_{эф11} = 3946 * (1 - 5/100) = 3748,7 \text{ ч/год}$$

$$\Phi_{эф11} = 3748,7 * 5 = 18743,5 \text{ ч/год}$$

Результаты расчета фондов времени сведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4 - Фонды времени работы оборудования в 2023 году

Номера цеха	Номер группы оборудования	Плановый простой оборудования в ремонте $P_{nps}$ , %	Количество единиц оборудования в группе $Q_{sl}$ , ед.	Номинальный фонд времени единицы оборудования $\Phi'_{нsl}$ , ч/год	Эффективный фонд времени единицы оборудования $\Phi'_{эфsl}$ , ч/год	Эффективный фонд времени группы оборудования $\Phi_{эфsl}$ , ч/год
1	1	5	5	3946	3748,7	18743,5
	2	5	6	3946	3748,7	22492,2
	3	5	7	3946	3748,7	26240,9
2	4	15	7	3946	3354,1	23478,7
	5	15	6	3946	3354,1	20124,6
	6	15	5	3946	3354,1	16770,5
	7	15	7	3946	3354,1	23478,7
	8	15	7	3946	3354,1	23478,7

#### 2.2.4. Определение удельных потерь от простоев оборудования

Для расчета ГППЗ по критерию «Максимум прибыли с учетом потерь от простоев оборудования» необходимо рассчитать удельные (на 1 час) потери от простоев единицы оборудования.

Потери от простоев оборудования включают затраты, которые имеют место, когда оборудование не производит продукции, взносами, накладные расходы. Это амортизационные отчисления, основная и дополнительная заработная плата вспомогательных рабочих, обслуживающих оборудование, со страховыми.

Сумма амортизационных отчислений на 1 час простоя оборудования  $C_{asl}$  равна

$$C_{asl} = \frac{Ц'_{nst} \times \frac{H_{asl}}{100}}{\Phi'_{эф sl}},$$

где  $C_{asl}$  – сумма амортизационных отчислений на 1 час простоя оборудования  $s$ -й группы взаимозаменяемого оборудования в  $l$ -м цехе, руб./ч;  $Ц'_{sl}$  – первоначальная стоимость единицы оборудования  $s$ -й группы в  $l$ -м цехе, руб.;  $H_{asl}$  – норма амортизации оборудования  $s$ -й группы взаимозаменяемого оборудования в  $l$ -м цехе, %;  $\Phi'_{эф sl}$  – эффективный фонд времени единицы оборудования  $s$ -й группы взаимозаменяемого оборудования в  $l$ -м цехе, ч.

Основная заработная плата вспомогательных рабочих (электрика, смазчика, наладчика и др.), обслуживающих оборудование, на 1 час простоя оборудования  $Z_{osl}$  рассчитывается как

$$Z_{osl} \equiv \frac{Z_{osl}}{q_{sl} \Phi'_{ял}},$$

где  $Z_{osl}$  – месячный оклад одного вспомогательного рабочего, обслуживающего оборудование  $s$ -й группы в  $l$ -м цехе, руб./мес.;  $q_{sl}$  – количество единиц оборудования  $s$ -й группы (может быть и других близких групп), обслуживаемых одним вспомогательным рабочим в  $l$ -м цехе;  $\Phi'_{ял}$  – явочный фонд времени работы вспомогательного рабочего за месяц в  $l$ -м цехе, ч.

Явочный фонд времени одного вспомогательного рабочего в месяц  $\Phi'_{ял}$  определяется по формуле

$$\Phi'_{ял} \equiv \sum_{k=1}^{Др} T_{cmk} \left(1 - \frac{P_{noml}}{100}\right),$$

где  $D_p$  – число рабочих дней в планируемом месяце, раб. дн.;  $T_{cmk}$  – продолжительность одной смены в  $k$ -м рабочем дне, ч;  $P_{noml}$  – потери рабочего времени вспомогательного рабочего в  $l$ -м цехе (очередные отпуска, болезнь, сокращение продолжительности смены при работе в ночное время и т. д.), %.

При расчете явочного фонда времени учитывается, что рабочий работает одну смену, в предпраздничные дни рабочий день на один час короче. Планируется  $P_{noml}$  самим предприятием и обычно составляет от 12 до 21,5% согласно данным об явочном фонде рабочих для производственных предприятий, в данном случае задается равным 12,5%.

Пример расчетов:

$$C_{all} = 270\,000 * 13\% / 3748,7 = 9,00 \text{ руб./час.}$$

$$\Phi_{ял} = (((247*8)-3)/12)*(1-0,125) = 143,86 \text{ ч.}$$

$$З_{o11} = 60\,000 / (143,86*5) = 83,41 \text{ руб./час.}$$

Дополнительная заработная плата вспомогательного рабочего на 1 час простоя оборудования

$$З_{osl} = З_{osl} \times \frac{P_{osl}}{100},$$

где  $P_{osl}$  – процент дополнительной заработной платы вспомогательного рабочего (за очередной отпуск, работу в ночную смену, сверхурочную работу, оплату больничного в первые три дня и др.), %. Обычно значение составляет от 10 до 20 процентов к основной заработной плате. Для расчётов он равен 12%.

Пример расчета:

$$З_{д11} = 83,41 * 12\% = 10,01 \text{ руб./ч}$$

Значения  $З_{osl}$ ,  $P_{osl}$  и  $q_{sl}$  установлены по отраслевым данным в Интернете. Страховые взносы  $O_{sl}$  от заработной платы вспомогательных рабочих на 1 час простоев оборудования определяются как

$$O_{sl} \equiv (З_{osl} + З_{osl}) \times \frac{P_{c.в} + P_{np}}{100},$$

где  $P_{c.в}$  – процент страховых взносов (30%);  $P_{np}$  – процент отчислений на страхование от несчастных случаев и профессиональных заболеваний (по данным ФСС в зависимости от основного вида деятельности), %.

Данные о  $P_{np}$  устанавливаются согласно Классификатору видов экономической деятельности по классам профессионального риска в

соответствии с Приказом Минздрава от 25.12.2012 № 625н. Для кода ОКВЭД 28 «Производство машин и оборудования» ставка страхования от несчастных случаев составляет 1,3% [4].

Пример расчета:

$$O_{11} = (83,41+10,01) \cdot (0,3+0,013) = 29,24 \text{ руб/ч}$$

Накладные расходы, связанные с обслуживанием оборудования (на смазочные материалы, электроэнергию, запасные части и т.п.), приходящиеся на 1 час простоя оборудования  $C_{nsl}$ , определяются в процентах  $P_{nsl}$  от основной заработной платы вспомогательных рабочих в диапазоне от 10% до 15%.

$$\text{Пример расчета: } (83,41+10,01+29,24) \cdot 10\% = 12,27 \text{ руб/ч.}$$

Результаты расчета удельных потерь от простоев оборудования сведены в табл. 2.5, приложение Б

### 2.2.5. Расчет себестоимости, цены и прибыли по изделиям

При имеющихся исходных данных себестоимость изделий можно рассчитать на основе доли в ней основной заработной платы производственных рабочих. Сумма основной заработной платы производственных рабочих-сдельщиков по изделию  $Z_{om}$  определяется как

$$Z_{om} = \sum_{l=1}^L \sum_{s=1}^S t'_{msl} \times Z_{cs},$$

где  $t'_{msl}$  - **нормативная** трудоемкость обработки  $m$ -го изделия на  $s$ -й группе оборудования в  $l$ -м цехе, ч/изд. (см. табл. 5);  $Z_{cs}$  - часовая тарифная ставка рабочих соответствующего разряда, работающих на  $s$ -й группе оборудования, руб./ч.

Значение  $Z_{cs}$  устанавливается исходя из среднемесячной основной заработной платы рабочего-станочника или сборщика соответствующего разряда и часовой тарифной сетки в отрасли. Часовая тарифная сетка (в машиностроении обычно шестиразрядная – см. табл. 2.6) устанавливается предприятиями самостоятельно исходя из суммы средств, которые они могут направить на заработную плату. Учитывается также средняя заработная плата по отрасли и на других предприятиях, которые могут быть конкурентами по персоналу.

Таблица 2.6 - Тарифная сетка

Разряд рабочего	1	2	3	4	5	6
Тарифный коэффициент	1	1,2	1,4	1,5	1,7	2
Абсолютное увеличение тарифных коэффициентов	0	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3
Относительное увеличение тарифных коэффициентов	0	1,2	1,2	1,1	1,13	1,2
Часовая тарифная ставка, руб./ч.	315,11	378,13	441,16	472,67	535,69	630,22

Часовая тарифная сетка рабочего  $p$ -го разряда равна

$$Z_{cp} = Z_{c1} \times \alpha_p,$$

где  $Z_{c1}$  - часовая тарифная ставка рабочего первого разряда, руб./ч;  $\alpha_p$  – тарифный коэффициент рабочего  $p$ -го разряда.

Как правило, на предприятии устанавливается среднемесячная основная заработная плата производственных рабочих – сдельщиков самого массового разряда (в данном случае - четвертого), их часовая тарифная ставка, а затем с учетом тарифной сетки определяются часовые тарифные ставки других разрядов.

Данные о заработной плате рабочего-станочника взяты на сайте [www.superjob.ru](http://www.superjob.ru) по актуальным вакансиям [5].

Расчет часовых тарифных ставок:

$$Z_{c4} = 68\,000 / 143,86 = 472,67 \text{ руб./ч.}$$

$$Z_{c1} = 472,67 / 1,5 = 315,11 \text{ руб./ч.}$$

$$Z_{c2} = 315,11 * 1,2 = 378,13 \text{ руб./ч.}$$

Результаты расчета основной заработной платы производственных рабочих на изготовление изделий сводятся в табл. 2.7, приложение В. Разряды работы заданы исходя из сложности оборудования и технологии обработки.

Далее производится расчет себестоимости, цены и прибыли по изделиям с помощью табл. 2.8. Цена, прибыль и рентабельность изделий используются в дальнейшем при определении ГППЗ и т.д.

Процент основной заработной платы производственных рабочих в себестоимости изделий и планируемая рентабельность изделий установлена по отраслевым данным.

Планируемая прибыль от одного изделия  $\Pi'_m$  равна

$$\Pi'_m = C_m * \frac{P'_m}{100},$$

где  $P'_m$  - планируемая прибыль от одного изделия m-го, руб./изд., тогда планируемая цена изделия на основе издержек предприятия  $\Pi'_m$  определяется как

$$\Pi'_m = C_m + \Pi'_m.$$

По результатам исследования рынка, в том числе по Интернет, устанавливается рыночная цена каждого изделия  $\Pi_m$ . Затем рассчитывается прибыль,  $\Pi_m$  получаемая при рыночной цене, как

$$\Pi_m = \Pi_m^* - C_m$$

и рентабельность изделия по формуле

$$P_m = \frac{\Pi_m}{\Pi_m} \cdot 100.$$

Примеры расчетов показателей:

$$C_2 = 15\,495,91/100 * 11 = 140\,871,87 \text{ руб./изд.}$$

$$\Pi_2 = 140\,871,87 * 3,9/100 = 5\,494, \text{ руб./изд.}$$

$$\Pi_2 = 140\,871,87 + 5\,494,00 = 146\,365,87 \text{ руб./изд.}$$

Рыночная цена изделия умножается на комплектность, для изделия 2 – на 8 шт.

$$\Pi_2 = 160\,080,00 - 140\,871,87 = 19\,208,13 \text{ руб./изд.}$$

$$P_2 = 19\,208,13/160\,080,00 * 100\% = 12\%$$

Таблица 2.8 - Себестоимость, цена и прибыль по изделиям

Номер изделия	Основная заработная плата производственных рабочих по изделиям						По результатам исследования рынка		
	Сумма $Z_m$ , руб./изд.	Процент от себестоимости, %	Себестоимость изделия $C_m$ , руб./изд.	Рентабельность изделия $P$ , %	Прибыль от единицы изделия $P_m$ , руб./изд.	Расчетная цена изделия $C_m$ , руб./изд.	Рыночная цена изделия $C_m$ , руб./изд.	Прибыль от единицы изделия $P_m$ , руб./изд.	Рентабельность изделия $P_m$ , %
1	15 603,04	11	141 845,85	3,9	5 531,99	147 377,84	144 500,00	2 654,15	1,84
2	15 495,91	11	140 871,87	3,9	5 494,00	146 365,87	160 080,00	19 208,13	12,00
3	11 927,59	11	108 432,61	3,9	4 228,87	112 661,48	117 900,00	9 467,39	8,03
4	16 257,84	11	147 798,58	3,9	5 764,14	153 562,73	183 600,00	35 801,42	19,50
5	12 582,07	11	114 382,48	3,9	4 460,92	118 843,40	167 850,00	53 467,52	31,85

### 2.3 Расчет производственной мощности завода

Производственная мощность машиностроительного завода - максимально возможный выпуск изделий на имеющемся оборудовании (производственных площадях). Она определяется производственной мощностью ведущего цеха(ов), а производственная мощность цеха - производственной мощностью ведущей группы оборудования.

Производственная мощность завода по каждому изделию  $N^*m$  можно рассчитать двумя путями.

1. По формуле

$$N_m^* = \min_{s,d} \left\{ \frac{\Phi_{s,dst}}{t_{mcl}} \right\},$$

2. С помощью программы POMQM.

Оптимальная производственная мощность завода, в отличие от оптимальной ГППЗ, рассчитывается без ограничений на спрос изделий. Например, для первого наименования изделия экономико-математическая модель расчета оптимальной производственной мощности завода будет иметь вид:

целевая функция

$$f(x) = \sum_{m=1}^M X_m \rightarrow \max,$$

ограничения

$$\sum_{m=1}^M t_{msl} X_m \leq \Phi_{\text{эфсл}},$$

$$X_1 > 0; X_2 = 0; X_3 = 0; X_4 = 0; X_5 = 0.$$

Аналогично для других наименований изделий.

Результаты расчетов производственной мощности по отдельным наименованиям изделий представлены в табл. 2.9.

В дальнейшем при расчете ГППЗ необходимо учитывать, что годовая программа выпуска по изделию верхняя граница спроса  $X_m$  не может быть больше производственной мощности завода  $N_m^*$  по данному изделию.

При выпуске заводом нескольких наименований однородных изделий производственную мощность завода можно определить как максимальный выпуск основного (или условного) изделия, выразив через него остальные наименования изделий через коэффициент приведения.

При этом экономико-математическая модель расчета оптимальной производственной мощности завода имеет следующий вид:

целевая функция

$$f(x) = \sum_{m=1}^M \alpha_m X_m \rightarrow \max;$$

ограничения

$$\sum_{m=1}^M t_{msl} X_m \leq \Phi_{\psi sl}, \quad s = \overline{1, S}, \quad l = \overline{1, L};$$

$$X_m \geq 0.$$

где  $\alpha_m$  – коэффициент приведения  $m$ -го изделия к основному изделию.

Величина  $\alpha_m$  определяется как отношение соответствующего показателя  $m$ -го изделия к этому показателю основного изделия, выпускаемого в наибольшем количестве. Таким показателем могут быть физические единицы (масса, мощность в кВт, производительность, быстродействие и т. п.), трудоемкость изготовления изделий, цена или себестоимость изделий и т. д.

Пример расчетов по изделию 2 и оборудованию 1:

$$N^*_2 = 18743,5 / 1,76 = 10676 \text{ шт/год}$$

$$N^*_2 = \min \{10676; 12049; 4771\} = 4771 \text{ шт/год - цех 1}$$

$$N^*_2 = \min \{6361; 10977; 2449; 7114; 16112\} = 2449 \text{ шт/год - цех 2}$$

$$N^*_2 = \min \{4771; 2449\} = 2449 \text{ шт/год - завод в целом}$$

Таблица 2.9 - Производственная мощность по изделиям, шт./год

Номер группы оборудования	Номер изделия				
	1	2	3	4	5
1	4647	10676	12313	13941	7178
2	7876	12049	11001	18074	12573
3	6145	4771	4806	5216	4366
Цех 1	4647	4771	4806	5216	4366
4	9158	6361	9709	8020	15844
5	13053	10977	8103	7740	22360
6	3603	2449	6056	2838	5648
7	4610	7114	28094	8672	7403
8	13639	16112	10920	5487	27165
Цех 2	3603	2449	6056	2838	5648
Завод в целом	3603	2449	4806	2838	4366
Завода в целом, полученная с помощью POMQM	3606	2448	4806	2837	4366

	X1	X2	X3	X4	X5	RHS	Equation form	
Maximize	0		0	0	0		Max	
Constraint 1	4.03	1.76	1.52	1.34	2.61	<=	18743	4.03X1 + 1.76X2 + 1.52X3 +
Constraint 2	2.86	1.87	2.04	1.24	1.79	<=	22492	2.86X1 + 1.87X2 + 2.04X3 +
Constraint 3	4.27	5.5	5.46	5.03	6.01	<=	26240	4.27X1 + 5.5X2 + 5.46X3 +
Constraint 4	2.56	3.69	2.42	2.93	1.48	<=	23478	2.56X1 + 3.69X2 + 2.42X3 +
Constraint 5	1.54	1.83	2.48	2.6	.9	<=	20124	1.54X1 + 1.83X2 + 2.48X3 +
Constraint 6	4.65	6.85	2.77	5.91	2.97	<=	16770	4.65X1 + 6.85X2 + 2.77X3 +
Constraint 7	5.09	3.3	.84	2.71	3.17	<=	23478	5.09X1 + 3.3X2 + .84X3 +
Constraint 8	1.72	1.46	2.15	4.28	.86	<=	23478	1.72X1 + 1.46X2 + 2.15X3 +

Рисунок 1 - Исходный план по производственной мощности

Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	0	.6788	0	-Infinity	.6788
X2	2448,175	0	1	0	Infinity
X3	0	.4044	0	-Infinity	.4044
X4	0	.8628	0	-Infinity	.8628
X5	0	.4336	0	-Infinity	.4336
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
Constraint 1	0	14434,21	18743	4308,788	Infinity
Constraint 2	0	17913,91	22492	4578,088	Infinity
Constraint 3	0	12775,04	26240	13464,96	Infinity
Constraint 4	0	14444,23	23478	9033,767	Infinity
Constraint 5	0	15643,84	20124	4480,161	Infinity
Constraint 6	.146	0	16770	0	32680,73
Constraint 7	0	15399,02	23478	8078,979	Infinity
Constraint 8	0	19903,66	23478	3574,336	Infinity

Рисунок 2 – Результат расчета

## 2.4 Расчет оптимальной ГППЗ с помощью POMQM

Производственная программа – это планируемый объём производства продукции в заданной номенклатуре и ассортименте.

