

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева

А. Ф. Егоров, Т. В. Савицкая, С. А. Лёвушкина

**ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПИСАНИЯ РАБОТЫ
МНОГОПРОДУКТОВЫХ
ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
СИСТЕМ**

Лабораторный практикум

Утверждено Редакционным
советом университета
в качестве учебного пособия

Москва
2017

УДК 66.011.001.57:658.628 (076)
ББК 32.816:35.115; 32.965.7я7
Е302

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор Российского химико-
технологического университета имени Д. И. Менделеева
В. В. Макаров

Доктор технических наук, профессор Тверского государственного
технического университета
В. Н. Богатиков

Егоров А. Ф.

Е302 Оптимизация расписания работы многопродуктовых химико-
технологических систем. Лабораторный практикум: учеб. пособие /
А. Ф. Егоров, Т. В. Савицкая, С. А. Лёвушкина. – М.: РХТУ
им. Д. И. Менделеева, 2017. – 118 с.
ISBN 978-5-7237-1452-6

Содержатся методические рекомендации по использованию
разработанного на кафедре компьютерно-интегрированных систем в химической
технологии программного обеспечения для составления расписания работы
многопродуктовых химико-технологических систем. Дано описание
лабораторных работ, порядок их выполнения с использованием
специализированного программного обеспечения, примеры решения заданий и
оформления результатов исследования.

Учебное пособие предназначено для студентов, изучающих дисциплину
«Компьютерно-интегрированные ресурсосберегающие системы управления
химическими предприятиями», являющуюся обязательной дисциплиной
вариативной части блока 1 «Дисциплины (модули)» основной образовательной
программы подготовки магистров по направлению 18.04.02 Энерго- и
ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и
биотехнологии, программа «Кибернетика химико-технологических процессов» и
выполняющих курсовые научно-исследовательские работы магистрантов,
лабораторные и выпускные квалификационные работы. Рекомендуются также
студентам бакалавриата, магистратуры и аспирантуры других направлений
подготовки, изучающих методы моделирования расписания работы
многопродуктовых химико-технологических систем.

УДК 66.011.001.57:658.628 (076)

ББК 32.816:35.115; 32.965.7я7

ISBN 978-5-7237-1452-6 © Российский химико-технологический
университет имени Д. И. Менделеева, 2017
© Егоров А. Ф., Савицкая Т.В., Лёвушкина С. А., 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
РАБОТА 1. РАСЧЁТ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПИСАНИЯ РАБОТЫ МНОГОПРОДУКТОВЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ХИМИКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ	7
1.1. Задание к лабораторной работе 1	7
1.2. Теоретическая часть к работе 1	11
1.3. Описание программных продуктов, используемых в работе 1	14
1.3.1. Описание интерфейса и работы с программой «Расписание с заданием маршрутов выпуска продуктов»	14
1.3.2. Описание интерфейса и работы с программой «Синтез ХТС» ..	23
1.4. Расчётная часть для задачи 1	32
1.4.1. Расчёт по программе «Расписание с заданием маршрутов выпуска продуктов» для многопродуктовой периодической ХТС	32
1.4.2. Расчёт по программе «Синтез ХТС» для многопродуктовой периодической ХТС	37
1.4.3. Ручной расчёт оптимальной последовательности выпуска продуктов для многопродуктовой периодической ХТС методом ветвей и границ	41
1.4.4. Сравнение результатов ручного и машинного расчётов	43
1.4.5. Дерево вариантов решений для задачи 1	44
1.5. Расчётная часть для задачи 2	44
1.5.1. Расчёт по программе «Расписание с заданием маршрутов продуктов» для многопродуктовой гибкой ХТС	44
1.5.2. Расчёт по программе «Синтез ХТС» для многопродуктовой гибкой ХТС	50
1.5.3. Ручной расчёт оптимальной последовательности выпуска продуктов для многопродуктовой гибкой ХТС методом ветвей и границ	55
1.5.4. Сравнение результатов ручного и программного расчётов	56
1.5.5. Дерево вариантов решений для задачи 2	57
1.6. Требования к отчёту по работе 1	59

РАБОТА 2. РАСЧЁТ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПИСАНИЯ РАБОТЫ МНОГОАССОРТИМЕНТНОГО МНОГОСТАДИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЛАСТИЧЕСКИХ МАСС.....	60
2.1. Задание к лабораторной работе 2	61
2.2. Теоретическая часть к работе 2	62
2.2.1. Описание технологического процесса производства изделий из пластических масс	62
2.2.2. Математические модели стадий производства изделий из пластических масс.....	63
2.2.3. Составление расписания работы оборудования для производства изделий из пластических масс	69
2.3. Описание интерфейса и работы с программой «Расчёт расписания работы оборудования многоассортиментного многостадийного производства изделий из пластических масс», используемой в работе 2.....	75
2.3.1. Описание интерфейса программного приложения	75
2.3.2. Режимы работы программы	78
2.4. Расчётная часть по работе 2	83
2.4.1. Расчёт времени выпуска продуктов	83
2.4.2. Ручной расчёт оптимального расписания выпуска продуктов методом ветвей и границ и построение дерева варианта решений для работы 2.....	101
2.4.3. Определение оптимального расписания выпуска продуктов с использованием программы «Расчёт расписания работы оборудования многостадийного производства изделий из пластических масс».....	108
2.4.4. Сравнение результатов ручного и программного расчётов по работе 2.....	111
2.5. Требования к отчёту по работе 2	115
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	116
ЛИТЕРАТУРА	117

ВВЕДЕНИЕ

В данном практикуме рассматриваются лабораторные работы по курсу «Компьютерно-интегрированные ресурсосберегающие системы управления химическими предприятиями». Для выполнения лабораторных работ используется специализированное программное обеспечение, разработанное на кафедре компьютерно-интегрированных систем в химической технологии (КИС ХТ).