Оптимальная производственная программа – программа, в наибольшей степени соответствующая возможностям сбыта и структуре ресурсов предприятия и обеспечивающая наилучшие результаты по принятому критерию.

В общем виде, наиболее распространенная модель оптимальной производственной программы содержит целевую функцию и систему ограничений.

В качестве критериев оптимальности ГППЗ будем использовать следующие:

- максимум выпуска продукции в натуральном выражении;
- максимум выпуска продукции в стоимостном выражении (по рыночным ценам);
- максимум прибыли, которую можно получить от продажи продукции;
- максимум суммарной трудоемкости изготовления ГППЗ;
- максимум прибыли от ГППЗ с учетом потерь от простоев оборудования;
- многокритериальная модель.

В качестве ограничений в модели ГППЗ учитываем следующее:

- 8 ограничений – по оборудованию;
- ограничения по спросу, которые устанавливаем самостоятельно;
- число переменных 5 (количество изготавливаемых изделий)
- экстремум целевой функции - максимум.

На рисунках 3–18 представлены исходные данные и результаты расчета по каждой модели. В таблице 2.11, приложение Г сведены результаты расчетов оптимальных ГППЗ по всем критериям и прибыль по ним. В таблице 2.12, приложение Д сведены простои по группам оборудования и потери от простоев в денежном выражении.

Рассмотрим модель ГППЗ по критерию максимум выпуска в натуральном выражении с ограничением на спрос.

Целевая функция:  $f(x) = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \Rightarrow \max$

	X1	X2	X3	X4	X5		RHS	Equation form
Maximize	1	1	1	1	1			Max X1 + X2 + X3 + X4
Constraint 1	4,03	1,76	1,52	1,34	2,61	<=	18743,5	4.03X1 + 1.76X2 +
Constraint 2	2,86	1,87	2,04	1,24	1,79	<=	22492,2	2.86X1 + 1.87X2 +
Constraint 3	4,27	5,5	5,46	5,03	6,01	<=	26240,9	4.27X1 + 5.5X2 +
Constraint 4	2,56	3,69	2,42	2,93	1,48	<=	23478,7	2.56X1 + 3.69X2 +
Constraint 5	1,54	1,83	2,48	2,6	,9	<=	20124,6	1.54X1 + 1.83X2 +
Constraint 6	4,65	6,85	2,77	5,91	2,97	<=	16770,5	4.65X1 + 6.85X2 +
Constraint 7	5,09	3,3	,84	2,71	3,17	<=	23478,7	5.09X1 + 3.3X2 +
Constraint 8	1,72	1,46	2,15	4,28	,86	<=	23478,7	1.72X1 + 1.46X2 +
верх. гран. изд1	1	0	0	0	0	<=	2500	X1 <= 2500
ниж. гран. изд1	1	0	0	0	0	>=	50	X1 >= 50
верх. гран. изд2	0	1	0	0	0	<=	1700	X2 <= 1700
ниж. гран. изд2	0	1	0	0	0	>=	100	X2 >= 100
верх. гран. изд3	0	0	1	0	0	<=	3000	X3 <= 3000
ниж. гран. изд4	0	0	0	1	0	>=	200	X4 >= 200

Рисунок 3 - Исходный план

Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	980,1359	0	1	,8314	1,5657
X2	100	0	1	-Infinity	1,3861
X3	3000	0	1	,9167	Infinity
X4	200	0	1	-Infinity	1,2273
X5	685,4775	0	1	,6387	1,0938
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
Constraint 1	0	8000,456	18743,5	10743,04	Infinity
Constraint 2	0	11907,01	22492,2	10585,19	Infinity
Constraint 3	,1101	0	26240,9	23990,68	31021,42
Constraint 4	0	11740,04	23478,7	11738,65	Infinity
Constraint 5	0	9855,261	20124,6	10269,34	Infinity
Constraint 6	,114	0	16770,5	14408,08	19220,98
Constraint 7	0	12924,84	23478,7	10553,86	Infinity
Constraint 8	0	13751,35	23478,7	9727,345	Infinity
верх. гран. изд1	0	1519,864	2500	980,1359	Infinity
ниж. гран. изд1	0	930,1359	50	-Infinity	980,1359
верх. гран. изд2	0	1600	1700	100	Infinity
ниж. гран. изд2	-,3861	0	100	0	671,7339
верх. гран. изд3	,0833	0	3000	0	3771,585
ниж. гран. изд4	2273	0	200	0	889,0006

Рисунок 4 - Результат расчета ГППЗ по критерию «Максимум выпуска в натуральном выражении» с учетом ограничений на спрос

Плюсы критерия: достигается максимальная загрузка оборудования и удовлетворяется спрос покупателей по данным изделиям. Можно использовать, если происходит выход на новые рынки и необходимо предоставить на рынке как можно больше продукции. Минусы критерия: не учитывается цена изделия и прибыль от продажи, нет гарантии, что все выпущенные изделия будут проданы.

Максимальный выпуск не дает гарантии, что будет получена максимальная прибыль.

Полученный оптимальный план: производятся изделия - №1 в количестве 980 шт., №2–100 шт., №3–3000 шт., №4–200 шт., №5–685 шт. При этом прибыль составит - 76 709 588,08 руб.

Рассмотрим ГППЗ по критерию «Максимум выпуска в стоимостном выражении» с учетом ограничений на спрос. Коэффициентами целевой функции являются рыночные цены. Целевая функция:

$$f(x)=144500*x_1+160080*x_2+117900*x_3+183600*x_4+167850*x_5=>max$$

	X1	X2	X3	X4	X5		RHS	Equation form
Maximize	144500	160080	117900	183600	167850			Max 144500X1 +
Constraint 1	4,03	1,76	1,52	1,34	2,61	<=	18743,5	4.03X1 + 1.76X2 +
Constraint 2	2,86	1,87	2,04	1,24	1,79	<=	22492,2	2.86X1 + 1.87X2 +
Constraint 3	4,27	5,5	5,46	5,03	6,01	<=	26240,9	4.27X1 + 5.5X2 +
Constraint 4	2,56	3,69	2,42	2,93	1,48	<=	23478,7	2.56X1 + 3.69X2 +
Constraint 5	1,54	1,83	2,48	2,6	,9	<=	20124,6	1.54X1 + 1.83X2 +
Constraint 6	4,65	6,85	2,77	5,91	2,97	<=	16770,5	4.65X1 + 6.85X2 +
Constraint 7	5,09	3,3	,84	2,71	3,17	<=	23478,7	5.09X1 + 3.3X2 +
Constraint 8	1,72	1,46	2,15	4,28	,86	<=	23478,7	1.72X1 + 1.46X2 +
верх. гаран.изд1	1	0	0	0	0	<=	2500	X1 <= 2500
ниж. гаран.изд1	1	0	0	0	0	>=	50	X1 >= 50
верх. гаран.изд2	0	1	0	0	0	<=	1700	X2 <= 1700
ниж. гаран.изд2	0	1	0	0	0	>=	100	X2 >= 100
верх. гаран.изд3	0	0	1	0	0	<=	3000	X3 <= 3000
ниж. гаран.изд4	0	0	0	1	0	>=	200	X4 >= 2000

Рисунок 5 - Исходный план

Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	50	0	144500	-Infinity	151237,4
X2	100	0	160080	-Infinity	205638,4
X3	0	35493,44	117900	-Infinity	153393,4
X4	952,8015	0	183600	174516,5	334004,5
X5	3441,732	0	167850	128011,7	219371,0
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
Constraint 1	0	8106,328	18743,5	10637,17	Infinity
Constraint 2	0	14820,03	22492,2	7672,174	Infinity
Constraint 3	21705,61	0	26240,9	14255,99	31457,28
Constraint 4	0	15096,23	23478,7	8382,472	Infinity
Constraint 5	0	14289,76	20124,6	5834,842	Infinity
Constraint 6	12592,35	0	16770,5	14192,69	30852,18
Constraint 7	0	9401,817	23478,7	14076,88	Infinity
Constraint 8	0	16208,82	23478,7	7269,88	Infinity
верх. гаран.изд1	0	2450	2500	50	Infinity
ниж. гаран.изд1	-6737,376	0	50	0	1064,94
верх. гаран.изд2	0	1600	1700	100	Infinity
ниж. гаран.изд2	-45558,44	0	100	0	723,8611
верх. гаран.изд3	0	3000	3000	0	Infinity
ниж. гаран.изд4	0	752,8015	200	-Infinity	952,8015

Рисунок 6 - Результаты расчета ГППЗ по критерию «Максимум выпуска в стоимостном выражении» с учетом ограничений на спрос

Плюсы критерия: учитываются рыночные цены изделий, получаем план, который приносит максимальную выручку.

Минусы критерия: не учитывается прибыль от продажи изделий, максимальная выручка не позволяет судить об эффективности работы завода.

Полученный оптимальный план: производятся изделия №1–50 шт., №2–100 шт., №4–952 шт., №5–3 441 шт., изделие №3 не производится. При этом плане прибыль составит 220 118 203,00 руб.

Рассмотрим ГППЗ по критерию «Максимум прибыли» в модели линейного программирования с учетом ограничений на спрос. Целевая функция:

$$f(x) = 2\,654x_1 + 19\,208x_2 + 9\,467x_3 + 35\,801x_4 + 53\,467x_5 \Rightarrow \max$$

Плюсы критерия: учитывает прибыль от продажи изделий, что позволяет оценить эффективность работы предприятия. Минусы: не учитывает потери от простоев оборудования.

Полученный оптимальный план: производятся изделия №1–50 шт., №2–100 шт., №4–200 шт., №5–4 071 шт., изделие №3 - не выпускается. При этом прибыль расчетная составит 226 880 076,13 руб.

	X1	X2	X3	X4	X5		RHS	Equation form
Maximize	2654.15	19208.13	9467.39	35801.42	53467.52			Max 2654.15X1 + 19208.13X2
Constraint 1	4.03	1.76	1.52	1.34	2.61	<=	18743.5	4.03X1 + 1.76X2 + 1.52X3 +
Constraint 2	2.86	1.87	2.04	1.24	1.79	<=	22492.2	2.86X1 + 1.87X2 + 2.04X3 +
Constraint 3	4.27	5.5	5.46	5.03	6.01	<=	26240.9	4.27X1 + 5.5X2 + 5.46X3 +
Constraint 4	2.56	3.69	2.42	2.93	1.48	<=	23478.7	2.56X1 + 3.69X2 + 2.42X3 +
Constraint 5	1.54	1.83	2.48	2.6	.9	<=	20124.6	1.54X1 + 1.83X2 + 2.48X3 +
Constraint 6	4.65	6.85	2.77	5.91	2.97	<=	16770.5	4.65X1 + 6.85X2 + 2.77X3 +
Constraint 7	5.09	3.3	.84	2.71	3.17	<=	23478.7	5.09X1 + 3.3X2 + .84X3 +
Constraint 8	1.72	1.46	2.15	4.28	.86	<=	23478.7	1.72X1 + 1.46X2 + 2.15X3 +
верх. огранич.изд1	1	0	0	0	0	<=	2500	X1 <= 2500
ниж. огранич.изд1	1	0	0	0	0	>=	50	X1 >= 50
верх. огранич.изд2	0	1	0	0	0	<=	1700	X2 <= 1700
ниж. огранич.изд2	0	1	0	0	0	>=	100	X2 >= 100
верх. огранич.изд3	0	0	1	0	0	<=	3000	X3 <= 3000
ниж. огранич.изд4	0	0	0	1	0	>=	200	X4 >= 200

Рисунок 7 - Исходный план

Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	50	0	2654,15	-Infinity	37987,73
X2	100	0	19208,13	-Infinity	48930,34
X3	0	39107,09	9467,39	-Infinity	48574,48
X4	200	0	35801,42	-Infinity	44749,02
X5	4071,78	0	53467,52	42776,65	Infinity
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
Constraint 1	0	7470,654	18743,5	11272,85	Infinity
Constraint 2	0	14625,71	22492,2	7866,486	Infinity
Constraint 3	8896,426	0	26240,9	1769,5	31457,28
Constraint 4	0	16369,46	23478,7	7109,235	Infinity
Constraint 5	0	15680,0	20124,6	4444,603	Infinity
Constraint 6	0	2577,813	16770,5	14192,69	Infinity
Constraint 7	0	9444,655	23478,7	14034,04	Infinity
Constraint 8	0	18888,97	23478,7	4589,73	Infinity
верх. огран.изд1	0	2450	2500	50	Infinity
ниж. огран.изд1	-35333,59	0	50	0	1064,94
верх. огран.изд2	0	1600	1700	100	Infinity
ниж. огран.изд2	-29722,21	0	100	0	723,861
верх. огран.изд3	0	3000	3000	0	Infinity
ниж. огран.изд4	-8947,601	0	200	0	952,8015

Рисунок 8 - Результаты расчета ГППЗ по критерию «Максимум прибыли» без ограничений по спросу на изделие

Рассмотрим ГППЗ по критерию максимум прибыли в целочисленной модели. Целевая функция:

$$f(x) = 2\ 654x_1 + 19\ 208x_2 + 9\ 467x_3 + 35\ 801x_4 + 53\ 468x_5 \Rightarrow \max$$

	X1	X2	X3	X4	X5		RHS	Equation form
Maximize	2654,15	19208,13	9467,39	35801,41	53467,51			Max 2654.15X1 + 19208.13X2
Constraint 1	4,03	1,76	1,52	1,34	2,61	<=	18743,5	4.03X1 + 1.76X2 + 1.52X3 +
Constraint 2	2,86	1,87	2,04	1,24	1,79	<=	22492,2	2.86X1 + 1.87X2 + 2.04X3 +
Constraint 3	4,27	5,5	5,46	5,03	6,01	<=	26240,9	4.27X1 + 5.5X2 + 5.46X3 +
Constraint 4	2,56	3,69	2,42	2,93	1,48	<=	23478,7	2.56X1 + 3.69X2 + 2.42X3 +
Constraint 5	1,54	1,83	2,48	2,6	,9	<=	20124,6	1.54X1 + 1.83X2 + 2.48X3 +
Constraint 6	4,65	6,85	2,77	5,91	2,97	<=	16770,5	4.65X1 + 6.85X2 + 2.77X3 +
Constraint 7	5,09	3,3	8,4	2,71	3,17	<=	23478,7	5.09X1 + 3.3X2 + 8.4X3 +
Constraint 8	1,72	1,46	2,15	4,28	,86	<=	23478,7	1.72X1 + 1.46X2 + 2.15X3 +
верх. огран.изд1	1	0	0	0	0	<=	2500	X1 <= 2500
ниж. огран.изд1	1	0	0	0	0	>=	50	X1 >= 50
верх. огран.изд2	0	1	0	0	0	<=	1700	X2 <= 1700
ниж. огран.изд2	0	1	0	0	0	>=	100	X2 >= 100
верх. огран.изд3	0	0	1	0	0	<=	3000	X3 <= 3000
ниж. огран.изд4	0	0	0	1	0	>=	200	X4 >= 200
Variable type	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer			

Рисунок 9 - Исходный план

Integer & Mixed Integer Programming Results		
Variable	Type	Value
X1	Integer	50
X2	Integer	100
X3	Integer	0
X4	Integer	202
X5	Integer	4070
Solution value		226898200

Рисунок 10 - Результаты расчета ГППЗ по критерию максимум прибыли в целочисленной модели

Плюсы критерия: учитывает прибыль от продажи изделий, нет необходимости округлять значения до целого числа. Минусы: не учитывает потери от простоев оборудования

Полученный оптимальный план: производятся изделия №1–50 шт., №2–100 шт., №4–202 шт., №5–4070 шт., изделие под №3 - не выпускается. При этом прибыль составит - 226 898 211,13 руб.

Рассмотрим ГППЗ по критерию максимум прибыли без ограничений по спросу на изделие. Целевая функция:

$$f(x) = 2\ 654x_1 + 19\ 208x_2 + 9\ 467x_3 + 35\ 801x_4 + 53\ 468x_5 \Rightarrow \max$$

	X1	X2	X3	X4	X5		RHS	Equation form
Maximize	2654,15	19208,13	9467,39	35801,42	53467,5			Max 2654.15X1 +
Constraint 1	4,03	1,76	1,52	1,34	2,61	<=	18743,5	4.03X1 + 1.76X2 +
Constraint 2	2,86	1,87	2,04	1,24	1,79	<=	22492,2	2.86X1 + 1.87X2 +
Constraint 3	4,27	5,5	5,46	5,03	6,01	<=	26240,9	4.27X1 + 5.5X2 +
Constraint 4	2,56	3,69	2,42	2,93	1,48	<=	23478,7	2.56X1 + 3.69X2 +
Constraint 5	1,54	1,83	2,48	2,6	,9	<=	20124,6	1.54X1 + 1.83X2 +
Constraint 6	4,65	6,85	2,77	5,91	2,97	<=	16770,5	4.65X1 + 6.85X2 +
Constraint 7	5,09	3,3	,84	2,71	3,17	<=	23478,7	5.09X1 + 3.3X2 +
Constraint 8	1,72	1,46	2,15	4,28	,86	<=	23478,7	1.72X1 + 1.46X2 +

Рисунок 11 - Исходный файл

Variable	Status	Value
X1	NONBasic	0
X2	NONBasic	0
X3	NONBasic	0
X4	NONBasic	0
X5	Basic	4366,206
slack 1	Basic	7347,702
slack 2	Basic	14676,69
slack 3	NONBasic	0
slack 4	Basic	17016,71
slack 5	Basic	16195,01
slack 6	Basic	3802,867
slack 7	Basic	9637,825
slack 8	Basic	19723,76
Optimal Value (Z)		233450200

Рисунок 12 - Результаты расчета ГППЗ по критерию «Максимум прибыли» без ограничений по спросу на изделие

Плюсы критерия: учитывает прибыль от продажи изделий.  
 Минусы критерия: не учитывает спрос на изделия, выпускаются только изделия, приносящие максимальную прибыль.

Полученный оптимальный план: производится только изделие №5 в количестве 4366 шт., другие изделия не выпускаются. Прибыль составит 233 439 191,71 руб. Однако, нецелесообразно использовать данную модель на практике, так как по ней не производятся малоприбыльные изделия, а они нужны так как обеспечивают широту ассортимента.

Рассмотрим модель ГППЗ по критерию максимум прибыли с учетом потерь от простоев оборудования, учитывая ограничения на спрос. Целевая функция:

$$f(x) = 2\ 654x_1 + 19\ 208x_2 + 9\ 467x_3 + 35\ 801x_4 + 53\ 468x_5 - 143,9y_1 - 222,2y_2 - 102,2y_3 - 104,2y_4 - 126,3y_5 - 139,7y_6 - 132,6y_7 - 108,9y_8 \Rightarrow \max$$

	X1	X2	X3	X4	X5	New	New	New	New	New	New	RHS	Equation form	
Maximize	2854,15	19208,13	9467,39	35801,41	53467,51	-143,93	-222,28	-102,24	-104,02	-126,33	-139,78	-132,6	-108,98	Max 2854,15X1 +
Constraint 1	4,03	1,76	1,52	1,34	2,61	1	0	0	0	0	0	0	0	= 18743,5 4,03X1 + 1,76X2 +
Constraint 2	2,86	1,87	2,04	1,24	1,79	0	1	0	0	0	0	0	0	= 22492,2 2,86X1 + 1,87X2 +
Constraint 3	4,27	5,5	5,46	5,03	6,01	0	0	1	0	0	0	0	0	= 26240,9 4,27X1 + 5,5X2 +
Constraint 4	2,56	3,69	2,42	2,93	1,48	0	0	0	1	0	0	0	0	= 23478,7 2,56X1 + 3,69X2 +
Constraint 5	1,54	1,83	2,48	2,6	,9	0	0	0	0	1	0	0	0	= 20124,6 1,54X1 + 1,83X2 +
Constraint 6	4,65	6,85	2,77	5,91	2,97	0	0	0	0	0	1	0	0	= 16770,5 4,65X1 + 6,85X2 +
Constraint 7	5,09	3,3	,84	2,71	3,17	0	0	0	0	0	0	1	0	= 23478,7 5,09X1 + 3,3X2 +
Constraint 8	1,72	1,46	2,15	4,28	,86	0	0	0	0	0	0	0	1	= 23478,7 1,72X1 + 1,46X2 +
верх. огранид1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	= 2500 X1 <= 2500
ниж. огранид1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	= 50 X1 >= 50
верх. огранид2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	= 1700 X2 <= 1700
ниж. огранид2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	= 100 X2 >= 100
верх. огранид3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	= 3000 X3 <= 3000
ниж. огранид4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	= 200 X4 >= 200

Рисунок 13 - Исходный план

Производственная мощность So					
Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	50	0	2854,15	-Infinity	36197,5
X2	100	0	19208,13	-Infinity	47893,48
X3	0	38926,17	9467,39	-Infinity	48393,56
X4	200,0	0	35801,41	-Infinity	43643,15
X5	4071,78	0	53467,51	44097,95	Infinity
New Variable 6	7470,854	0	-143,93	-15561,62	9142,733
New Variable 7	14625,71	0	-222,28	-21342,15	30157,97
New Variable 8	0	9326,714	-102,24	-Infinity	9224,474
New Variable 9	16369,46	0	-104,82	-4741,252	37789,2
New Variable 10	15680,0	0	-126,33	-4372,558	62155,39
New Variable 11	2577,813	0	-139,78	-2429,813	18733,47
New Variable 12	9444,656	0	-132,6	-11952,92	17549,91
New Variable 13	18888,97	0	-108,98	-2311,573	65069,56
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
Constraint 1	-143,93	0	18743,5	11272,85	Infinity
Constraint 2	-222,28	0	22492,2	7866,486	Infinity
Constraint 3	9224,475	0	26240,9	1769,5	31457,28
Constraint 4	-104,82	0	23478,7	7109,234	Infinity
Constraint 5	-126,33	0	20124,6	4444,603	Infinity
Constraint 6	-139,78	0	16770,5	14192,69	Infinity
Constraint 7	-132,6	0	23478,7	14034,04	Infinity
Constraint 8	-108,98	0	23478,7	4589,73	Infinity
верх. огранид1	0	2450	2500	50	Infinity
ниж. огранид1	-33543,35	0	50	0	1064,94
верх. огранид2	0	1600	1700	100	Infinity

Рисунок 14 - Результаты расчета ГППЗ по критерию максимум прибыли с учетом потерь от простоев оборудования и ограничения на спрос

Плюсы критерия: целевая функция позволяет построить ГППЗ с минимальными потерями от простоев оборудования а также учитывается прибыль от продажи изделий.

Полученный оптимальный план: производятся изделия №1–50 шт., №2–100 шт., №4–200 шт., №5–4 071 шт., изделие №3 - не выпускается. Значение прибыли = 226 880 076,44 руб.

Рассмотрим ГППЗ по критерию «Максимум трудоемкости» с учетом ограничений на спрос. В коэффициентах целевой функции

указываются значения трудоемкости по изделиям. Целевая функция:  
 $f(x) = 26,73x_1 + 26,25x_2 + 19,68x_3 + 26,04x_4 + 19,8x_5 \Rightarrow \max$

Objective		Instruction						
<input checked="" type="radio"/> Maximize <input type="radio"/> Minimize		Enter the name for this variable. Almost any character is permissible.						
Производственная мощность								
	X1	X2	X3	X4	X5	RHS	Equation form	
Maximize	26.73	26.25	19.68	26.04	19.8		Max 26.73X1 + 26.25X2 +	
Constraint 1	4.03	1.76	1.52	1.34	2.61	<=	18743.5	4.03X1 + 1.76X2 + 1.52X3 +
Constraint 2	2.86	1.87	2.04	1.24	1.79	<=	22492.2	2.86X1 + 1.87X2 + 2.04X3 +
Constraint 3	4.27	5.5	5.46	5.03	6.01	<=	26240.9	4.27X1 + 5.5X2 + 5.46X3 +
Constraint 4	2.56	3.69	2.42	2.93	1.48	<=	23478.7	2.56X1 + 3.69X2 + 2.42X3 +
Constraint 5	1.54	1.83	2.48	2.6	.9	<=	20124.6	1.54X1 + 1.83X2 + 2.48X3 +
Constraint 6	4.65	6.85	2.77	5.91	2.97	<=	16770.5	4.65X1 + 6.85X2 + 2.77X3 +
Constraint 7	5.09	3.3	.84	2.71	3.17	<=	23478.7	5.09X1 + 3.3X2 + .84X3 +
Constraint 8	1.72	1.46	2.15	4.28	.86	<=	23478.7	1.72X1 + 1.46X2 + 2.15X3 +
верх. гран. изд1	1	0	0	0	0	<=	2500	X1 <= 2500
ниж. гран. изд1	1	0	0	0	0	>=	50	X1 >= 50
верх. гран. изд2	0	1	0	0	0	<=	1700	X2 <= 1700
ниж. гран. изд2	0	1	0	0	0	>=	100	X2 >= 100
верх. гран. изд3	0	0	1	0	0	<=	3000	X3 <= 3000
ниж. гран. изд4	0	0	0	1	0	>=	200	X4 >= 200

Рисунок 15 - Исходный план

Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	980,1358	0	26,73	21,0906	31
X2	100	0	26,25	-Infinity	38,7199
X3	3000	0	19,68	18,346	Infinity
X4	200	0	26,04	-Infinity	33,6431
X5	685,4776	0	19,8	17,0727	21,3016
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
Constraint 1	0	8000,456	18743,5	10743,04	Infinity
Constraint 2	0	11907,01	22492,2	10585,19	Infinity
Constraint 3	,8308	0	26240,9	23990,68	31021,42
Constraint 4	0	11740,04	23478,7	11738,65	Infinity
Constraint 5	0	9855,261	20124,6	10269,34	Infinity
Constraint 6	4,9855	0	16770,5	14408,08	19220,98
Constraint 7	0	12924,84	23478,7	10553,86	Infinity
Constraint 8	0	13751,35	23478,7	9727,345	Infinity
верх. гран. изд1	0	1519,864	2500	980,1359	Infinity
ниж. гран. изд1	0	930,1358	50	-Infinity	980,1358
верх. гран. изд2	0	1600	1700	100	Infinity
ниж. гран. изд2	-12,4699	0	100	,0	671,7339
верх. гран. изд3	1,334	0	3000	0	3771,585
ниж. гран. изд4	-7,6031	0	200	0	889,9005

Рисунок 16 - Результаты расчета ГППЗ по критерию «Максимум трудоемкости» с учетом ограничений на спрос

Плюсы критерия: обеспечивает минимизацию простоев оборудования, так как значения приближены к значениям эффективного фонда работы оборудования. Минусы критерия: не учитываются финансовые показатели, такие как выручка, прибыль.

Полученный оптимальный план: производятся все изделия: №1 в количестве 980 шт., №2–100 шт., №3–3000 шт., №4–200 шт., №5–685 шт. Размер прибыли - 76 709 588,08 руб.

Иногда на практике трудно определиться с одним критерием оптимальности ГППЗ, тогда используются многокритериальные модели. Для их построения используются различные подходы, одним из которых является метод свертки.

Рассмотрим многокритериальную модель с ограничениями на спрос. Многокритериальная модель рассчитана на основе 3 критериев: максимум объема выпуска в натуральном выражении, максимум прибыли, максимум трудоемкости. Расчет коэффициентов приведен в таблице 2.10.

Таблица 2.10 - Расчет коэффициентов многокритериальной задачи

Вес критерия	Критерий	Изделие 1	Изделие 2	Изделие 3	Изделие 4	Изделие 5
0,5	Максимум прибыли	2 654,15	19 208,13	9 467,39	35 801,42	53 467,52
		0,022	0,159	0,079	0,297	0,443
0,2	Максимум в натуральном выражении	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
		0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
0,3	Максимум трудоемкости	26,73	26,25	19,68	26,04	19,79
		0,226	0,222	0,166	0,220	0,167
Коэффициент целевой функции		0,119	0,186	0,129	0,254	0,312

Пример расчета коэффициентов по изделию №2:

$$C1 = 19\ 208,13 / (2\ 654,15 + 19\ 208,13 + 9\ 467,39 + 35\ 801,42 + 53\ 467,52) = 0,159$$

$$C1 = 1/5 = 0,2$$

$$C1 = 26,25 / (26,73 + 26,25 + 19,68 + 26,04 + 19,79) = 0,222$$

$$\text{Итого: } C1 = 0,5 * 0,159 + 0,2 * 0,2 + 0,3 * 0,222 = 0,186$$

Целевая функция:

$$f(x) = 0,119x1 + 0,186x2 + 0,129x3 + 0,254x4 + 0,312x5 \Rightarrow \max$$

	X1	X2	X3	X4	X5	RHS	Equation form
Maximize	,119	,186	,129	,254	,312		Max .119X1 + .186X2 +
Constraint 1	4,03	1,76	1,52	1,34	2,61	<=	18743,5 4.03X1 + 1.76X2 +
Constraint 2	2,86	1,87	2,04	1,24	1,79	<=	22492,2 2.86X1 + 1.87X2 +
Constraint 3	4,27	5,5	5,46	5,03	6,01	<=	26240,9 4.27X1 + 5.5X2 +
Constraint 4	2,56	3,69	2,42	2,93	1,48	<=	23478,7 2.56X1 + 3.69X2 +
Constraint 5	1,54	1,83	2,48	2,6	,9	<=	20124,6 1.54X1 + 1.83X2 +
Constraint 6	4,65	6,85	2,77	5,91	2,97	<=	16770,5 4.65X1 + 6.85X2 +
Constraint 7	5,09	3,3	,84	2,71	3,17	<=	23478,7 5.09X1 + 3.3X2 +
Constraint 8	1,72	1,46	2,15	4,28	,86	<=	23478,7 1.72X1 + 1.46X2 +
верх. огран.изд1	1	0	0	0	0	<=	2500 X1 <= 2500
ниж. огран.изд1	1	0	0	0	0	>=	50 X1 >= 50
верх. огран.изд2	0	1	0	0	0	<=	1700 X2 <= 1700
ниж. огран.изд2	0	1	0	0	0	>=	100 X2 >= 100
верх. огран.изд3	0	0	1	0	0	<=	3000 X3 <= 3000
ниж. огран.изд4	0	0	0	1	0	>=	200 X4 >= 200

Рисунок 17 - Исходный план

Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	50	0	,119	-Infinity	,2217
X2	100	0	,186	-Infinity	,2855
X3	0	,1544	,129	-Infinity	,2834
X4	200	0	,254	-Infinity	,2611
X5	4071,78	0	,312	,3035	Infinity
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
Constraint 1	0	7470,654	18743,5	11272,85	Infinity
Constraint 2	0	14625,71	22492,2	7866,486	Infinity
Constraint 3	,0519	0	26240,9	1769,5	31457,28
Constraint 4	0	16369,46	23478,7	7109,235	Infinity
Constraint 5	0	15680,0	20124,6	4444,603	Infinity
Constraint 6	0	2577,813	16770,5	14192,69	Infinity
Constraint 7	0	9444,655	23478,7	14034,04	Infinity
Constraint 8	0	18888,97	23478,7	4589,73	Infinity
верх. огран.изд1	0	2450	2500	50	Infinity
ниж. огран.изд1	-,1027	0	50	0	1064,94
верх. огран.изд2	0	1600	1700	100	Infinity
ниж. огран.изд2	-,0995	0	100	0	723,861
верх. огран.изд3	0	3000	3000	0	Infinity
ниж. огран.изд4	-,0071	0	200	0	952,8015

Рисунок 18 - Результаты расчета по многокритериальной модели

Плюсы критерия: учитывает несколько критериев в расчетах одновременно. Минусы критерия: нет результатов для каждого критерия в отдельности, которые можно было бы сравнить друг с другом; высокая зависимость от задания весовых коэффициентов.

Полученный оптимальный план: производится изделия под номерами №1 в количестве 50 шт., №2–100 шт., №4–200 шт., №5–4071 шт. Прибыль составила 226 880 076,13 руб.

## 2.6 Послеоптимизационный анализ и улучшение ГППЗ

Составление ГППЗ – итерационный процесс, включающий ее анализ и поэтапное улучшение. Причем последнее имеет решающее значение для разработки мероприятий по улучшению ГППЗ и для получения ее окончательного значения с наилучшими технико-экономическими показателями.

Улучшение плана производится поэтапно. Выбранная модель - максимум прибыли в линейном программировании.

Этап 1. Корректировка нижних границ и верхних границ выпуска изделий. Исходный оптимальный план:

Изделие №1–50 шт., №2–100 шт., №4–200 шт., №5–4 071 шт., изделие №3 - не выпускается.

	X1	X2	X3	X4	X5		RHS	Equation form
Maximize	2854,15	19208,13	9467,39	35801,41	53467,51			Max 2854.15X1 + 19208.13X2
Constraint 1	4,03	1,76	1,52	1,34	2,61	<=	18743,5	4.03X1 + 1.76X2 + 1.52X3 +
Constraint 2	2,86	1,87	2,04	1,24	1,79	<=	22492,2	2.86X1 + 1.87X2 + 2.04X3 +
Constraint 3	4,27	5,5	5,46	5,03	6,01	<=	26240,9	4.27X1 + 5.5X2 + 5.46X3 +
Constraint 4	2,56	3,69	2,42	2,93	1,48	<=	23478,7	2.56X1 + 3.69X2 + 2.42X3 +
Constraint 5	1,54	1,83	2,48	2,6	,9	<=	20124,6	1.54X1 + 1.83X2 + 2.48X3 +
Constraint 6	4,65	6,85	2,77	5,91	2,97	<=	16770,5	4.65X1 + 6.85X2 + 2.77X3 +
Constraint 7	5,09	3,3	,84	2,71	3,17	<=	23478,7	5.09X1 + 3.3X2 + .84X3 +
Constraint 8	1,72	1,46	2,15	4,28	,86	<=	23478,7	1.72X1 + 1.46X2 + 2.15X3 +
верх. гран. изд1	1	0	0	0	0	<=	2500	X1 <= 2500
ниж. гран. изд1	1	0	0	0	0	>=	30	X1 >= 30
верх. гран. изд2	0	1	0	0	0	<=	1700	X2 <= 1700
ниж. гран. изд2	0	1	0	0	0	>=	50	X2 >= 50
верх. гран. изд3	0	0	1	0	0	<=	3000	X3 <= 3000
ниж. гран. изд4	0	0	0	1	0	>=	100	X4 >= 100

Рисунок 19 - 1 этап (изменение границ спроса)

Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	30	0	2654,15	-Infinity	37967,73
X2	50	0	19208,13	-Infinity	48930,34
X3	0	39107,09	9467,39	-Infinity	48574,48
X4	100	0	35801,41	-Infinity	44749,02
X5	4215,441	0	53467,51	42776,64	Infinity
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
Constraint 1	0	7398,3	18743,5	11345,2	Infinity
Constraint 2	0	14643,26	22492,2	7848,938	Infinity
Constraint 3	8896,424	0	26240,9	906,0996	32671,08
Constraint 4	0	16685,55	23478,7	6793,152	Infinity
Constraint 5	0	15933,0	20124,6	4191,597	Infinity
Constraint 6	0	3177,641	16770,5	13592,86	Infinity
Constraint 7	0	9527,051	23478,7	13951,65	Infinity
Constraint 8	0	19300,82	23478,7	4177,879	Infinity
верх. орган.изд1	0	2470	2500	30	Infinity
ниж. орган.изд1	-35333,58	0	30	0	1281,105
верх. орган.изд2	0	1650	1700	50	Infinity
ниж. орган.изд2	-29722,2	0	50	0	819,0265
верх. орган.изд3	0	3000	3000	0	Infinity
ниж. орган.изд4	-8947,605	0	100	0	1027,97

Рисунок 20 - Результат изменения границ спроса

Изменим нижние границы спроса у изделий 1, 2 и 4 (т.к. значение Dual Value низкое, нужно уменьшить по ним убыток) с 50 шт. до 30, с 100 до 50 шт. и с 200 до 100 шт. соответственно.