Лабораторный практикум содержит две работы, направленные на:

- освоение студентами численных методов и алгоритмов решения задач теории расписаний;
- получение навыков составления расписания для многопродуктовых периодических химических производств с одинаковыми и различными маршрутами выпуска продуктов;
- освоение студентами специализированного программного обеспечения и понимание принципов его функционирования;
- понимание тонкостей составления оптимального расписания для конкретного химического производства.

В лабораторной работе 1 «Расчёт оптимального расписания работы многопродуктовых периодических химико-технологических систем (ХТС)» необходимо определить оптимальное расписание работы многопродуктовых периодических ХТС с последовательным расположением аппаратов, при котором время выпуска всех продуктов будет минимальным. Для первой работы необходимо использовать две программы расчёта: «Синтез ХТС» и «Расписание с заданием маршрутов продуктов». Обе программы используют для поиска оптимальной последовательности выпуска продуктов метод ветвей и границ. В них также реализована возможность построения диаграмм Ганта. Программа «Расписание с заданием маршрутов продуктов» имеет более широкий функционал по сравнению с программой «Синтез ХТС». В лабораторном практикуме приведено подробное описание работы с программами. Во время выполнения лабораторной работы 1 студенты овладевают навыками ручного расчёта для поиска оптимального расписания работы многопродуктовых периодических ХТС, что позволяет получить на

практике представление о том, как устроены современные программные продукты в области производственного планирования.

Во время выполнения лабораторной работы 2 «Расчёт оптимального расписания работы многоассортиментного многостадийного производства изделий из пластических масс» необходимо определить оптимальное расписание работы многоассортиментного многостадийного производства изделий из пластических масс с последовательным и параллельным расположением аппаратов, при котором время выпуска всех продуктов будет минимальным. В лабораторной работе 2 расчёт производится с помощью программы «Расчёт расписания работы оборудования многостадийного производства изделий из пластических масс».

РАБОТА 1. РАСЧЁТ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПИСАНИЯ РАБОТЫ МНОГОПРОДУКТОВЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Цель работы: Рассчитать оптимальное расписание работы многопродуктовых периодических ХТС с последовательным расположением аппаратов, при котором время выпуска всех продуктов будет минимальным.

Задачи работы: 1. С помощью программ «Синтез ХТС» и «Расписание с заданием маршрутов продуктов» рассчитать оптимальное расписание работы многопродуктовой периодической ХТС с последовательным расположением аппаратов, при котором время выпуска всех продуктов будет минимальным. Для расчёта использовать модель с учетом затрат на переналадку и с учётом времени задержки поставки сырья на производство продуктов.

2. Для наилучшей последовательности выпуска продуктов построить диаграмму Ганта.

3. Выполнить ручной расчёт для поиска оптимальной последовательности выпуска продуктов, используя один из численных методов теории расписаний. Сравнить полученные результаты с ручным расчётом, проведённым для нескольких последовательностей, и сделать выводы.

1.1. Задание к лабораторной работе 1

Задача 1. Пусть необходимо выпустить четыре различных продукта, которые имеют одинаковый технологический маршрут и проходят последовательно через 3 аппарата. Для обработки i -го продукта в j -м аппарате требуется время $t_{i,j}$. Исходные материалы, используемые для получения соответствующих продуктов, поступают на производство в моменты времени d_i . Для переналадки j -го аппарата с выпуска i -го

продукта на выпуск k -го продукта необходимо время θ_{ik}^j .

Последовательность выпуска продуктов:

$$\pi = \{i_1, i_2, \dots, i_q, \dots, i_n\},$$

где i_q – номер продукта, выпускаемого q -м по порядку.

В каждый момент времени в каждом аппарате может обрабатываться только один продукт. Необходимо самостоятельно задать времена обработки продуктов, переналадки оборудования и время задержки исходного материала. Рассчитать оптимальную очередность выпуска продуктов π^* , при которой время выпуска всех продуктов будет минимальным. Времена обработки в каждом аппарате при выпуске каждого из продуктов приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Матрица времён обработки i -го продукта в j -м аппарате – $t_{i,j}$ (ч)

i -й продукт	j -й аппарат		
	Аппарат 1	Аппарат 2	Аппарат 3
Продукт 1	3	4	6
Продукт 2	6	4	2
Продукт 3	2	4	3
Продукт 4	4	2	5

Времена переналадки аппаратов с производства одного продукта на производство другого продукта представлены в табл. 1.2. Вводится допущение о том, что времена переналадки одинаковы для всех аппаратов схемы.

Времена задержек поставок сырья при производстве каждого продукта приведены в табл. 1.3.

Требуется определить такую последовательность выпуска четырёх продуктов на трёх аппаратах, чтобы общее время выпуска всех продуктов было минимальным. Выполнить ручной расчёт трёх последовательностей на выбор. Сравнить результаты машинного и ручного расчётов.

Таблица 1.2

Матрица времени переналадки с производства $i_{(q-1)}$ -го продукта в последовательности на производство i_q -го продукта в последовательности выпуска – $\theta_{i_{(q-1)}, i_q}$ (ч)

$i_{(q-1)}$ -й продукт	i_q -й продукт			
	Продукт 1	Продукт 2	Продукт 3	Продукт 4
Продукт 1	–	1	2	1
Продукт 2	1	–	1	2
Продукт 3	2	1	–	1
Продукт 4	1	2	1	–

Таблица 1.3

Времена задержек поставок сырья при производстве i -го продукта – d_i (ч)

i -й продукт	Продукт 1	Продукт 2	Продукт 3	Продукт 4
d_i	1	2	1	2

Задача 2. Пусть необходимо выпустить три различных продукта, которые имеют разный технологический маршрут выпуска (рис. 1.1).