Откорректированный план: производятся изделия №1 в количестве 30 шт., №2–50 шт., №4–100 шт., №5–4215 шт., изделие №3 - не выпускается. В результате изменений прибыль увеличится на 229 985 767–226 880 076 = 3 105 691,73 руб.

Этап 2. Изменение коэффициентов целевой функции – повышение прибыли от единицы изделия.

Увеличим на 5% прибыль единицы изделий 3 и на 10% единицы изделий 1 и 4. Будем считать, что их рентабельность увеличивается за счет снижения себестоимости изделия. Среди мер, которые могут снизить себестоимость, могут быть следующие:

- экономия операционных затрат на производство;
- уменьшение закупочных цен на материалы и сырье;
- сокращение потерь и производственного брака;
- повышение квалификации работников;
- сокращение расходов на содержание оборудования.

	X1	X2	X3	X4	X5	RHS	Equation form
Maximize	2654,15	21128,94	9940,76	39381,55	53467,51		Max 2654.15X1 + 21128.94X2
Constraint 1	4,03	1,76	1,52	1,34	2,61	<=	18743,5 4.03X1 + 1.76X2 + 1.52X3 +
Constraint 2	2,86	1,87	2,04	1,24	1,79	<=	22492,2 2.86X1 + 1.87X2 + 2.04X3 +
Constraint 3	4,27	5,5	5,46	5,03	6,01	<=	26240,9 4.27X1 + 5.5X2 + 5.46X3 +
Constraint 4	2,56	3,69	2,42	2,93	1,48	<=	23478,7 2.56X1 + 3.69X2 + 2.42X3 +
Constraint 5	1,54	1,83	2,48	2,6	,9	<=	20124,6 1.54X1 + 1.83X2 + 2.48X3 +
Constraint 6	4,65	6,85	2,77	5,91	2,97	<=	16770,5 4.65X1 + 6.85X2 + 2.77X3 +
Constraint 7	5,09	3,3	,84	2,71	3,17	<=	23478,7 5.09X1 + 3.3X2 + .84X3 +
Constraint 8	1,72	1,46	2,15	4,28	,86	<=	23478,7 1.72X1 + 1.46X2 + 2.15X3 +
верх. огран.изд1	1	0	0	0	0	<=	2500 X1 <= 2500
ниж. огран.изд1	1	0	0	0	0	>=	30 X1 >= 30
верх. огран.изд2	0	1	0	0	0	<=	1700 X2 <= 1700
ниж. огран.изд2	0	1	0	0	0	>=	50 X2 >= 50
верх. огран.изд3	0	0	1	0	0	<=	3000 X3 <= 3000
ниж. огран.изд4	0	0	0	1	0	>=	100 X4 >= 100

Рисунок 21 - 2 этап (изменение коэффициентов целевой функции)

Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	30	0	2654,15	-Infinity	37987,73
X2	50	0	21128,94	-Infinity	48930,34
X3	0	38633,72	9940,76	-Infinity	48574,48
X4	100	0	39381,55	-Infinity	44749,02
X5	4215,441	0	53467,51	47054,3	Infinity
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
Constraint 1	0	7398,3	18743,5	11345,2	Infinity
Constraint 2	0	14643,26	22492,2	7848,938	Infinity
Constraint 3	8896,424	0	26240,9	906,0996	32671,08
Constraint 4	0	16685,55	23478,7	6793,152	Infinity
Constraint 5	0	15933,0	20124,6	4191,597	Infinity
Constraint 6	0	3177,641	16770,5	13592,86	Infinity
Constraint 7	0	9527,051	23478,7	13951,65	Infinity
Constraint 8	0	19300,82	23478,7	4177,879	Infinity
верх. огран.изд1	0	2470	2500	30	Infinity
ниж. огран.изд1	-35333,58	0	30	0	1281,105
верх. огран.изд2	0	1650	1700	50	Infinity
ниж. огран.изд2	-27801,39	0	50	0	819,0265
верх. огран.изд3	0	3000	3000	0	Infinity
ниж. огран.изд4	-5367,465	0	100	0	1027,97

Рисунок 22 - результат 2 этапа

План по выпуску изделий не меняется. В результате изменений прибыль увеличится на  $230\ 439\ 781 - 229\ 985\ 767 = 454\ 013,29$  руб.

Этап 3. Снижение трудоемкости изготовления изделий

В графе «Slack or surplus» отображается остаток ресурсов (в данном случае эффективного фонда времени оборудования), не использованных в полученном решении. Нулевое значение остатка означает, что этот ресурс использован полностью.

По оборудованию, на котором данная графа не равно нулю есть простои. Поэтому уменьшаем трудоемкость изготовления изделий по третьей группе оборудования на 5%. Нормы штучно-калькуляционного

времени обработки деталей могут быть снижены с помощью применения новых технологий и инструментов, повышения квалификации рабочих.

	X1	X2	X3	X4	X5	RHS	Equation form	
Maximize	2654,15	21128,94	9940,76	39381,55	53467,51		Max 2654.15X1 + 21128.94X2	
Constraint 1	4,03	1,76	1,52	1,34	2,81	<=	18743,5	4.03X1 + 1.76X2 + 1.52X3 +
Constraint 2	2,86	1,87	2,04	1,24	1,79	<=	22492,2	2.86X1 + 1.87X2 + 2.04X3 +
Constraint 3	3,84	4,95	4,91	4,53	5,4	<=	26249,9	3.84X1 + 4.95X2 + 4.91X3 +
Constraint 4	2,56	3,69	2,42	2,93	1,48	<=	23478,7	2.56X1 + 3.69X2 + 2.42X3 +
Constraint 5	1,54	1,83	2,48	2,6	,9	<=	20124,6	1.54X1 + 1.83X2 + 2.48X3 +
Constraint 6	4,65	6,85	2,77	5,91	2,97	<=	16770,5	4.65X1 + 6.85X2 + 2.77X3 +
Constraint 7	5,09	3,3	,84	2,71	3,17	<=	23478,7	5.09X1 + 3.3X2 + .84X3 +
Constraint 8	1,72	1,46	2,15	4,28	,86	<=	23478,7	1.72X1 + 1.46X2 + 2.15X3 +
верх. гаран.изд1	1	0	0	0	0	<=	2500	X1 <= 2500
ниж. гаран.изд1	1	0	0	0	0	>=	30	X1 >= 30
верх. гаран.изд2	0	1	0	0	0	<=	1700	X2 <= 1700
ниж. гаран.изд2	0	1	0	0	0	>=	50	X2 >= 50
верх. гаран.изд3	0	0	1	0	0	<=	3000	X3 <= 3000
ниж. гаран.изд4	0	0	0	1	0	>=	100	X4 >= 100

Рисунок 23 – Этап 3 (изменение норм штучно-калькуляционного времени)

Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	30	0	2654,15	-Infinity	38021,34
X2	50	0	21128,94	-Infinity	49011,88
X3	0	38675,07	9940,76	-Infinity	48615,83
X4	100	0	39381,55	-Infinity	44853,3
X5	4708,37	0	53467,51	46944,89	Infinity
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
Constraint 1	0	6111,754	18743,5	12631,75	Infinity
Constraint 2	0	13760,92	22492,2	8731,283	Infinity
Constraint 3	9901,391	0	26240,9	815,7012	29356,61
Constraint 4	0	15956,01	23478,7	7522,688	Infinity
Constraint 5	0	15489,37	20124,6	4635,233	Infinity
Constraint 6	0	1713,64	16770,5	15056,86	Infinity
Constraint 7	0	7964,465	23478,7	15514,23	Infinity
Constraint 8	0	18876,9	23478,7	4601,799	Infinity
верх. гаран.изд1	0	2470	2500	30	Infinity
ниж. гаран.изд1	-35367,19	0	30	0	705,193
верх. гаран.изд2	0	1650	1700	50	Infinity
ниж. гаран.изд2	-27882,94	0	50	0	465,1762
верх. гаран.изд3	0	3000	3000	0	Infinity
ниж. гаран.изд4	-5471,752	0	100	0	601,2842

Рисунок 24 - Результат изменения трудоемкости изготовления изделий

Откорректированный план: производятся изделия №1 в количестве 30 шт., №2 – 50 шт., №4 - 100 шт., №5 – 4708 шт. Изделие №3 - не выпускается. В результате изменений прибыль увеличится на 256 345 255,04 - 230 439 781,15 = 25 905 473,89 руб.

Этап 4. Улучшение ГППЗ путем увеличения эффективного

фонда времени оборудования.

Дефицитной группой оборудования по-прежнему является 3. Для увеличения их эффективного фонда времени работы можно ввести сверхурочные работы или работу в выходные дни. Но при этом увеличивается заработная плата рабочих, появляются дополнительные затраты на охрану, коммунальные расходы и т.п.

Добавим к 3 группе 80 часов сверхурочной работы, которые равны 4 субботы в месяц \* 4 часа работы (по ТК РФ) \* 5 станков, которые выводятся в работу. Полученный результат на рисунке 22

	X1	X2	X3	X4	X5		RHS	Equation form
Maximize	2654,15	21128,94	9940,76	39381,55	53467,51			Max 2654,15X1 + 21128,94X2
Constraint 1	4,03	1,76	1,52	1,34	2,61	<=	18743,5	4,03X1 + 1,76X2 + 1,52X3 +
Constraint 2	2,86	1,87	2,04	1,24	1,79	<=	22492,2	2,86X1 + 1,87X2 + 2,04X3 +
Constraint 3	3,84	4,95	4,91	4,53	5,4	<=	26320,9	3,84X1 + 4,95X2 + 4,91X3 +
Constraint 4	2,56	3,69	2,42	2,93	1,46	<=	23478,7	2,56X1 + 3,69X2 + 2,42X3 +
Constraint 5	1,54	1,83	2,48	2,6	,9	<=	20124,6	1,54X1 + 1,83X2 + 2,48X3 +
Constraint 6	4,65	6,85	2,77	5,91	2,97	<=	16770,5	4,65X1 + 6,85X2 + 2,77X3 +
Constraint 7	5,09	3,3	,84	2,71	3,17	<=	23478,7	5,09X1 + 3,3X2 + ,84X3 +
Constraint 8	1,72	1,46	2,15	4,28	,86	<=	23478,7	1,72X1 + 1,46X2 + 2,15X3 +
верх. орган.изд1	1	0	0	0	0	<=	2500	X1 <= 2500
ниж. орган.изд1	1	0	0	0	0	>=	30	X1 >= 30
верх. орган.изд2	0	1	0	0	0	<=	1700	X2 <= 1700
ниж. орган.изд2	0	1	0	0	0	>=	50	X2 >= 50
верх. орган.изд3	0	0	1	0	0	<=	3000	X3 <= 3000
ниж. орган.изд4	0	0	0	1	0	>=	100	X4 >= 100

Рисунок 25 - 4 этап

Variable	Value	Reduced Cost	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
X1	30	0	2654,15	-Infinity	38021,34
X2	50	0	21128,94	-Infinity	49011,88
X3	0	38675,07	9940,76	-Infinity	48615,83
X4	100	0	39381,55	-Infinity	44853,3
X5	4723,185	0	53467,51	46944,89	Infinity
Constraint	Dual Value	Slack/Surplus	Original Val	Lower Bound	Upper Bound
Constraint 1	0	6073,087	18743,5	12670,41	Infinity
Constraint 2	0	13734,4	22492,2	8757,802	Infinity
Constraint 3	9901,391	0	26320,9	815,7012	29356,61
Constraint 4	0	15934,09	23478,7	7544,614	Infinity
Constraint 5	0	15476,03	20124,6	4648,566	Infinity
Constraint 6	0	1669,64	16770,5	15100,86	Infinity
Constraint 7	0	7917,502	23478,7	15561,2	Infinity
Constraint 8	0	18864,16	23478,7	4614,539	Infinity
верх. орган.изд1	0	2470	2500	30	Infinity
ниж. орган.изд1	-35367,19	0	30	0	687,8565
верх. орган.изд2	0	1650	1700	50	Infinity
ниж. орган.изд2	-27882,94	0	50	0	454,516
верх. орган.изд3	0	3000	3000	0	Infinity
ниж. орган.изд4	-5471,752	0	100	0	588,4131

Рисунок 26 - Результат увеличения эффективного фонда времени оборудования трудоемкости изготовления изделий

Откорректированный план: производятся изделия №1 в количестве 30 шт., №2 - 50 шт., №4 - 100 шт., №5 - 4723 шт. Изделие №3 - не выпускается. В результате 4 этапа прибыль выросла на 257 601 276,23 - 256 345 255,04 = 1 256 021,19 руб.

Этап 5. Улучшение ГППЗ путем ликвидации диспропорций в структуре производственной мощности завода.

По результатам расчета ГППЗ (после четвертого этапа) видно, что отдельные группы оборудования загружены полностью, а другие частично. Есть диспропорция. Эту диспропорцию можно ликвидировать путем продажи неиспользуемого оборудования и приобретения на эти средства дефицитного оборудования и таким образом улучшить ГППЗ. Это производится в несколько шагов.

Шаг 1. Расчет лишнего оборудования.

$$\Delta Q_{sl} = \left[ \frac{\Phi_{эф.sl} - \sum_{m=1}^M t_{msl} X_m}{\Phi'_{эф.sl}} \right] \geq 1$$

где  $\Phi_{эф.sl}$  – эффективный фонд времени s-й группы оборудования в l-м цехе в планируемом году, ч/год;  $\Phi'_{эф.sl}$  – эффективный фонд времени единицы оборудования s-й группы в l-м цехе в планируемом году, ч/год;  $t_{msl}$  – трудоемкость изготовления m-го изделия на s-й группе оборудования в l-м цехе с учетом выполнения норм времени и заданий по снижению трудоемкости, ч/шт.;  $X_m$  – количество m-х изделий в ГППЗ, полученной после ее расчета и улучшения на предыдущем этапе, шт.

Пример расчета по 1 группе оборудования:

$$\Delta Q_{11} = [(6073,08/3748,7)] = 1,62 = 1 \text{ ед.}$$

По другим группам оборудования  $\Delta Q$ : по 2-3ед., по 4- 4 ед., по 5-3ед., по 7-1 ед., по 8-5 ед., по 3 и 6 - нет лишнего.

Таблица 2.13(а) - Ликвидация диспропорции

Группа оборудования	Простои (ч)	Фэф, (фонд эффективности работы оборудования)	Кол-во единиц оборудования неиспользуемого	Qs-, кол-во оборудования,	Ф*эф раб обор+	Остаточная стоимость	Выручка от продажи оборудования
1	6073,08	3748,7	1,62	1	14 994,80	253125	253 125
2	13734,40	3748,7	3,66	3	11 246,10	3088125	9 264 375
3	0,00	3748,7	0,00	0	26 240,90	164916	-
4	15934,08	3354,1	4,75	4	10 062,30	192375	769 500
5	15476,03	3354,1	4,61	3	10 062,30	314381,25	943 144
6	1669,64	3354,1	0,50	0	16 770,50	109914,97	-
7	7917,50	3354,1	2,36	1	20 124,60	820125	820 125
8	18864,16	3354,1	5,62	5	6 708,20	285221,25	1 426 106

Шаг 2. Принятие решения о реализации неиспользуемого оборудования  $Q_{sl}$ . На практике такое решение принимают с учетом стратегии развития предприятия. Примем, что данное количество оборудования не используется в течение долгого времени и имеет смысл продать его.

Шаг 3. Определяется новый эффективный фонд времени групп оборудования  $\Phi^*_{эфsl}$  с учетом реализованного оборудования

$$\Phi^*_{эфsl} = \Phi'_{эфsl} (Q_{sl} - Q_{sl}^-)$$

где  $Q_{sl}$  – количество оборудования s-й группы в l-м цехе, ед.;  $Q_{sl}^-$  – количество реализованного оборудования s-й группы оборудования в l-м цехе, ед.

Пример расчета по третьей группе оборудования:

$$\Phi_{\text{эф11}}^* = 3748,7^*(8-4) = 29989,6 \text{ ч}$$

Аналогично  $\Phi^*_{\text{эф}}$  составит: по 2 гр. оборудования - 18641,60 ч., по 3-56823,75 ч., по 4-16717,70 ч., по 5-10627,20 ч., по 6-33429,40 ч., по 7 - 33486,25 ч., по 8 - 11191,95 ч.

Шаг 4. Производится продажа лишнего оборудования по остаточной стоимости на начало года. Определяется сумма денежных средств, полученных от реализации оборудования:

$$K = \sum_{l=1}^L \sum_{s=1}^S \bar{\Pi}_{sl} Q_{sl}^-$$

где  $Q_{sl}^-$  – количество неиспользованного оборудования s-й группы в l-м цехе, которое реализуется, ед.;  $\bar{\Pi}_{sl}$  – средняя цена продажи единицы оборудования s-й группы в l-м цехе, руб.

Пример расчета по третьей группе оборудования.

$$K = 253 \cdot 125 \cdot 1 = 253 \cdot 125 \text{ руб.}$$

Аналогично по 2 гр. оборудования – 9 264 375 руб., по 4 гр. – 769 500 руб., по 5 гр.- 314381,25 руб., по 7 гр.- 820 125 шт., по 8гр. - 1 426 106 руб, 3 и 6 группы оборудования не реализуются. Всего продажа оборудования на сумму 13 476 375 руб.

Шаг 4. Определяется улучшенная ГППЗ с учетом реализации неиспользуемого оборудования и приобретения дефицитного оборудования по экономико-математической модели:

целевая функция

$$f(x) = \sum_{m=1}^M \Pi_m X_m \rightarrow \max;$$

Ограничения

$$\sum_{m=1}^M t_{mst} X_m \leq \Phi_{\text{эфsl}}^* + \Delta Q_{sl}^+ \Phi'_{\text{эфsl}}, \quad s = \overline{1, S}, \quad l = \overline{1, L};$$

$$N_{m1} \leq X_m \leq N_{m2}, \quad m = \overline{1, M};$$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{s=1}^S Q_{sl}^+ \Pi_s \leq K,$$

где  $Q_{sl}^+$  – приобретаемое количество оборудования s-й группы в l-м цехе, ед.;  $\Pi_s$  – первоначальная стоимость единицы приобретаемого оборудования s-й группы, руб./ед. (табл. 9);  $K$  – сумма денежных средств, полученной при реализации неиспользованного оборудования, руб.

Исходный план задачи ликвидации диспропорции в структуре производственной мощности завода и улучшения ГППЗ представлен на

рис.27, решение - на рис.28.

Целочисленная модель															
	X1	X2	X3	X4	X5	Оборуд 1	Оборуд 2	Оборуд 3	Оборуд 4	Оборуд 5	Оборуд 6	Оборуд 7	Оборуд 8	RHS	Equation form
Maximize	2654.15	21128.94	9940.76	39381.55	53467.51	0	0	0	0	0	0	0	0		Max 2654.15X1 +
Constraint 1	4.03	1.76	1.52	1.34	2.61	-3748.7	0	0	0	0	0	0	0	<=	14994.6 4.03X1 + 1.76X2 +
Constraint 2	2.86	1.87	2.04	1.24	1.79	0	-3748.7	0	0	0	0	0	0	<=	11246.1 2.86X1 + 1.87X2 +
Constraint 3	3.84	4.95	4.91	4.53	5.4	0	0	-3748.7	0	0	0	0	0	<=	26320.9 3.84X1 + 4.95X2 +
Constraint 4	2.56	3.69	2.42	2.93	1.48	0	0	0	-3354.1	0	0	0	0	<=	10062.3 2.56X1 + 3.69X2 +
Constraint 5	1.54	1.83	2.48	2.6	.9	0	0	0	0	-3354.1	0	0	0	<=	10062.3 1.54X1 + 1.83X2 +
Constraint 6	4.65	6.85	2.77	5.91	2.97	0	0	0	0	0	-3354.1	0	0	<=	16770.5 4.65X1 + 6.85X2 +
Constraint 7	5.09	.33	.84	2.71	3.17	0	0	0	0	0	0	-3354.1	0	<=	20124.6 5.09X1 + .33X2 +
Constraint 8	1.72	1.46	2.15	4.28	.86	0	0	0	0	0	0	0	-3354.1	<=	6708.2 1.72X1 + 1.46X2 +
Верхнее огранич.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	2500 X1 <= 2500
Нижнее огранич. изд.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	>=	30 X1 >= 30
Верхнее огранич.	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	1700 X2 <= 1700
Нижнее огранич. изд.	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	>=	50 X2 >= 50
Верхнее огранич.	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<=	3000 X3 <= 3000
Нижнее огранич. изд.	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	>=	100 X4 >= 100
Стоимость оборуд.	0	0	0	0	0	253125	3088125	164916	192375	314381	109915	820125	285221	<=	13476380 253125Оборуд 1 +
Variable type	Real	Real	Real	Real	Real	Integer									

Рисунок 27 - Исходный план пятого этапа

Variable	Type	Value
X1	Real	30
X2	Real	50
X3	Real	0
X4	Real	585,83
X5	Real	9965,24
Оборуд 1	Integer	4
Оборуд 2	Integer	2
Оборуд 3	Integer	9
Оборуд 4	Integer	2
Оборуд 5	Integer	1
Оборуд 6	Integer	5
Оборуд 7	Integer	4
Оборуд 8	Integer	2
Solution value		556721900

Рисунок 28 - решение задачи ликвидации диспропорции в структуре производственной мощности завода

Итак, нам нужно приобрести оборудование 1 гр. – 4 шт., 2 гр. – 2 шт., 3 гр. – 9 шт., 4 гр. – 2 шт., 5 гр. – 1 шт., 6 гр. – 5 шт., 7 гр. – 4 шт., 8 гр. – 2 шт.

На этом этапе прибыль составила 84851140 руб., увеличившись на 299 376 739,17 руб. и составила 556 978 015,40 руб. Полученный оптимальный план: изделие №1–30 шт., №2–50 шт., №4–585 шт., №5–9965 шт., изделие №3 - не выпускается. Это наша окончательно принятая ГППЗ.

Полученные на каждом этапе послеоптимизационного анализа и улучшения ГППЗ результаты сведены в таблице 2.13, Приложение Е.

## 2.7 Расчет экономических показателей ГППЗ и загрузки оборудования

Рассчитаем следующие экономические показатели полученной ГППЗ (таблицу 2.14).

1. Планируемая выручка от ГППЗ (сумма денежных средств, которую получит завод от реализации)  $Ц$ , определяемая как

$$Ц = \sum_{m=1}^M Ц_m N_m,$$

где  $N_m$  – количество изделий  $m$ -го наименования в принятой ГППЗ, шт.;  $Ц_m$  – цена  $m$ -го изделия, руб./шт.

2. Себестоимость ГППЗ  $С$ , равная

$$С = \sum_{m=1}^M С_m N_m,$$

где  $С_m$  – себестоимость  $m$ -го изделия, руб./шт.

3. Прибыль, которую получает завод от ГППЗ  $П$ , равная

$$П = \sum_{m=1}^M П_m N_m,$$

где  $П_m$  – прибыль от единицы  $m$ -го изделия, руб./шт.

4. Фонд основной заработной платы производственных рабочих, требуемый для изготовления ГППЗ  $З$ , определяемый по формуле

$$З = \sum_{m=1}^M З_m N_m,$$

где  $З_m$  – сумма основной заработной платы производственных рабочих на изготовление одного  $m$ -го изделия, руб./шт.

5. Рентабельность продаж ГППЗ в процентах  $P'$ , рассчитываемая как

$$P' = \frac{П}{Ц} \cdot 100,$$

6. Рентабельность продукции ГППЗ в процентах  $P''$ , равная

$$P'' = \frac{П}{С} \cdot 100,$$

Экономические показатели ГППЗ представлены в таблице 2.14.  
 Пример расчета по 2 изделию:

$$Ц = 160\,080 * 50 = 8\,004\,000 \text{ руб.}$$

$$С = 140\,871,87 * 50 = 6\,947\,553 \text{ руб.}$$

$$П = 21\,128,94 * 50 = 1\,056\,447 \text{ руб.}$$

$$З = 15495,91 * 50 = 774\,795 \text{ руб.}$$

$$P' = 1\,056\,447 / 8\,004\,000 * 100 = 13,2\%$$

$$P'' = 1\,056\,447 / 6\,947\,553 * 100 = 15,21\%$$

Таблица 2.14 - Расчет экономических показателей ГППЗ

Показатель	№ изделия				
	1	2	3	4	5
1. Планируемая выручка от ГППЗ (сумма денежных средств, которую получит завод от реализации) Ц	4 335 000,00	8 004 000,00	0,00	107 406 000,00	1 672 625 250,00
2. Себестоимость ГППЗ С	4 255 375,50	6 947 553,00	0,00	84 367 793,25	113 982 1512,85
3. Прибыль, которую получает завод от ГППЗ П	79 624,50	1 056 447,00	0,00	23 038 206,75	532 803 737,15
4. Фонд основной заработной платы производственных рабочих, требуемый для изготовления ГППЗ З	468 091,30	774 795,28	0,00	9 510 838,93	125 380 355,86
5. Рентабельность продаж ГППЗ в процентах P'	1,84	13,20	-	21,45	31,85
6. Рентабельность продукции ГППЗ в процентах P''	1,87	15,21		27,31	46,74

Завод от ГППЗ получит прибыль по всем выпускаемым изделиям. Общая прибыль составит 556 978 015,40 руб. Рентабельность продукции и рентабельность продаж по ГППЗ имеют высокие показатели.

В таблице 2.15 представлен расчет загрузки оборудования

принятой ГППЗ. Коэффициент загрузки оборудования принятой годовой производственной программы определяется по формуле

$$\alpha_{sl} = \frac{\sum_{m=1}^M t_{msl} N_m}{\Phi'_{эфsl} (Q_{sl} - Q_{sl}^- + Q_{sl}^+)}$$

где  $N_m$  – количество изделий  $m$ -го наименования в ГППЗ, шт.;  $t_{msl}$  – трудоемкость изготовления  $m$ -го изделия на  $s$ -й группе оборудования в  $l$ -м цехе с учетом выполнения норм времени и заданий по снижению трудоемкости, ч/шт.;  $\Phi'_{эфsl}$  – эффективный фонд времени единицы оборудования  $s$ -й группы оборудования в  $l$ -м цехе, ч/год;  $Q_{sl}$  – количество установленного оборудования (по исходным данным), ед.;  $Q_{sl}^-$  и  $Q_{sl}^+$  – количество соответственно реализованного и приобретенного оборудования ед.

Количество единиц оборудования  $s$ -й группы в  $l$ -м цехе принятого при расчете улучшений ГППЗ  $Q^*_{sl}$  определяется как

$$Q^*_{sl} = Q_{sl} - Q_{sl}^- + Q_{sl}^+$$

Количество неиспользованного оборудования при принятии ГППЗ  $\Delta Q^*_{sl}$  рассчитывается по формуле:

$$\Delta Q^*_{sl} = \frac{\Phi^*_{sl} - T_{sl}}{\Phi_{эфsl}}$$

В свою очередь  $T_{sl}$  равна:

$$T_{sl} = m = 1M N_m * t_{шкmsl}$$

Пример расчета по 1 группе оборудования:

$$Q^*_{11} = 6 - 3 + 2 = 5 \text{ ед.}$$

$$\Delta Q^*_{11} = 6073,08 / 3748,7 = 1 \text{ шт.}$$

$$T_{ГППЗ_{31}} = (30 * 4,03 + 50 * 1,75 + 0 * 1,52 + 585 * 1,34 + 9965 * 2,61) = 27000 \text{ ч/год}$$

$$A_{11} = 27000 / (3748,7 * (6 - 3 + 2)) = 0,9$$

Коэффициенты загрузки высокие, варьируются в диапазоне от 0,79–1,00. Это хорошие показатели, которые говорят, что у оборудования нет высоких простоев.

Таблица 2.15 - Расчет загрузки оборудования принятой ГППЗ

Номер цеха	Номер группы оборудования	Количество единиц оборудования				Эффективный фонд времени единицы оборудования $\Phi'_{эфс/г}$ , ч/год	Эффективный фонд времени принятого оборудования $\Phi^*_{эфс/г}$ , ч/год	Трудоемкость утвержденной ГППЗ $T_{сл}$ , ч/год	Коэффициент загрузки оборудования	Количество неиспользуемого оборудования $\Delta Q^*_{сл}$
		Установленного (по исходным данным) $Q_{сл}$	Реализованные $Q^-_{сл}$	Приобретенные, $Q^+_{сл}$	Принято при расчете утвержденной ГППЗ оборудования $Q^*_{сл}$					
1	1	5	1	4	8	3748,7	29989,6	27000,95	0,90	0
	2	6	3	2	5	3748,7	18743,5	18641,60	0,99	0
	3	7	0	9	16	3748,7	59979,2	56823,75	0,95	0
2	4	7	4	2	5	3354,1	16770,5	16717,70	1,00	0
	5	6	3	1	4	3354,1	13416,4	10627,20	0,79	0
	6	5	0	5	10	3354,1	33541	33429,40	1,00	0
	7	7	1	4	10	3354,1	33541	33486,25	1,00	0
	8	7	5	2	4	3354,1	13416,4	11191,95	0,83	0

### 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГППЗ ПО КВАРТАЛАМ И МЕСЯЦАМ

Годовую производственную программу завода по выпуску продукции, как правило, вначале распределяют по кварталам. Затем квартальную производственную программу выпуска продукции распределяют по месяцам.

В курсовой работе рассмотрен равномерный выпуск изделий в течение года. Это характерно для крупносерийного производства.

ГППЗ распределяют по плано-учетным периодам пропорционально числу рабочих дней в плано-учетных периодах (кварталах, месяцах) в планируемом году, т.е. число изделий, выпускаемых в  $k$ -м месяце (квартале)  $N_{mk}$  равно

$$N_{mk} = \frac{N_m}{D_p} \times D_{pk},$$

где  $m = \overline{1, M}$  - индекс наименования изделия;  $M$  - общее число наименований изделий;  $k = \overline{1, K}$  - индекс плано-учетного периода (здесь квартала, месяца);  $K$  - общее число плано-учетных периодов в году (4 квартала, 12 месяцев);  $N_m$  - количество изделий  $m$ -го наименования, планируемых к выпуску за год, шт.;  $D_{pk}$  и  $D_p$  - число рабочих дней соответственно в  $k$ -м плано-учетном периоде (квартале, месяце) и в планируемом году (берется по производственному календарю планируемого года).

Пример расчета по 2 изделию за апрель.

$$N_{1\text{апрель}} = (50/247) * 20 = 4 \text{ шт/мес.}$$

Расчеты по распределению ГППЗ сведены в таблицу 3.1, приложение Ж

#### 4. РАСЧЕТ КАЛЕНДАРНО-ПЛАНОВЫХ НОРМАТИВОВ

Оперативно-календарное планирование и оперативное управление основным производством базируется на системе календарно-плановых нормативах.

Состав КПП различен в зависимости от типа производства и других факторов. В крупносерийном производстве, рассматриваемом в курсовой работе, основными КПП являются размеры и ритмы партий деталей, сборочных единиц и изделий; длительность производственных циклов обработки партий деталей, сборки сборочных единиц и изделий; размеры заделов; опережения запуска и выпуска партий деталей и сборочных единиц.

##### 4.1. Расчет размеров и ритмов партий деталей

Когда на предприятии выпускается несколько наименований изделий с большим числом унифицированных деталей и сборочных единиц, определяют ритм партий деталей. Тогда размер партии деталей определяется как

$$n_{il} = R_{il} \times N_{\text{дн}i},$$

где  $n_{il}$  – размер партии деталей  $i$ -го наименования в  $l$ -м цехе, шт.;  $R_{il}$  – ритм запуска (выпуска) партии деталей (средний расчетный отрезок времени между запуском (выпуском) смежных партий деталей)  $i$ -го наименования в  $l$ -м цехе, раб. дн.;  $N_{\text{дн}i}$  – среднедневная потребность детали  $i$ -го наименования на сборке изделий, шт./раб. дн.

$$N_{\text{дн}i} = \frac{\sum_{m=1}^M N_m K_{im}}{D_p},$$

где  $K_{im}$  – применяемость детали  $i$ -го наименования в  $m$ -м изделии, шт./изд.;  $D_p$  – число рабочих дней в плановом периоде (году, квартале, месяце), раб. дн.

Величина  $N_{\text{дн}i}$  определяется с точностью до одного знака после запятой (с арифметическими правилами округления) на основе потребности деталей на год, квартал или месяц с учетом устойчивости номенклатуры и количества выпускаемых изделий (в курсовой работе – на год).

Расчет  $R_{is}$  не производится, ритм партии деталей для всех наименований деталей не рассчитывается, а принимается равным 5, т.е.  $R_{i1}=R_{i2}=5$ .

В третьем (сборочном) цехе ежедневный запуск и выпуск изделий, т.е. можно считать, что  $R_{i3} = 1$  раб.дн.,  $n_{i3} = N_{dni}$ .

Пример расчета по 3 детали. Деталь 3 входит в изделие 1 в количестве 2 штук, в изделие 3 в количестве 3 штук и в изделие 5 в количестве 1 штуки.

$$N_{дн3} = (30*2+0*2+9965*1)/247 = 85,8 \text{ шт/раб.дн.}$$

$$N_{31} = 85,8*5 = 429,15 = 430 \text{ шт.}$$

Расчеты  $N_{dni}$  и  $n_{il}$  сведены в таблице 4.1

Таблица 4.1 - Среднедневная потребность деталей на сборке и размеры партий деталей

Номер детали $N_{дн i}$	Среднедневная потребность на сборке изделий $N_{dni}$ , шт./раб.дн.	Размер партии деталей $n_{il}$ , шт	Размер партии деталей $n_{il}$ , шт. (Округленное значение)
1	0,0	0,00	0
2	85,8	429,15	430
3	40,5	202,94	203
4	0,5	2,63	3
5	40,5	202,94	203
6	4,7	23,68	24
7	2,7	13,87	14
9	0,0	0,00	0

#### 4.2 Расчет длительности производственного цикла обработки партии деталей

Производственный цикл является одним из важных календарно-плановых нормативов как оперативного, так и стратегического планирования внутрихозяйственной деятельности предприятия. Производственный цикл представляет собой интервал календарного времени от начала до окончания производственного процесса изготовления деталей или выполнения работ и услуг.