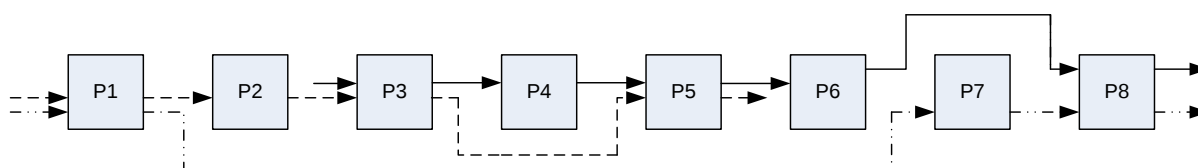


Рис. 1.1. Структура гибкой ХТС:

—————▶ Продукт 1, - - - - -▶ Продукт 2, - · - · - ·▶ Продукт 3

Для обработки i -го продукта в j -м аппарате требуется время $t_{i,j}$. Исходные материалы, используемые для получения соответствующих продуктов, поступают на производство в моменты времени d_i . Для переналадки j -го аппарата с выпуска i -го продукта на выпуск k -го продукта необходимо время θ_{ik}^j . Последовательность выпуска продуктов:

$$\pi = \{i_1, i_2, \dots, i_q, \dots, i_n\},$$

где i_q – номер продукта, выпускаемого q -м по порядку.

В каждый момент времени в каждом аппарате может обрабатываться только один продукт. Рассчитать оптимальную очередность выпуска продуктов π^* , при которой время выпуска всех продуктов будет минимальным.

Технологические маршруты обработки продуктов:

$$\sigma_1 = \{3, 4, 5, 6, 8\}, \sigma_2 = \{1, 2, 3, 5\}, \sigma_3 = \{1, 7, 8\}$$

Времена обработки в каждом аппарате при выпуске каждого из продуктов приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Матрица времён обработки i -го продукта в j -м аппарате – $t_{i,j}$ (ч)

i -й продукт	j -й аппарат							
	Апп.1	Апп. 2	Апп.3	Апп.4	Апп.5	Апп.6	Апп.7	Апп.8
Продукт 1	0	0	4	6	8	9	0	7
Продукт 2	6	4	3	0	9	0	0	0
Продукт 3	2	0	0	0	0	0	8	7

Времена переналадки аппаратов с производства одного продукта на производство другого продукта приведены в табл. 1.5. Вводится допущение о том, что времена переналадки одинаковы для всех аппаратов схемы.

Таблица 1.5

Матрица времени переналадки с производства $i_{(q-1)}$ -го продукта в последовательности на производство i_q -го продукта в последовательности выпуска – $\theta_{i_{(q-1)}, i_q}$ (ч)

$i_{(q-1)}$ -й продукт	i_q -й продукт		
	Продукт 1	Продукт 2	Продукт 3
Продукт 1	–	3	5
Продукт 2	1	–	2
Продукт 3	6	7	–

Времена задержек поставок сырья при производстве каждого продукта приведены в табл. 1.6.

Таблица 1.6

**Времена задержек поставок сырья
при производстве i -го продукта – d_i (ч)**

i -й продукт	Продукт 1	Продукт 2	Продукт 3
d_i	1	8	9

Требуется определить такую последовательность выпуска трёх продуктов, чтобы общее время выпуска всех продуктов было минимальным. Выполнить ручной расчёт для двух последовательностей. Сравнить результаты машинного и ручного расчётов.

1.2. Теоретическая часть к работе 1

Математическая постановка задачи составления расписаний работы многопродуктовых периодических ХТС с последовательным расположением аппаратов.

Пусть на совмещённой ХТС, состоящей из последовательности m технологических аппаратов, налажено производство n продуктов.

Последовательность выпуска продуктов обозначается как:

$$\pi = \{i_1, i_2, \dots, i_q, \dots, i_n\},$$

где i_q – номер продукта, выпускаемого q -м по порядку.

Сырьё, необходимое в производстве соответствующих продуктов, поступает в моменты времени $d_{i_q} \geq 0$ ($i = \overline{1, n}$). Обработка партии продукта, выпускаемого q -м в последовательности, в j -м аппарате занимает время $t_{i_q, j}$ (ч). Переналадка j -го технологического аппарата с выпуска продукта $(q-1)$ -го в последовательности на выпуск q -го продукта в последовательности занимает $\theta_{i_{(q-1)}, i_q}$ (ч). Моменты завершения выпуска продуктов в j -м аппарате в последовательности обозначаются $T_{i_q, j}$.

Задача составления оптимального расписания работы многопродуктовой периодической ХТС сводится к поиску такой последовательности выпуска продуктов, общее время выпуска которой будет минимальным.

Модель и система ограничений

$$\Omega(s) = \begin{cases} T_{i_1,1} = d_{i_1} + t_{i_1,1} \\ T_{i_1,j} = T_{i_1,(j-1)} + t_{i_1,j}; \quad j = \overline{2,m}; q = \overline{2,n} \\ T_{i_q,1} = \max\{d_{i_q}; (T_{i_{(q-1)},1} + \theta_{i_{(q-1)},i_q})\} + t_{i_q,1} \\ T_{i_q,j} = \max\{d_{i_q}; (T_{i_{(q-1)},j} + \theta_{i_{(q-1)},i_q})\} + t_{i_q,j}; \quad j = \overline{2,m}; q = \overline{2,n} \end{cases} \quad (1)$$

Критерий оптимизации

$$F(\pi) = T_{n,m} \quad (2)$$

Математическая постановка задачи оптимизации

$$\pi^* = \{i_1^*, i_2^*, \dots, i_n^*\} = \underset{\pi \in \Omega(s)}{\text{Arg min}} F(\pi) \quad (3)$$

Далее кратко описаны численные методы решения задач теории расписаний, с помощью которых можно найти оптимальную последовательность выпуска продуктов.