Длительность производственного цикла обработки партии деталей (сборки партии сборочных единиц)  $T_{цил}$  определяется в рабочих днях по каждому цеху по формуле

$$T_{цил} = \frac{\delta_{il} n_{il}}{K_{cm} T_{cm}} \sum_{j=1}^{J_{il}} \frac{t_{цикij}}{\gamma_{jl} q_{ij}} + J_{il} t_{mo} + t_{ecil}$$

где  $i = \overline{1, I}$  - индекс наименования деталей;  $l = \overline{1, L}$  - индекс цеха;  $j = \overline{1, J}$  - индекс операции;  $\delta_{ij}$  — коэффициент параллельности, учитывающий одновременное выполнение операций по  $i$ -й детали в  $l$ -м цехе;  $K_{см}$  — число рабочих смен в сутки;  $T_{см}$  — продолжительность смены, ч;  $J_{il}$  — количество операций при обработке деталей  $i$ -го наименования в  $l$ -м цехе;  $q_{ij}$  — число рабочих мест, на которых одновременно обрабатывается партия  $i$ -х деталей на  $j$ -й операции;  $t_{mo}$  - межоперационное время, раб. дни;  $t_{есil}$  — длительность естественных процессов, раб. дн;  $t_{шкij}$  — норма штучно-калькуляционного времени обработки  $i$ -й детали на  $j$ -й операции, ч/шт.;  $\gamma_{jl}$  — коэффициент выполнения норм времени на  $j$ -й операции.

Величина  $T_{цil}$  определяется в рабочих днях. Результаты расчета  $T_{цil}$  представлены в таблице 4.2, где  $t_{ij}$  рассчитывается по формуле:

$$t_{ij} = \frac{t'_{шкij}}{\gamma_{jl}q_{ij}}$$

Значения  $t'_{шкij}$  и  $\gamma_{jl}$  взяты из исходных данных, а значение  $q_{ij}$  установлены самостоятельно.

В курсовой работе предусмотрен последовательный вид движения партии деталей по операциям, то есть  $\delta_{il} = 1$ . Длительность естественных процессов не учитывается  $t_{есil} = 0$ , а число рабочих мест изначально взято за единицу  $q_{ij} = 1$ . Когда будет получаться большая величина  $T_{цil}$ , больше 10 раб. дн., будем увеличивать количество рабочих мест  $q_{ij} > 1$ , т.е. обрабатывать партию деталей по всем или отдельным операциям одновременно на нескольких рабочих местах. Межоперационное время выбрано в размере 4 ч.

Пример расчетов для 3 детали по 1 группе оборудования представлены ниже.

$$T_{3l} = 0,55 / (0,9 * 5) = 0,12 \text{ ч/шт.}$$

$$T_{lцех} = ((1 * 203) / (2 * 8)) * 0,71 + (3 * (4 / (8 * 2))) + 0 = 9,71 = 10 \text{ раб. дн.}$$

Результаты расчетов  $T_{цil}$  сведены в таблице 4.2 (см. Приложение 3).

Важным этапом является анализ результатов расчета длительности цикла и поиск путей его сокращения. Могут быть проведены следующие мероприятия:

– сокращение межоперационного времени ( $t_{mo}$ ) и организации параллельной обработки партии деталей по операциям ( $\delta_{il} < 1$ ) путем

совершенствования оперативно-календарного планирования на участке;

- повышения производительности труда на операциях (повышения  $g$ ) за счет привлечения более квалифицированных рабочих;

- параллельной обработки партии деталей на нескольких рабочих местах ( $q > 1$ ), уменьшения размера партии деталей ( $n$ ), но при этом увеличиваются затраты на подготовительно-заключительные работы;

- введения сверхурочных работ ( $T_{см} > 8$ ) и повышения сменности работы (введения дополнительной смены, работы в выходные дни), но при этом увеличиваются затраты на заработную плату вследствие повышенной оплаты сверхурочных работ;

- сокращения норм штучно-калькуляционного времени за счет изменения технологии обработки деталей (применение более высокопроизводительных, но, как правило, и более дорогих) оборудования, инструмента, режимов резанья, методов получения заготовок и т.д., но при этом также увеличиваются затраты.

Как указывалось выше, в курсовой работе мы увеличивали количество рабочих мест  $q_{ij} > 1$ , т.е. использовали параллельную обработку партий деталей на нескольких рабочих местах.

### 4.3 Расчет заделов, опережений запуска и выпуска партий деталей

В производстве различают цикловые, оборотные и резервные заделы. Цикловые относятся к внутрицеховым заделам, а оборотные и резервные — к межцеховым (складским).

Величина циклового задела по детали (сборочной единице)  $i$ -го наименования в  $l$ -м цехе  $H_{циl}$  рассчитывается как

$$H_{циl} = T_{циl} \times N_{они}.$$

Оборотные заделы возникают между смежными звеньями производства (в данном случае - цехами).

Метод расчета оборотных заделов зависит от соотношения размеров партий деталей в смежных цехах. Если отношение большего размера партии к меньшему в смежных цехах равно целому числу, то

$$H_{об\,il,l+1} = \frac{n_{обil,l+1} - n_{mil,l+1}}{2} = N_{они} \frac{R_{обil,l+1} - R_{mil,l+1}}{2},$$

где  $H_{об\,il,l+1}$  — величина оборотного задела по детали  $i$ -го наименования, возникающего между смежными  $l$ -м и  $l+1$ -м цехами, шт.;  $n_{обil,l+1}$  и  $n_{mil,l+1}$  — размер партии деталей  $i$ -го наименования в смежных цехах, соответственно большего и меньшего размера, шт.;  $R_{обil,l+1}$  и  $R_{mil,l+1}$  — ритм запуска выпуска партии деталей  $i$ -го наименования в смежных цехах, соответственно большей и меньшей длительности, раб.дн.

В курсовой работе оборотный задел возникает только между вторым и третьим цехами из-за неравенства размеров и ритмов партий деталей в смежных цехах, а между первым и вторым цехами оборотный задел равен нулю, так как в этих цехах ритмы и размеры партии деталей равны между собой.

Резервные заделы являются овеществленным выражением резервных опережений между цехами и рассчитываются как

$$H_{резil,l+1} = T_{резil,l+1} \times N_{они},$$

где  $H_{резil,l+1}$  — резервный задел по  $i$ -й детали между смежными  $l$ -м и  $l+1$ -м цехами, шт.;  $T_{резil,l+1}$  — резервное опережение между цехами (выбирается самостоятельно на основе табл. 1.1), раб. дн.

Фактические заделы в курсовой работе определяются процентом (см. табл. 1.3) от нормативных заделов (условный прием).

Фактический цикловой задел по  $i$ -детали в  $l$ -м цехе  $H_{циl}$  определяется как

$$\bar{H}_{циl} = H_{циl} \cdot \frac{P_{циl}}{100},$$

где  $\bar{H}_{циl}$  и  $H_{циl}$  - соответственно фактический и нормативный цикловой задел по  $i$ -детали в  $l$ -м цехе, шт.;  $P_{циl}$  – процент фактического циклового задела по отношению к нормативному по  $i$ -й детали в  $l$ -м цехе.

К календарно-плановым нормативам относятся также опережения запуска и выпуска партий деталей.

Опережение запуска партии деталей в цехе – время от момента запуска партии деталей в данном цехе до выпуска изделий со сборки, в которые вошла данная партия деталей.

Опережение выпуска партии деталей из цеха – время от момента выпуска партии деталей из данного цеха до выпуска изделий со сборки, в которые вошла данная партия деталей. Таким образом, опережение запуска партии деталей из цеха меньше опережения выпуска партии деталей на величину длительности производственного цикла обработки партии деталей в данном цехе.

Опережения запуска и выпуска определяются в рабочих днях. Опережения запуска и выпуска в штуках можно определить на основе заделов. Цикловые, оборотные и резервные заделы по детали соответствующего наименования в сумме являются ошестовленным выражением опережения запуска партии деталей. Поэтому суммарные (как нормативные, так и фактические) заделы по  $i$ -й детали от  $l$ -го цеха до последнего являются опережениями запуска и выпуска в штуках.

$$O'_{циl} = \sum_{p=l}^{L-1} (H_{ци,p+1} + H_{обip,p+1} + H_{резip,p+1}),$$

где  $p = \overline{1, L}$  – переменная суммирования по цехам;  $L$  – общее число цехов, в которых обрабатывается партия деталей  $i$ -го наименования.

$$O'_{zil} = O'_{циl} + H_{циl}.$$

Отметим, что в курсовой работе применяется система оперативно-календарного планирования «по заделам», а не «по опережениям».

Результаты расчетов заделов, опережений сведены в таблице 4.3 (см. Приложение И), где потребность деталей  $i$ -го наименования на ГППЗ  $N_i$  определяется как

$$N_i = \sum_{m=1}^M N_m * K_{im}$$

Где  $N_m$  – программа выпуска изделий  $m$ -го наименования за год, изд.;  $K_{im}$  – применяемость  $i$ –й детали в  $m$ -м изделии, шт./изд.

Представим пример расчетов КПН для 3 детали, по 1 цеху.

$$N_3 = 30 * 2 + 0 * 2 + 9965 * 1 = 10025 \text{ шт.}$$

$$N_{ц31} = 40,58 * 10 = 406 \text{ шт.}$$

$$\bar{H}_{ц31} = 406 * 80 / 100 = 505 \text{ шт.}$$

$$O_{в31} = 406 + 81 + 63 + 81 + 122 = 752 \text{ шт.}$$

$$O_{з11} = 752 + 406 = 1158 \text{ шт.}$$

## 5. СОСТАВЛЕНИЕ ПОДЕТАЛЬНОЙ МЕСЯЧНОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ПО ЦЕХАМ

Составление подетальной месячной производственной программы цехам заключается в определении общего количества деталей (сборочных единиц, изделий), подлежащих запуску и выпуску за месяц, а также сроков запуска и выпуска партий деталей в течение месяца. Основой для ее составления служат программа выпуска изделий заводом в планируемом месяце в соответствии с распределением ГППЗ по кварталам и месяцам, календарно-плановые нормативы и данные о фактических заделах (остатках) деталей на начало месяца в цехах и на складах.

Месячная производственная программа дает возможность цеху подготовить производство к ее выполнению, рассчитать потребность и своевременно обеспечить цехи необходимыми материалами, инструментом и технологической оснасткой, определить основную заработную плату производственных рабочих по цехам на месяц, рассчитать загрузку оборудования, принять меры к ликвидации «узких мест».

### 5.1 Расчет размеров и ритмов первых партий деталей

Для составления подетального календарного плана-графика запуска-выпуска партий деталей и определения общего количества деталей, подлежащих запуску и выпуску в цехах за месяц с учетом партионности их изготовления, необходимо установить размеры первых запускаемой и выпускаемой партий деталей, сложившиеся на начало планируемого месяца в ходе производства.

Размер первой запускаемой партии деталей в первом цехе принимается равным нормативному (расчетному) размеру  $n_{i1}$ , то есть предполагается, что материалов (покупных полуфабрикатов) для её запуска достаточно (условный прием).

Для остальных цехов (второго и третьего) в маршруте обработки деталей размер первой запускаемой партии деталей  $n_{zil}$  не может превышать величины фактического задела между цехами.

$$n_{zil} \leq \bar{H}_{il-1,l},$$

где  $\bar{H}_{il-1,l}$  - величина фактического задела по  $i$ -й детали между  $l-1$ -м и  $l$ -м цехом, шт.

Если  $\bar{H}_{il-1,l} = 0$ , то  $n_{zil} = n_{v\ il-1\ l}$  - размеру первой выпускаемой партии  $i$ -х деталей в предыдущем  $l-1$ -м цехе.

Размер первой выпускаемой партии деталей  $n_{vil}$  зависит от величины фактического циклового задела  $\bar{H}_{uil}$  в цехе. При этом  $n_{vil} \leq \bar{H}_{uil}$  если  $\bar{H}_{uil} = 0$ , то есть на начало планируемого месяца в цехе все запущенные детали данного наименования выпущены: то  $n_{vil} = n_{zil}$

Обычно стремятся соблюсти условие, чтобы  $n_{zil} < nil$  и  $n_{v\ ill} < nil$ , где  $nil$  - нормативный размер партии деталей, шт. Допускается незначительное отклонение  $n_{v\ ill}$  и  $n_{zil}$  от  $nil$  в большую сторону.

Результаты расчетов размеров партий деталей в первом цехе представлены в таблице 5.1.

Пример расчета размера первой запускаемой и выпускаемой партии деталей по 3 детали в первом цехе:

$$n_{z31} = 203 \text{ шт.}$$

$$n_{v31} = 325 - 203 = 122, \text{ т.к. } 122 \leq \bar{H}_{uil}$$

## 5.2 Расчет общего количества деталей, подлежащих запуску и выпуску за месяц

Количество деталей, которое необходимо запустить и выпустить в цехе за месяц для обеспечения сборки изделий и бесперебойной равномерной работы последующих цехов в соответствии с системой оперативно-производственного планирования «по заделам», применяемой в курсовой работе, рассчитывается обратном ходу производственного процесса: вначале для последнего - сборочного (в курсовой работе - третьего) цеха, затем для второго и первого.

Количество деталей, которое должно быть «выпущено» из сборочного цеха за месяц в изделиях, определяется по формуле

$$N_{в.месicб} = \sum_{m=1}^M N_{mk} \times K_{im},$$

где  $N_{mk}$  - количество изделий  $m$ -го наименования, которое планируется выпустить со сборки в  $k$ -м месяце (табл. 5.2), шт.

$K_{im}$  - применяемость  $i$ -й детали в  $m$ -м изделии, шт./изд.

Для любого другого цеха количество деталей, которое надо выпустить в планируемом месяце,  $N_{в.мес.il}$  равно

$$N_{в.месil} = N_{з.месil+1} + \Delta H_{il,l+1},$$

где  $N_{з.мес.il+l}$  — количество деталей  $i$ -го наименования, которое надо запустить в планируемом месяце в следующем  $l+1$ -м цехе, шт;  $\Delta H_{il,l+1}$  - отклонение нормативной величины межцехового (оборотного и резервного) задела от фактической по  $i$ -й детали в  $l$ -м цехе, шт.

В свою очередь

$$\Delta H_{il,l+1} = H_{обил,l+1} + H_{pezil,l+1} - \bar{H}_{il,l+1}.$$

Величина фактического задела по  $i$ -й детали между смежными  $l-1$ -м и  $l+1$ -м цехами  $\bar{H}_{il,l+1}$  определяется по данным учета или инвентаризации на начало планируемого месяца. В курсовой работе применяется искусственный прием, когда  $\bar{H}_{il,l+1} = \bar{H}_{обил,l+1} + \bar{H}_{pezil,l+1}$ , которые берутся из табл. 4.3.

Количество деталей  $i$ -го наименования, которое должно быть запущено за месяц в  $l$ -м цехе  $N_{з.мес.il}$  равно

$$N_{з.месil} = N_{в.месil} + \Delta H_{uil},$$

где  $\Delta H_{uil}$  - отклонение нормативной величины циклового задела от фактической по  $i$ -й детали в  $l$ -м цехе, шт.

Величина  $\Delta H_{uil}$  равна

$$\Delta H_{uil} = H_{uil} - \bar{H}_{uil}.$$

Пример расчета месячной программы первому цеху по 3 детали.

$$N_{в.мес3} \text{ сб.} = 2*2 + 0*2 + 807*1 = 812 \text{ шт.}$$

$$N_{в.мес31} = 812 + (81 - 65) + ((63 + 122) - 75 - 122) + (406 - 325) + (0 + 81 - 0 - 32) = 945 \text{ шт.}$$

$$N_{з.мес31} = 945 + (406 - 325) = 1026 \text{ шт.}$$

Результаты расчетов по всем деталям сведены в таблице 5.2.

В формулах выше не учтено, что детали обрабатываются партиями. Учет партионности изготовления деталей не только обеспечивает своевременный выпуск изделий со сборки и равномерную работу последующих цехов, но и ритмичный запуск-выпуск партий деталей в данном и последующих цехах. С учетом партионности количество деталей, подлежащих запуску  $N^*_{з.месil}$  и выпуску  $N^*_{в.месil}$  за месяц, рассчитывается по формуле:

$$N^*_{з.месil} = \left\lceil \frac{N_{з.месil} - n_{zil1}}{n_{il}} \right\rceil [n_{il} + n_{zil1};$$

$$N^*_{в.месil} = \left\lceil \frac{N_{в.месil} - n_{oil1} - n_{zil1}}{n_{il}} \right\rceil [n_{il} + n_{oil1} + n_{zil1}.$$

Пример по первому цеху по 3 детали.

$$N_{\text{месц1}}^* = \lceil (1026-203)/203 \rceil * 203 + 203 = 1218 \text{ шт.}$$

$$N_{\text{месц1}}^* = \lceil (945-122-203)/203 \rceil * 203 + 203 + 122 = 1137 \text{ шт.}$$

Значения месячной производственной программы без учета и с учетом партионности сводятся в таблице 5.1.

Необходимо по таблице 5.1 проследить за следующей зависимостью: всегда  $N_{\text{месц1}} \leq N_{\text{месц1}}^*$ , а  $N_{\text{месц1}} \leq N_{\text{месц1}}^*$ .

Данная зависимость выполняется. Так по 3 детали по выпуску:  $945 \leq 1137$ , по запуску  $1026 \leq 1218$ .

### 5.3 Расчет сроков запуска и выпуска партий деталей

Срок выпуска первой партии деталей с начала планируемого месяца (через сколько дней относительно начала планируемого месяца должна быть выпущена первая партия деталей)  $D_{\text{eil1}}$  определяется по формуле

$$D_{\text{eil1}} = \frac{\bar{H}_{\text{uil}} - H_{\text{uil}}}{N_{\text{ои}}}$$

Дата выпуска второй партии деталей  $i$ -го наименования, равной  $n_{\text{eil1}}$ , определяется как

$$D_{\text{eil2}} = D_{\text{eil1}} + \left\lceil \frac{n_{\text{eil1}}}{N_{\text{ои}}} \right\rceil$$

В первом цехе партии деталей запускаются установленными размерами (предполагается, что материалов для их запуска достаточно), поэтому следующие (вторая, третья, четвертая и т. д.) партии деталей запускаются и выпускаются нормативными размерами  $n_{\text{il}}$  через ритм  $R_{\text{il}}$ , то есть

$$D_{\text{eil}\eta} = D_{\text{eil}\eta-1} + R_{\text{il}}$$

Сроки запуска партий деталей определяются как

$$D_{\text{zil}\eta} = D_{\text{eil}\eta} - T_{\text{uil}}$$

Для второго цеха дата выпуска третьей  $D_{\text{eil3}}$  партии деталей, запускаемой размером  $n_{\text{zil}}$ , который может быть отличным от нормативного размера, равна

$$D_{\text{eil3}} = D_{\text{eil2}} + \frac{n_{\text{zil}}}{N_{\text{ои}}}$$

Следующая (третья, четвертая и т.д.) партии запускается и выпускается нормативными  $n_{il}$  размерами через ритм  $R_{il}$ .

Отрицательные значения дат запуска и выпуска партий деталей, в первую очередь  $D_{zil1}$ ,  $D_{vil1}$ , показывают, на сколько рабочих дней раньше начала планируемого месяца должны были быть запущены и выпущены соответствующие партии деталей ( $n_{zil1}$  и  $n_{vil1}$ , иногда и последующие). Так как они не были запущены (выпущены) своевременно, то на начало планируемого месяца они являются отстающими и должны быть поскорее выпущены.

Сроки запуска  $D_{zil\eta}$  и размеры партий деталей являются основанием для определения количества и сроков обеспечения цехов материалами, специальным инструментом и технологической оснасткой. На основе значений  $n_{vil1}$ ,  $D_{zil\eta}$  и  $D_{vil\eta}$  планируют грузопотоки на предприятии.

Сроки запуска и выпуска приведены в таблице 5.3. Все даты целые числа. Приведем расчет по 3 детали.

$$D_{e11} = (147 - 184) / 18,36 = -2 \text{ р.д.}$$

$$D_{e12} = -2 + \lceil 55 / 18,36 \rceil = 1 \text{ р.д.}$$

$$D_{e13} = 1 + 5 = 6 \text{ р.д.}$$

$$D_{e14} = 6 + 5 = 11 \text{ р.д.}$$

$$D_{e15} = 11 + 5 = 16 \text{ р.д.}$$

$$D_{z11} = -2 - 10 = -12 \text{ р.д.}$$

$$D_{z12} = 1 - 10 = -9 \text{ р.д.}$$

$$D_{z13} = 6 - 10 = -4 \text{ р.д.}$$

$$D_{z14} = 11 - 10 = 1 \text{ р.д.}$$

$$D_{z15} = 16 - 10 = 6 \text{ р.д.}$$

$$D_{z16} = 6 + 5 = 11 \text{ р.д.}$$

#### 5.4. Расчет технико-экономических показателей и загрузки оборудования цехов на планируемый месяц

На основе поддетальной месячной производственной программы рассчитаем следующие технико-экономические показатели для первого цеха.

1. Трудоемкость месячной производственной программы  $l$ -го цеха  $T_{месl}$  по формуле

$$T_{месl} = \sum_{i=1}^{Ie} N_{в.месil} \cdot t'_{шkil},$$

где  $I_e$  – число наименований деталей в месячной производственной программе  $l$ -го цеха;  $t'_{ukil}$  – норма штучно-калькуляционного времени по  $i$ -й детали в  $l$ -м цехе, ч/шт., которая рассчитывается как

$$t_{ukil} = \sum_{j=1}^{Jil} t'_{ukijl},$$

где  $Jil$  – число операций на  $i$ -й детали в  $l$ -м цехе.

2. Потребность в основной заработной плате производственных рабочих-сдельщиков на изготовление месячной производственной программы цеха  $Z_{месl}$  по формуле

$$Z_{месl} = \sum_{i=1}^{I_l} N_{в.месil} \cdot Z_{umil};$$

$$Z_{umil} = \sum_{j=1}^{Jil} Z_{umij}.$$

Результат расчетов по первым двум показателям в таблице 5.4(а)

Пример расчета по 1 группе оборудования (без учета партионности).

$$T_{мес1} = (1416 \cdot 0,33 + 945 \cdot 0,55 + 4 \cdot 0,25 + 735 \cdot 1,14 + 117 \cdot 0,17 + 65 \cdot 0,21) = 1859 \text{ ч.}$$

$$Z_{мес1} = 1859 \cdot 535,69 / 1000 = 996 \text{ тыс. руб.}$$

Таблица 5.4(а) - Техничко-экономические показатели по 1 цеху за апрель 2023г

Номер группы оборудования	Месячная программа без учета партионности		Месячная программа с учетом партионности	
	Трудоемкость программы, ч	Потребность в основной заработной плате, тыс. руб	Трудоемкость программы, ч	Потребность в основной заработной плате, тыс. руб
1	1859	996,08	2192	1173,97
2	1298	817,86	1521	958,42
3	4690	1773,53	5319	2011,16
Итого по цеху	7847	3587,47	9031	4143,55

3. Коэффициент загрузки оборудования в  $l$ -м цехе в планируемом месяце  $\alpha_{sl}$ , который рассчитывается как

$$\alpha_{sl} = \frac{\sum_{i=1}^{I_{sl}} N_{\text{в.меч.}i} \cdot t_{\text{ук.}i}^{sl}}{\Phi_{\text{меч.}sl}},$$

где  $I_{sl}$  – число наименований деталей, обрабатываемых на  $s$ -й группе оборудования в  $l$ -м цехе;  $t_{\text{ук.}i}^{sl}$  –штучно-калькуляционное время оборудования по  $i$ -й детали на  $s$ -й группе оборудования в  $l$ -м цехе с учетом выполнения норм времени и заданий по снижению трудоемкости, ч/шт.;  $\Phi_{\text{эф.меч.}sl}$  – эффективный фонд времени  $s$ -й группы оборудования в  $l$ -м цехе в планируемом месяце, ч/мес.

Коэффициенты загрузки оборудования месячной производственной программой представлены в таблице 5.4.  
Таблица 5.4 - Загрузка оборудования 1 цеха на апрель 2023 г.

Группа оборудования	Коэффициенты загрузки оборудования месячной производственной программой	
	без учета партионности изготовления деталей	с учетом партионности изготовления деталей
1	0,85	1,00
2	0,95	1,11
3	0,96	1,09

Коэффициенты загрузки оборудования с учетом партионности превысили 1. Существует перегрузка оборудования. Есть риск срыва выполнения месячной производственной программы. Можно попытаться снизить простои оборудования.

## 5.5. Составление подетального плана-графика запуска - выпуска партий деталей

Обычно составляют два вида календарных планов-графиков (КПГ): подетальный и подетально-пооперационный.

В подетальном указываются сроки запуска и выпуска партий деталей в цехе (на участке). Сроки запуска и выпуска партий деталей в цехе устанавливают с учетом обеспечения своевременной поставки деталей на сборку изделий и ритмичного запуска-выпуска партий деталей в последующих цехах.

Подетальный КПГ построен в таблице 5.5, приложение М. Для каждой детали отводится три строки:

- в первой указывается дневной выпуск деталей  $i$ -ого наименования в  $l$ -м цехе в  $k$ -м рабочем дне с начала месяца  $N_{\text{дн}ik}$ ;
- во второй - выпуск деталей нарастающим итогом с начала месяца на  $k$ -й рабочий день  $N_{ik}$ ;  $\Sigma$
- в третьей - непосредственно график запуска-выпуска партий деталей.

Длительность производственного цикла обработки партии деталей изображается сплошной линией. Над ней записывается дробь, в которой в числителе - размер партии деталей, а в знаменателе количество деталей, выпущенных нарастающим итогом с начала месяца.

Дневной выпуск деталей определяется на основе средневенной потребности в  $i$ -й детали. Если  $N_{\text{дн}il}$  является дробной величиной, то часть дней планируемого месяца  $D'_p$  эта деталь выпускается количеством, округленным до ближайшего меньшего целого числа, а другая часть рабочих дней месяца  $D''_p$ , количеством, округленным до ближайшего большего целого числа.

Величины  $D'_p$  и  $D''_p$  определяются из системы уравнений:

$$D_p N_{\text{дн}il} = D'_p [N_{\text{дн}il}] + D''_p N_{\text{дн}il} l,$$

$$D_p = D'_p + D''_p$$

Средневенной выпуск  $i$ -х деталей в  $l$ -ом цехе, в планируемом месяце равен:

$$N_{\text{дн}il} = \frac{N_{\text{в.мес}il}}{D_{\text{рмес}}},$$

где  $N_{в.месil}$  -месячная производственная программа выпуска  $i$ -х деталей в  $l$ -м цехе без учета партионности изготовления деталей;  $D_{рмес}$  - число рабочих дней в планируемом месяце.

Выпуск  $i$ -х деталей в  $l$ -м цехе нарастающим итогом с начала месяца на  $k$ -й рабочий день определяется по формуле

$$N_{ilk} = N_{ilk-1} + N_{онilk} \cdot \sum_{k=D_{вилп}+1}^{Ril} N_{ilk},$$

где  $D_{вил\eta}$  -дата выпуска  $\eta$  -й партии деталей  $i$ -го наименования в  $l$ -м цехе с начала месяца.

Пример расчетов по 3 детали:

$$N_{дн1} = 945 / 20 = 47,26 \text{ шт./дн.}$$

Составим систему уравнений: пусть  $D'_{р}$  это  $x$ , а  $D''_{р}$  -  $y$

$$\left[ \begin{array}{l} 945=47x+48y \\ 20=x+y \end{array} \right]$$

$$y = 945 - 47 \cdot (20 - y) + 48y \Rightarrow y = 5 \text{ дн.}$$

В течение 5 дней выпуск деталей будет по 48 шт./дн., остальные 15 дней - по 47 шт./дн.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В курсовой работе было осуществлено оперативно-производственное планирование на машиностроительном заводе по производству гидроцилиндров.

В ходе работы были рассмотрены различные критерии и условия и был выбран оптимальный производственный план (ГППЗ), проведен послеоптимизационный анализ.

При помощи программы POMQM были найдены значения целевых функций, установленных в соответствии с рассматриваемыми критериями. Основным критерием, по которому далее рассматривалась производственная модель, был критерий «максимум прибыли». Он наилучшим образом отражает цели и задачи завода.

ГППЗ была распределена по кварталам и месяцам, рассчитаны календарно-плановые нормативы и технико-экономические показатели, построен подетальный календарный план график.

Выполнение курсовой работы позволило овладеть техникой плановых расчетов и их анализа, составления моделей планирования и их решения на ЭВМ. Приобретен опыт использования нормативных, справочных и литературных данных, развиты навыки самостоятельной работы. Навыки по оперативно-производственному планированию машиностроительного предприятия, определении, анализу и улучшении оптимальной годовой производственной программы, расчету календарно-плановых нормативов для составления производственных программ получены и освоены.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. 8 шагов, которым вы должны следовать, чтобы изготовить высококачественный гидравлический цилиндр URL: <https://riverlakeco.com/ru/blog/8-steps-you-should-follow-to-manufacturer-a-high-quality-hydraulic-cylinder/> (дата обращения: 14.09.2023 г.)
2. Общероссийский классификатор основных фондов" (принят и введен в действие Приказом Росстандарта от 12.12.2014 N 2018-ст) (ред. от 30.08.2023)// URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_184368/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_184368/) (дата обращения: 20.09.2023 г.)
3. Производственный календарь 2023 (рабочие дни, праздники и выходные дни) \ КонсультантПлюс// URL: <https://www.consultant.ru/law/ref/calendar/proizvodstvennye/2023/>(дата обращения: 20.09.2023 г.)
4. По какому тарифу начислять страховые взносы от несчастных случаев — СКБ Контур // URL: <https://kontur.ru/articles/5715> (дата обращения: 20.09.2023 г.)
5. Станочник, работа станочником, вакансии станочник в Санкт-Петербурге// URL: <https://spb.superjob.ru/vakansii/stanochnik-shirokogo-profilya-42924300.html/>(дата обращения: 20.09.2023 г.)

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

Таблица 2.3 - Характеристика оборудования

Номер цеха	Номер группы оборудования	Наименование оборудования	Количество единиц оборудования в группе $Q_{st}$ , ед.	Цена единицы оборудования $C_{st}$ , руб.	Цена группы оборудования $C_{гст}$ , руб.	Дата установки оборудования, месяц, год	Затраты на доставку, установку и монтаж оборудования по отношению к его цене $P_u$ , %	Первоначальная стоимость единицы оборудования $C'_{lст}$ , руб.	Первоначальная стоимость группы оборудования $C_{лст}$ , руб.	Норма амортизации оборудования $H_{ас}$ , %	Остаточная стоимость единицы оборудования, $C'_{st}$ , руб.	Остаточная стоимость группы оборудования $C_{ст}$ , руб.
1	1	Ленточнопильный	5	250 000,00	1 250 000,00	июн.22	8%	270 000,00	1 350 000,00	13%	253 125,00	1 265 625
	2	Токарный	6	3 050 000,00	18 300 000,00	июн.22	8%	3 294 000,00	19 764 000,00	13%	3 088 125	18 528 750
	3	Вертикально-фрезерный	7	162 880,00	1 140 160,00	июн.22	8%	175 910,40	1 231 372,80	13%	164 916	1 154 412,00
2	4	Радиально-сверлильный	7	190 000,00	1 330 000,00	июн.22	8%	205 200,00	1 436 400,00	13%	192 375	1 346 625,00
	5	Горизонтально-расточной	6	345 000,00	2 070 000,00	сен.21	8%	372 600,00	2 235 600,00	13%	314 381	1 886 288
	6	Вертикально-хонинговальный	5	120 620,00	603 100,00	сен.21	8%	130 269,60	651 348,00	13%	109 915	549 574,88
	7	Токарно-винторезный	7	900 000,00	6 300 000,00	сен.21	8%	972 000,00	6 804 000,00	13%	820 125	5 740 875
	8	Сварочный	7	313 000,00	2 191 000,00	сен.21	8%	338 040,00	2 366 280,00	13%	285 221	1 996 549

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

Таблица 2.5 - Расчет удельных потерь от простоя оборудования

Номер цеха	Номер группы взаимозаменяемого оборудования	Остаточная стоимость единицы оборудования $C_{osl}$ , руб.		Амортизационные отчисления на 1 час простоя оборудования $C_{osl}$ , руб./ч	Основная заработная плата вспомогательного рабочего, обслуживающего оборудование за месяц $Z_o$ , руб./мес.	Явочный фонд времени вспомогательного рабочего за месяц $F_{ял}$ , ч.	Количество единиц оборудования, обслуживаемого одним вспомогательным рабочим $q_{sl}$	Основная заработная плата вспомогательного рабочего, обслуживающего оборудование, на 1 час простоя оборудования $Z_{прsl}$ , руб./ч	Процент дополнительной заработной платы вспомогательных рабочих по отношению к основной $P_{osl}$ , %	Дополнительная заработная плата вспомогательного рабочего на 1 час простоя оборудования $Z_{osl}$ , руб./ч	Страховые взносы от заработной платы вспомогательных рабочих на 1 час простоя оборудования $O_{sl}$ , руб./ч	Накладные расходы, приходящиеся на 1 час простоя оборудования, руб./ч	Удельные потери от простоя оборудования $C_{sl}$ , руб./ч
		на начало года	на конец года										
1	1	253 125,00	219 375,00	9,00	60 000	143,86	5	83,41	12%	10,01	29,24	12,27	143,93
	2	3 088 125,00	2 676 375,00	109,84	60 000	143,86	6	69,51	12%	8,34	24,37	10,22	222,28
	3	164 916,00	142 927,20	5,87	60 000	143,86	7	59,58	12%	7,15	20,89	8,76	102,24
2	4	192 375,00	166 725,00	7,65	60 000	143,86	7	59,58	12%	7,15	20,89	8,76	104,02
	5	314 381,25	267 806,25	13,89	60 000	143,86	6	69,51	12%	8,34	24,37	10,22	126,33
	6	109 914,98	93 631,28	4,85	60 000	143,86	5	83,41	12%	10,01	29,24	12,27	139,78
	7	820 125,00	698 625,00	36,22	60 000	143,86	7	59,58	12%	7,15	20,89	8,76	132,60
	8	285 221,25	242 966,25	12,60	60 000	143,86	7	59,58	12%	7,15	20,89	8,76	108,98

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**

Таблица 2.7 - Расчет основной заработной платы производственных рабочих по изделиям