Метод Монте-Карло

Это численный метод решения математических задач при помощи моделирования случайных величин. Особенностью метода является простая структура вычислительного алгоритма: составляется программа для осуществления одного случайного испытания, затем это испытание повторяется N раз, причем каждый опыт не зависит от всех остальных, и результаты всех опытов осредняются [1, 2].

В лабораторной работе метод Монте-Карло используется для генерации начального решения с последующим поиском оптимального решения статистическим методом локального поиска.

Статистический метод локального поиска

Алгоритм статистического метода локального поиска оптимальной последовательности:

Шаг 1. Нужно выбрать некоторое локальное решение $\pi^0 = \{i_1^0, i_2^0, \dots, i_n^0\}$.

Шаг 2. Случайно сгенерировать номер некоторого продукта и

поменять его местами с соседним продуктом в выражении для π^0 . В результате этой перестановки получается другая последовательность выпуска продуктов π .

Шаг 3. Рассчитать $F(\pi)$ и $F(\pi^0)$.

Шаг 4. Сравнить полученные значения: если $F(\pi) < F(\pi^0)$, то принять в качестве начального решения $\pi^0 = \pi$ и вернуться к шагу 2; если же $F(\pi) > F(\pi^0)$, то вернуться к шагу 2 при сохранении π^0 .

Цикл шагов продолжается до тех пор, пока n раз подряд невозможно будет найти лучшее решение, чем решение $\pi^0 = \{i_1^0, i_2^0, \dots, i_n^0\}$.

Метод ветвей и границ

Этот метод является универсальным методом решения задач календарного планирования. Его суть заключается в упорядоченном переборе вершин дерева вариантов решений, чтобы как можно больше этих вершин исключить из рассмотрения и снизить размерность решаемых задач оптимизации.

Алгоритм метода ветвей и границ:

Шаг 1. Рассчитать время выпуска каждого продукта в отдельности во всех аппаратах.

Шаг 2. Сравнить полученные времена выпуска продуктов и принять за первый продукт i_1 в последовательности π^0 тот, у которого время выпуска $T_{i_1, m}$ является лучшим (наименьшим) в решении поставленной задачи минимизации.

Шаг 3. Начать ветвление от зафиксированного первого продукта в последовательности. Рассчитать время выпуска каждого следующего продукта последовательности с учетом уже выпущенного первого продукта i_1 . Сравнить полученные времена выпуска продуктов и принять за второй продукт i_2 последовательности π^0 тот, у которого время выпуска $T_{i_2, m}$ является наименьшим.

Правило ветвления будет применяться до тех пор, пока окончательно не будет получена последовательность π^0 , для которой $T_{i_n, m}$ будет удовлетворять критерию оптимизации.

Подробное описание методов и алгоритмов расчётов для поиска

оптимального расписания приведено в учебном пособии [3].

1.3. Описание программных продуктов, используемых в работе 1

1.3.1. Описание интерфейса и работы с программой «Расписание с заданием маршрутов выпуска продуктов»

Программное приложение «Расписание с заданием маршрутов выпуска продуктов» (*Schedule.exe*) предназначено для составления оптимального расписания выпуска группы продуктов. Для каждого продукта существует свой маршрут обработки в аппаратах.

В ходе составления оптимального расписания учитываются различные технологические маршруты обработки продуктов, время запаздывания поставок сырья для каждого продукта, время, необходимое для переналадки (промывка, продувка, сушка и т.п.) аппаратов с выпуска одного продукта на выпуск другого. Наличие промежуточных ёмкостей в данной программе не учитывается, что позволяет гарантировать низкую стоимость технологической схемы за счет минимального набора оборудования.

Поиск оптимального расписания осуществляется методом ветвей и границ, точнее – его волновой модификацией. В программе строго заданы параметры и настройки метода поиска – уровень, с которого начинается отбрасывание последовательностей, а также доля последовательностей, которые будут отброшены.

Результатом работы программы являются:

- 1) Оптимальная последовательность выпуска продуктов.
- 2) Время выпуска продуктов для лучшей найденной последовательности.
- 3) Подробное расписание для оптимальной последовательности, в котором указывается время обработки каждого продукта во всех аппаратах в соответствии с маршрутом выпуска продуктов.
- 4) Диаграмма Ганта для лучшей последовательности.

5) Excel-таблица с исходными данными и информацией о наилучшей последовательности выпуска продуктов.

Специфика применяемого метода ветвей и границ накладывает ограничения на расчёт оптимальной последовательности: максимальная размерность решаемой задачи составляет 12 продуктов и 12 аппаратов.

Описание интерфейса. Основные элементы формы программы

Рабочее окно программного модуля представлено на рис. 1.2.

Рабочее поле программного приложения разделено на две половины. Левая предназначена, во-первых, для выбора режима работы приложения, во-вторых, для ввода исходной информации. После выбора режима работы и при вводе исходной информации навигация осуществляется с использованием *кнопок навигации «Назад» и «Далее»*. Последняя представлена на рис. 1.2.