Номер цеха	Номер группы взаимозаменяемого оборудования	Разряд рабочих	Часовая тарифная ставка, руб./ч.	Номера изделий									
				1		2		3		4		5	
				Норма штучно-калькуляционного времени, ч/изд. $t'_{1sl}$	Сумма заработной платы руб./изд $З_{1sl}$	$t'_{2sl}$	$З_{2sl}$	$t'_{3sl}$	$З_{3sl}$	$t'_{4sl}$	$З_{4sl}$	$t'_{5sl}$	$З_{5sl}$
1	1	5	535,69	3,63	1944,55	1,58	846,38	1,37	733,89	1,21	648,18	2,35	1258,86
	2	6	630,22	2,57	1619,67	1,68	1058,77	1,84	1159,60	1,12	705,84	1,61	1014,65
	3	2	378,13	4,27	1614,62	5,5	2079,73	5,46	2064,60	5,03	1902,01	6,01	2272,58
Итого по первому цеху				10,47	5178,85	8,76	3984,89	8,67	3958,11	7,36	3256,04	9,97	4546,10
2	4	5	535,69	2,82	1510,64	4,06	2174,89	2,66	1424,93	3,22	1724,91	1,63	873,17
	5	2	378,13	1,85	699,54	2,2	831,89	2,98	1126,83	3,12	1179,77	1,08	408,38
	6	3	441,16	6,05	2668,99	8,9	3926,28	3,6	1588,16	7,68	3388,07	3,86	1702,82
	7	3	441,16	7,13	3145,43	4,62	2038,13	1,17	516,15	3,79	1671,97	4,44	1958,73
	8	4	472,67	2,41	1139,12	2,04	964,24	3,01	1422,72	5,99	2831,27	1,21	571,92
Итого по второму цеху				20,26	9163,74	21,82	9935,45	13,42	6078,80	23,8	10796,02	12,22	5515,07
3	Сб. цех	1	315,11	4	1260,44	5	1575,55	6	1890,66	7	2205,77	8	2520,88
Итого по заводу в целом				34,73	15603,04	35,58	15495,90	28,09	11927,58	38,16	16257,84	30,19	12582,07

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г**

Таблица 2.11 - Результаты расчета ГППЗ по разным критериям

Показатели	Прибыль от единицы изделия, руб./шт. Nm	Критерии оптимальности															
		Максимум выпуска в натуральном выражении		Максимум выпуска в стоимостном выражении		Максимум прибыли						Максимум прибыли с учетом потерь от простоев оборудования		Максимум трудоемкости		Многокритериальная модель	
						В модели линейного программирования		В целочисленной модели		В модели без ограничений по спросу на изделия							
		Количество изделий, шт., Пм	Сумма прибыли, руб.	Nm	Пм	Nm	Пм	Nm	Пм	Nm	Пм	Nm	Пм	Пм	Пм	Nm	Пм
Изделие 1	2 654,15	980	2 601 068,15	50	132 707,56	50	132 707,56	50	132 707,56	-	-	50	132 707,56	980	2 601 068,15	50	132 707,56
Изделие 2	19 208,13	100	1 920 813,11	100	1 920 813,11	100	1 920 813,11	100	1 920 813,11	-	-	100	1 920 813,11	100	1 920 813,11	100	1 920 813,11
Изделие 3	9 467,39	3 000	28 402 172,84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 000	28 402 172,84	-	-
Изделие 4	35 801,42	200	7 160 283,04	952	34 082 947,28	200	7 160 283,04	202	7 231 885,87	-	-	200	7 160 283,04	200	7 160 283,04	200	7 160 283,04
Изделие 5	53 467,52	685	36 625 250,95	3 441	183 981 735,05	4 071	217 666 272,42	4 070	217 612 804,90	4366	233 439 190,71	4071	217 666 272,42	685	36 625 250,95	4071	217 666 272,42
Сумма прибыли от ГППЗ, руб.	X	X	76 709 588,08	X	220 118 203,00	X	226 880 076,13	X	226 898 211,44	X	233 439 190,71	X	226 880 076,13	X	76 709 588,08	X	226 880 076,13

**ПРИЛОЖЕНИЕ Д**

Таблица 2.12 - Потери от простоев оборудования при расчете ГППЗ по разным критериям

Группа оборудования	Удельные потери от простоя оборудования, руб./ч.	Критерии оптимальности табл. 2.12															
		Максимум выпуска в натуральном выражении		Максимум выпуска в стоимостном выражении		Максимум прибыли						Максимум прибыли с учетом потерь от простоев оборудования		Максимум трудоемкости		Многокритериальная модель	
						В модели линейного программирования		В целочисленной модели		В модели без ограничений по спросу на изделия							
		Простой, ч.	Потери от простоев, руб.	Простой, ч.	Потери от простоев, руб.	Простой, ч.	Потери от простоев, руб.	Простой, ч.	Потери от простоев, руб.	Простой, ч.	Потери от простоев, руб.	Простой, ч.	Потери от простоев, руб.	Простой, ч.	Потери от простоев, руб.	Простой, ч.	Потери от простоев, руб.
C1	143,93	8 000	1 151 515,49	8 106	1 166 753,50	7 471	1 075 260,67	7 467	1 074 804,08	7 348	1 057 548,91	7 471	1 075 261,24	8 000	1 151 515,49	7 471	1 075 260,67
C2	222,28	11 907	2 646 669,46	14 820	3 294 163,81	14 626	3 250 977,37	14 631	3 252 064,31	14 677	3 262 324,67	14 626	3 250 977,37	11 907	2 646 669,46	14 626	3 250 977,37
C3	102,24	-	-	-	-	-	-	1 65,44	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C4	104,02	11 740	1 221 253,63	15 096	1 570 380,14	16 369	1 702 827,45	16 359	1 701 751,64	14 677	1 526 744,91	16 369	1 702 827,45	11 740	1 221 253,63	16 369	1 702 827,45
C5	126,33	9 855	1 244 977,28	14 290	1 805 170,69	15 680	1 980 794,39	15 676	1 980 286,98	16 195	2 045 795,52	15 680	1 980 794,39	9 855	1 244 977,28	15 680	1 980 794,39
C6	139,78	-	-	-	-	2 578	360 334,23	2 575	359 951,12	3 803	531 568,51	2 578	360 334,65	-	-	2 578	360 334,65
C7	132,60	12 925	1 713 854,74	9 402	1 246 695,25	9 445	1 252 375,91	9 440	1 251 693,01	9 638	1 277 961,39	9 445	1 252 376,70	12 925	1 713 854,74	9 445	1 252 376,57
C8	108,98	13 751	1 498 557,68	16 209	1 766 361,24	18 889	2 058 431,43	18 865	2 055 819,29	19 723	2 149 340,82	18 889	2 058 431,43	13 751	1 498 557,68	18 889	2 058 431,43
<i>Итого</i>			9 476 828,28		10 849 524,63		11 681 001,43		11 676 435,86		11 851 284,72		11 681 003,22		9 476 828,28		11 681 002,52

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Таблица 2.13 - Послеоптимизационный анализ ГППЗ

Номер изделия	Прибыль от одного изделия, руб./шт.	Новая прибыль от одного изделия, руб/шт	Этапы									
			1 изменение границ спроса		2 - изменение коэффициентов целевой функции		3 - изменение трудоемкости продукции		4 – увеличение эффективного фонда рабочего времени		5 – ликвидация диспропорции	
			Количество изделий в ГППЗ, шт.	Прибыль, руб.	Количество изделий в ГППЗ, шт.	Прибыль, руб.	Количество изделий в ГППЗ, шт.	Прибыль, руб.	Количество изделий в ГППЗ, шт.	Прибыль, руб.	Количество изделий в ГППЗ, шт.	Прибыль, руб.
1	2 654,15	2 654,15	30	79 624,54	30	79 624,50	30	79 624,54	30	79 624,50	30	79 624,50
2	19 208,13	21 128,94	50	960406,55	50	1 056 447,00	50	960 406,55	50	1 056 447,00	50	1 056 447,00
3	9 467,39	9 940,76	0	0	0	-	0	-	0	-	0	-
4	35 801,42	39 381,55	100	3580141,52	100	3 938 155,00	100	3 580 141,52	100	3 938 155,00	585	23 038 206,75
5	53 467,52	53 467,51	4215	225 365 595,25	4215	225 365 554,65	4708	251 725 082,43	4723	252 527 049,73	9965	532 803 737,15
Общая прибыль от ГППЗ, руб.			X	229 985 767,86	X	230 439 781,15	X	256 345 255,04	X	257 601 276,23	X	556 978 015,40

**ПРИЛОЖЕНИЕ Ж**

Таблица 3.1 - Распределение производственной программы завода на 2023 г. по кварталам и месяцам

Номер изделия	Количество изделий, выпускаемых за год $N_{m}$ , шт.	1 квартал	Январь	Февраль	Март	2 квартал	Апрель	Май	Июнь	3 квартал	Июль	Август	Сентябрь	4 квартал	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
		число рабочих дней $D_{pk}$ , раб. дн.															
		57	17	18	22	61	20	20	21	65	21	23	21	64	22	21	21
		количество изделий $N_{mk}$ , шт.															
1	30	7	2	2	3	7	2	2	3	8	2	3	3	8	3	3	2
2	50	12	3	4	5	12	4	4	4	13	4	5	4	13	5	4	4
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	585	135	40	43	52	144	47	47	50	154	50	54	50	152	52	50	50
5	9965	2300	686	726	888	2461	807	807	847	2622	847	928	847	2582	888	847	847

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица 4.2 - Расчет длительности производственных циклов обработки партий деталей

Номер цеха	Номер группы оборудования	Коэффициент выполнения норм	Размерность	t <sub>ij</sub>													
				Номер детали													
				1		2		3		4		5		6		7	
				q <sub>ij</sub>	t <sub>ij</sub>												
1	1	0,9	ч/шт			8	0,05	5	0,12	1	0,28	8	0,16	1	0,19	1	0,23
	2	0,9	ч/шт			2	0,15	1	0,49	1	0,48	5	0,14	1	0,24	1	0,16
	3	1	ч/шт			16	0,13	16	0,10	1	0,37	1	0,42	1	0,31	1	0,35
Итого			ч/шт			x	0,32	x	0,71	x	1,13	x	0,72	x	0,74	x	0,74
Коэффициент параллельности				0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Размер партии деталей			шт	0	430	203	3	203	24	14							
<i>T<sub>ц1</sub> в первом цехе</i>			р.дн		9,42	9,71	0,96	9,86	1,865	1,39							
2	4	1,1	ч/шт			5	0,05	3	0,13	1	0,65	5	0,11	1	0,74	1	0,93
	5	1,2	ч/шт			4	0,04	4	0,10	1	0,44	1	0,15	1	0,98	1	0,30
	6	1,3	ч/шт			10	0,09	10	0,08	1	2,16	10	0,05	1	1,89	1	0,40
	7	1,4	ч/шт			10	0,04	1	0,15	1	0,21	10	0,23	1	0,45	1	1,08
	8	1,4	ч/шт			1	0,11	1	0,24	1	0,45	3	0,13	1	1,94	1	0,16
Итого			ч/шт	x		x	0,3	x	0,7	x	3,9	x	0,67	x	6,0	x	2,87
Коэффициент параллельности				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Размер партии деталей			шт		430	203	3	203	24	14							
<i>T<sub>ц2</sub> во втором цехе</i>			р.дн		9,71	9,51	1,48	9,30	9,74	3,26							

**ПРИЛОЖЕНИЕ И**

Таблица 4.3 - Календарно-плановые нормативы

Номера деталей	Потребность деталей на ГППЗ, $N_i$ шт.	Среднедневная потребность деталей на сборке $N_{обв}$ , шт./день	Номера цехов	Ритм запуска, выпуска партий деталей $R_{цз}$ , раб.дн	Размер партий деталей $n_{цз}$ , шт.	Длительность производственного цикла $T_{цз}$ , раб.дн.	Заделы, шт									Опережение выпуска $O_{вил}$ , шт.		Опережение запуска $O_{зил}$ , шт.	
							Цеховой			Межцеховые						Нормативное	Фактическое	Нормативное	Фактическое
							Цикловой $H_{цзл}$			Оборотный $H_{обв, l+1}$			Резервный $H_{резв, l+1}$						
							Нормативный	Фактический		Нормативный	Фактический		Нормативный	Фактический					
%	шт.	%	шт.	%	шт.														
2	21200	85,8	1	5	430	10	858	130	1116						1693	1994	2552	3109	
			2	5	430	10	858	130	1116	0		0	172	80	137	664	741	1522	1856
			3	1	86	2	172	130	223	235	100	235	257	110	283	0		172	223
3	10025	40,5	1	5	203	10	406	80	325						752	619	1158	943	
			2	5	203	10	406	80	325	0		0	81	40	32	265	262	671	586
			3	1	41	2	81	80	65	63	120	75	122	100	122			81	65
4	130	0,5	1	5	3	1	1	100	1,0						24	31	25	32	
			2	5	3	2	1	100	1	0		0	1	120	1	23	29	23	30
			3	1	1	2	1	100	1	20	130	26	2	120	2	0		1	1
5	10025	40,5	1	5	203	10	406	120	487						914	990	1319	1477	
			2	5	203	10	406	120	487	0		0	81	110	89	427	414	832	901
			3	1	41	5	203	120	243	102	60	61	122	90	110	0		203	243
6	1170	4,7	1	5	24	2	9	60	5						115	93	124	99	
			2	5	24	10	46	60	28	0		0	9	140	13	60	52	106	80
			3	1	5	5	24	60	14	22	90	20	14	130	18	0		24	14
7	685	2,8	1	5	14	2	4	70	3						38	29	42	31	
			2	5	14	4	9	70	6	0		0	6	90	5	23	17	32	24
			3	1	3	5	14	70	10	1	100	1	8	80	7	0		14	10

## ПРИЛОЖЕНИЕ Й

Таблица 5.1 - Месячная производственная программа 1 цеха на апрель 2023 года

Номера деталей	Календарно-плановые нормативы					Фактически на начало месяца нарастающим итогом		Размеры первых партий деталей		Месячная программа без учета партионности		Месячная программа с учетом партионности		Общее число партий деталей, выпускаемых за месяц
	$R_{it}$ , раб.дн	$n_{it}$ , шт.	$T_{fit}$ , раб.дн.	$H_{fit}$ , шт.	$H_{обит-1,1} + H_{резит-1,1}$ шт.	$H_{fit}$ , шт.	$H_{it-1,1}$ , шт.	запускаемой $n_{эл,1}$ , шт.	выпускаемой $n_{ет,1}$ , шт.	по запуску $N_{3,месц1}$ , шт.	по выпуску $N_{6,месц1}$ , шт.	по запуску $N'_{3,месц1}$ , шт.	по выпуску $N'_{6,месц1}$ , шт.	
2	5	430	10	858	0	1116	0	430	256	1159	1416	1290	1546	4
3	5	203	10,00	406	0	325	0	203	122	1026	945	1218	1137	6
4	5	3	0,96	1	0	1	0	3	1	4	4	6	7	3
5	5	203	10	406	0	487	0	203	284	654	735	812	893	5
6	5	24	1,86	9	0	5	0	24	5	120	117	144	125	6
7	5	14	1,39	4	0	3	0	14	3	66	65	70	73	6

**ПРИЛОЖЕНИЕ К**

Таблица 5.2 - Расчет месячной производственной программы 1 цеха на апрель 2023 г. (по запуску и выпуску без учета партионности), шт./мес.

Номер детали	$N_{в.месicб}$	$\Delta H_{цi3}$	$N_{з.месicб}$	$\Delta H_{i2,3}$	$N_{в.месic2}$	$\Delta H_{цi2}$	$N_{з.месic2}$	$\Delta H_{i1,2}$	$N_{в.месic1}$	$\Delta H_{цi1}$	$N_{з.месic1}$
2	1717	-51	1665	-26	1639	-257	1382	34	1416	-257	1159
3	812	16	828	-13	815	81	897	49	945	81	1026
4	11	0	11	-6	4	0	4	0	4	0,0	4
5	812	-41	771	53	824	-81	743	-8	735	-81	654
6	95	9	104	-2	102	18	121	-4	117	4	120
7	55	4	60	2	61	3	64	1	65	1	66

**ПРИЛОЖЕНИЕ Л**

Таблица 5.3 - Сроки запуска и выпуска партий деталей в 1цехе на апрель 2023, раб. дн.

Номер детали	Номер партии													
	1		2		3		4		5		6		7	
	$D_{zi11}$	$D_{ei11}$	$D_{zi12}$	$D_{ei12}$	$D_{zi13}$	$D_{ei13}$	$D_{zi14}$	$D_{ei14}$	$D_{zi15}$	$D_{ei15}$	$D_{zi16}$	$D_{ei16}$	$D_{zi17}$	$D_{ei17}$
2	-7	3	-4	6	1	11	6	16	11	21	16	26	21	31
3	-12	-2	-9	1	-4	6	1	11	6	16	11	21	16	26
4	-1	0	1	2	6	7	11	12	16	17	21	22	26	27
5	-8	2	-1	9	4	14	9	19	14	24	19	29	24	34
6	-3	-1	-1	1	4	6	9	11	14	16	19	21	24	26
7	-3	-2	-2	-1	3	5	8	10	13	15	18	20	23	25



							Выпуск нарастающим итогом с начала месяца	37	74	111	148	185	222	259	296	333	370	406	442	478	514	550	587	624	661	698	735					
							Nih	284/284								203/893																
							График запуска и выпуска	203/487										203/-														
								203/690															203/-									
6	117	5.8	24	5	24	-1	Выпуск за день Ngnik	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	144	125	
							Выпуск нарастающим итогом с начала месяца	5	10	15	21	27	33	39	45	51	57	63	69	75	81	87	93	99	105	111	117					
							Nih	5/5									24/101															
							График запуска и выпуска	24/29							24/77						24/125											
										24/53																						
7	65	3.2	14	3	14	-2	Выпуск за день Ngnik	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	70	73		
							Выпуск нарастающим итогом с начала месяца	3	6	9	12	15	18	22	26	30	34	38	41	44	47	50	53	56	59	62	65					
							Nih	3/3									14/59															
							График запуска и выпуска	14/17							14/45						14/73											
										14/31																						