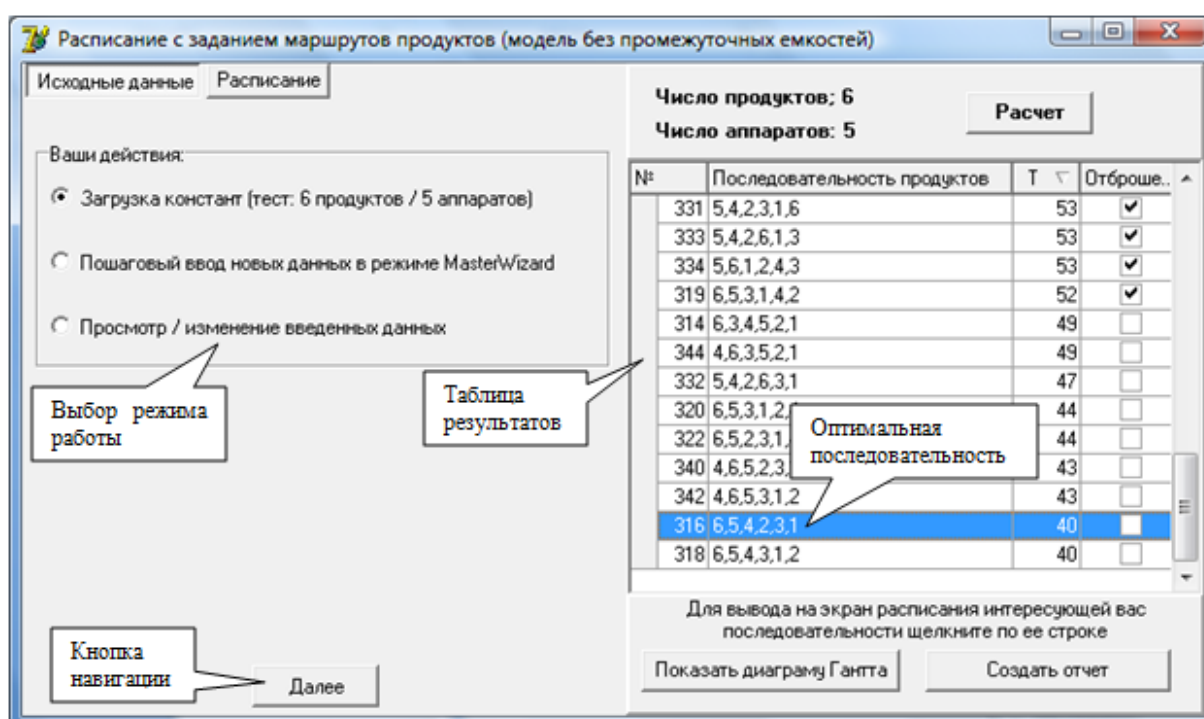


Рис. 1.2. Интерфейс программного модуля *Schedule.exe* и его основные элементы

Правая часть окна программного приложения предназначена для вывода результатов расчёта методом ветвей и границ. Результаты

выводятся в таблицу, где последовательности сортируются по убыванию времени выпуска.

Над таблицей располагается кнопка *«Расчёт»* – после ввода исходных данных она активируется для нажатия и запуска расчётных процедур. Расположенные под таблицей кнопки *«Показать диаграмму Гантта»* и *«Создать отчёт»* доступны только по завершении расчёта и выполняют соответствующие действия – построение диаграммы Гантта для любой выбранной последовательности и создание отчёта по исходным данным и оптимальной последовательности.

Режимы работы программного приложения

Программное приложение может работать в трёх режимах:

- Загрузка констант тестового примера (если ранее проводился расчёт оптимальной последовательности, и данные этого расчёта сохранены в файле);
- Пошаговый ввод новых данных (режим *MasterWizard*);
- Просмотр/изменение введённых данных.

Первые два режима работы программного приложения являются самостоятельными, а третий режим может осуществляться только при условии, что пользователем ранее уже были заданы исходные данные.

После выбора первого режима работы пользователь сразу может перейти к расчёту оптимальной последовательности выпуска продуктов (Выбор *«Загрузка констант»* → кнопка *«Далее»* → кнопка *«Расчёт»*). Данные тестового примера будут загружены, и по ним будут рассчитаны оптимальные последовательности выпуска продуктов, на основе которых затем можно построить диаграмму Гантта или создать отчёт.

Второй режим работы программного приложения предназначен для ввода информации с нуля.

С помощью третьего режима работы можно просмотреть введённые исходные данные и, при необходимости, внести изменения. Чтобы изменения имели силу, следует повторить расчёт.

Пошаговый ввод исходных данных в режиме MasterWizard

Режим *MasterWizard* является стандартным способом настройки программ или ввода исходной информации при работе или установке приложений. В программном модуле *Schedule.exe* реализован аналогичный подход, который, по мнению разработчика, помогает выделить функционально связанные группы исходных данных.

После выбора режима «Пошаговый ввод» и нажатия кнопки «Далее» пользователю предлагается ввести данные о числе продуктов и числе аппаратов, как показано на рис. 1.3.

Рис. 1.3. Первый шаг ввода информации

После ввода числа продуктов и числа аппаратов следует нажать кнопку «ОК», чтобы перейти к вводу информации о технологических маршрутах обработки и длительности стадий обработки.

Сначала пользователь должен для каждого продукта выбрать те аппараты, в которых они будут обрабатываться, и в той последовательности, в которой будет проходить их обработка (рис. 1.4).

Выбор аппарата (реактора) осуществляется путем нажатия иконки с изображением стрелки, указывающей вправо. Стрелка влево позволяет отказаться от одного из выбранных аппаратов, а стрелки вверх и вниз переместят выбранный аппарат в списке на позицию вверх или вниз. Когда составление маршрута для выпуска одного из продуктов окончено, следует нажать на кнопку «Маршрут подтверждаю», чтобы перейти к заданию времени обработки продукта. Время обработки продукта в аппаратах задается с помощью заполнения таблицы «Времена обработки в

реакторах».

Рис. 1.4. Ввод маршрута обработки продуктов

Когда вся информация о текущем продукте введена, следует нажать кнопку *«Следующий продукт»* для дальнейшего задания информации. Если только что были введены данные о последнем продукте, то появится кнопка *«Далее»*, которая позволит просмотреть сводную таблицу данных о маршрутах и временах обработки продуктов. В любой момент доступна кнопка *«Изменить маршрут»*.

На следующем шаге пользователю предлагается ввести времена переналадки аппаратов с выпуска одного продукта на выпуск другого. Ввод осуществляется с помощью таблицы *«Времена переналадки реакторов»*.

Далее следует задать времена задержек поставок сырья для продуктов с помощью соответствующей таблицы. Следует помнить, что задержка в поставке сырья может и отсутствовать, однако зачастую на практике это не так.

После ввода всей информации активируется кнопка *«Готово»*. Нажатие на эту кнопку запускает процедуру проверки корректности

данных и в случае успеха активирует кнопку *«Расчёт»*.

Загрузка исходных данных тестового примера

Режим предназначен для ознакомления с работой приложения на тестовом примере. Используя его, можно ознакомиться со способом вывода результатов построения диаграммы Гантта или со способом задания исходных данных.

На панели выбора режимов работы приложения сразу после его запуска следует выбрать *«Загрузка констант»* и подтвердить выбор нажатием кнопки *«Готово»*. Тестовые данные будут загружены и по ним можно будет провести расчёт.

Режим просмотра и изменения исходных данных

Режим доступен в том случае, если хотя бы некоторые исходные данные уже были введены. В этом случае их можно просмотреть или изменить. Просмотр и изменение данных возможны как для тестового примера, так и после проведения расчёта.

Переход к данному режиму осуществляется следующим образом: следует нажать на кнопку *«Исходные данные»* в левом верхнем углу программного приложения и на панели выбора режимов выбрать *«Просмотр / изменение введённых данных»*. Выбор режима подтверждается нажатием кнопки *«Готово»*.

Следует помнить, что в данном режиме невозможно изменение таких параметров расчёта, как количество продуктов и аппаратов. Их можно только задать заново, и это будет уже новый расчёт.

Расписание

После ввода исходных данных и нажатия кнопки *«Готово»* на экране появляются результаты расчёта (рис. 1.5).

Правую часть программного приложения занимает таблица, в которую выводятся результаты расчётов в виде таблицы: последовательность выпуска продуктов, время выпуска всей

последовательности и символ, указывающий на то, была ли данная последовательность отброшена в ходе расчёта или нет.

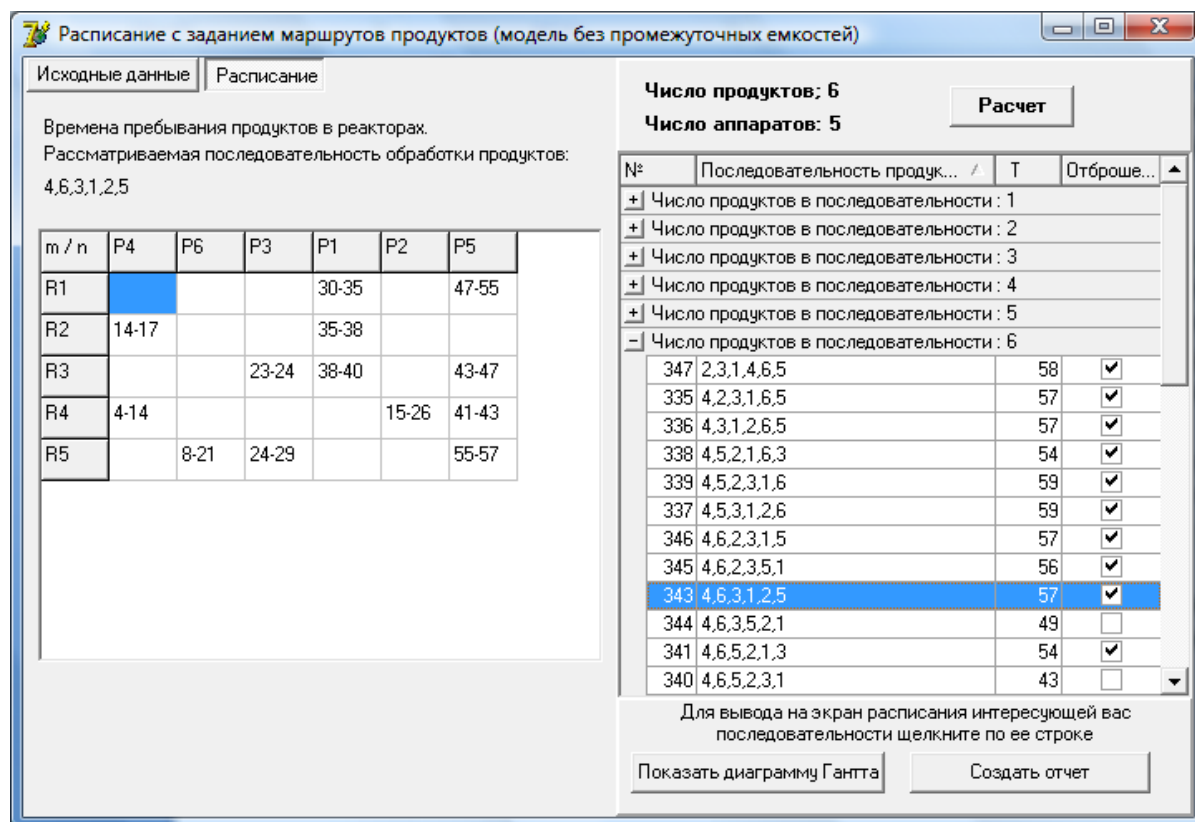


Рис. 1.5. Вид программного приложения при просмотре результатов расчёта

По умолчанию последовательности выпуска продуктов в таблице отсортированы по убыванию времени выпуска, т.е. самые лучшие последовательности отображаются в конце списка. Однако сортировка возможна по любому из параметров по желанию пользователя. Для сортировки по параметру следует нажать один раз на заголовок столбца. Будет применена сначала сортировка по убыванию, а при повторном нажатии – по возрастанию.

Обратите внимание: в таблице приводятся все последовательности, в том числе и не полные, которые рассматривались в ходе расчёта. Нажав на знак «+» или «-» можно свернуть или развернуть список последовательностей на любом уровне схемы и посмотреть, как проходил расчёт.

При выборе любой последовательности из таблицы в левой части приложения будет построена таблица, отражающая время пребывания (в

условных единицах времени) продуктов в аппаратах (рис. 1.5).

Такая таблица строится как для полных, законченных последовательностей, так и для неполных или отброшенных в ходе расчёта.

Создание отчёта

При нажатии на кнопку «Создать отчёт», расположенную под таблицей результатов, создается модальное окно, в котором в виде двухстраничного *Excel* представлены исходные данные (первый лист) и результаты расчёта (второй лист) (рис. 1.6).

Расчет оптимального расписания обработки						
продуктов в реакторах						
(модель без промежуточных емкостей)						
Минимальное время обработки продуктов: 40						
Оптимальная последовательность обработки продуктов:						
6,5,4,3,1,2						
Времена пребывания продуктов в реакторах						
m / n	P6	P5	P4	P3	P1	P2
R1		16-24			30-35	
R2			25-28		35-38	
R3		12-16		31-32	38-40	
R4		10-12	15-25			26-37
R5	8-21	24-26		32-37		
Оптимальная последовательность обработки продуктов:						
6,5,4,2,3,1						
Времена пребывания продуктов в реакторах						
m / n	P6	P5	P4	P2	P3	P1
R1		16-24				30-35
R2			25-28			35-38
R3		12-16			31-32	38-40
R4		10-12	15-25	26-37		
R5	8-21	24-26			32-37	

Рис. 1.6. Второй лист файла отчёта. Оптимальные последовательности

На втором листе помещаются данные об одной или нескольких оптимальных последовательностях (если в ходе расчёта было получено несколько последовательностей с одинаковыми временами выпуска) (рис. 1.6).

Модальное окно отчёта можно закрыть или же сохранить файл отчёта в формате *.xls, нажав на кнопку «Сохранить в Excel» в нижней части модального окна. Сохранённый отчёт может быть использован для дальнейшей работы пользователя.

Построение диаграммы Гантта

Для любой последовательности из таблицы (рис. 1.5) может быть также построена диаграмма Гантта, наглядно отражающая обработку продуктов, длительность стадий и занятость аппаратов.

Чтобы построить диаграмму Гантта, следует выбрать одну из последовательностей из таблицы и нажать на кнопку «Показать диаграмму Гантта»; кнопка находится под таблицей последовательностей (рис. 1.5).

Диаграмма Гантта будет открыта в модальном окне (рис. 1.7).

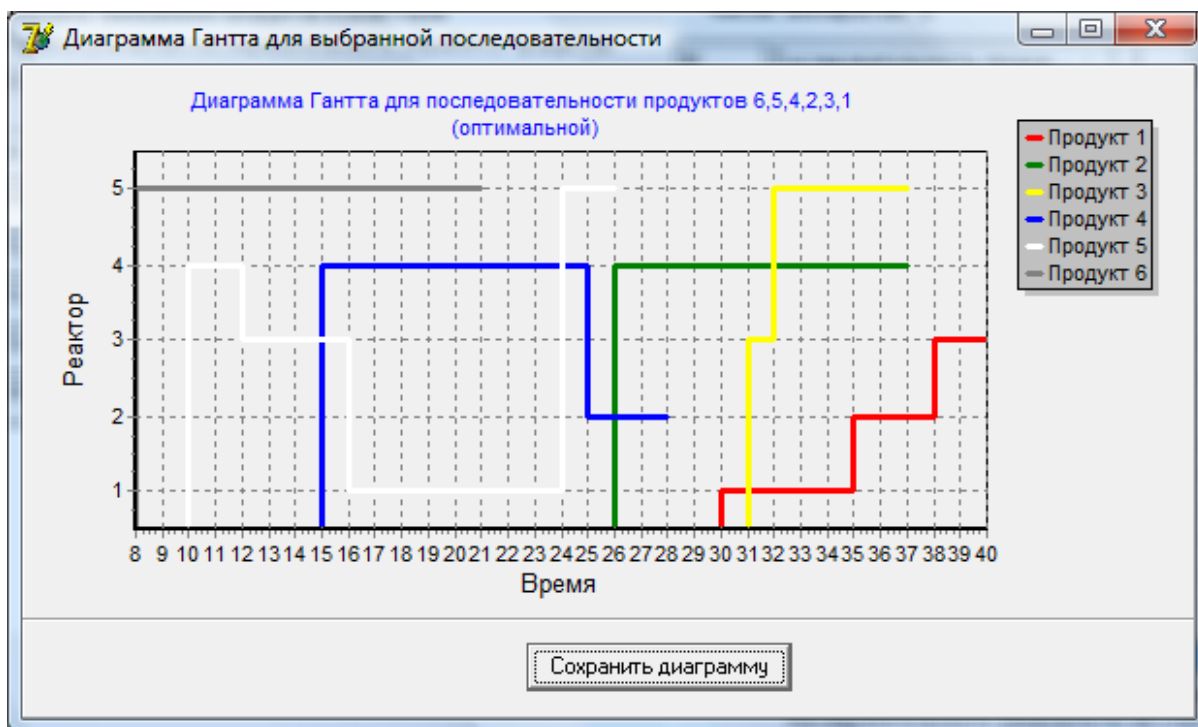


Рис. 1.7. Пример диаграммы Гантта для оптимальной последовательности выпуска продуктов

Диаграмму Ганта можно сохранить для последующей работы в виде файла *.wmf, нажав на кнопку «Сохранить диаграмму» в нижней части модального окна, или же закрыть.

Диаграмма Ганта, как и таблица времени пребывания продуктов в аппаратах, может быть построена для любой последовательности.

1.3.2. Описание интерфейса и работы с программой «Синтез ХТС»

Программа «Синтез ХТС» (*programstahx.exe*) предназначена для синтеза совмещённой схемы, расчёта времени наработки заданного объема продукции, а также полного и частичного совмещения и составления оптимального расписания для синтезируемой схемы.

Описание интерфейса

Меню настроек

1. Для запуска программы необходимо зайти в папку с программой и запустить бинарный файл *programstahx.exe* или воспользоваться ярлыком запуска.

2. Для выбора типа расчёта необходимо перейти в настройки программы (меню «Расчёт» => «Настройки», рис. 1.8).

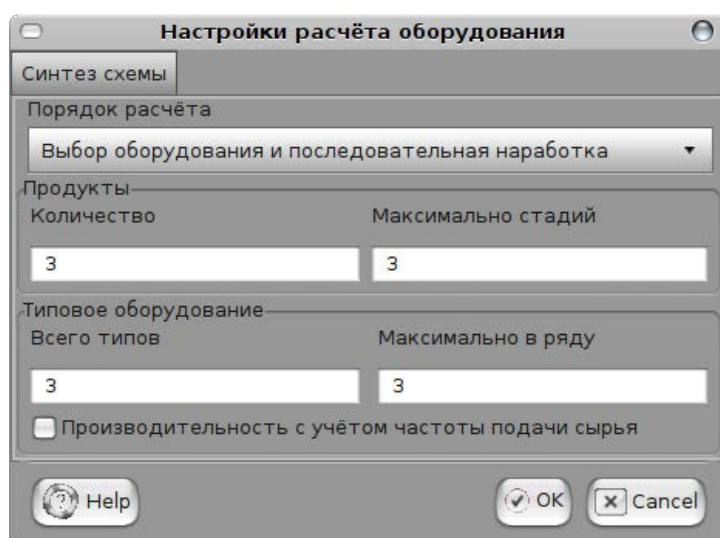


Рис. 1.8. Окно настроек расчёта. Первая закладка «Синтез схемы»

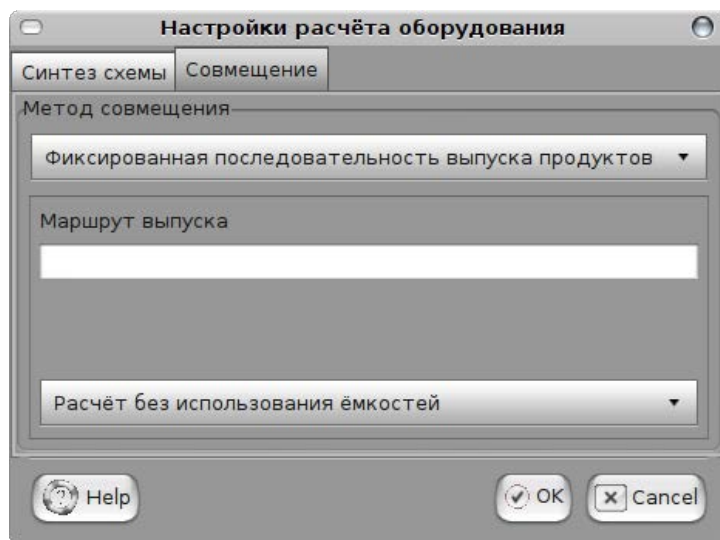


Рис. 1.9: Окно настроек расчёта. Вторая закладка «Совмещение»

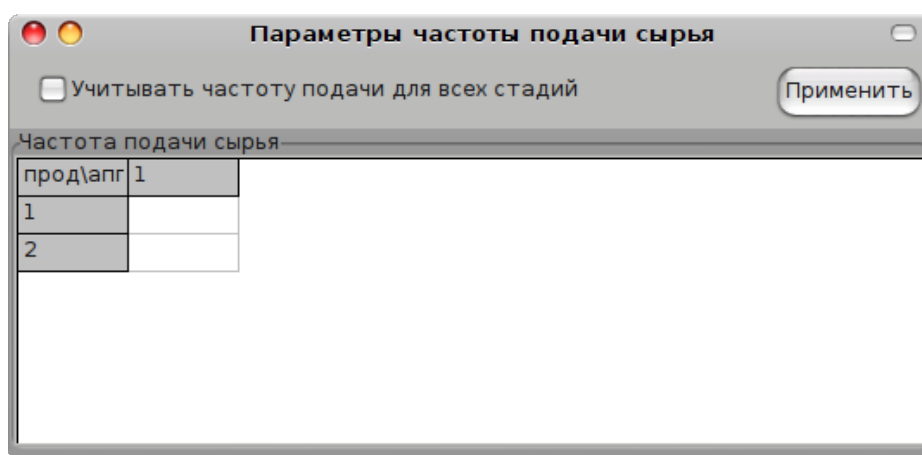


Рис. 1.10. Окно с настройками частоты подачи сырья

Для «Фиксированного расписания» можно указать последовательность по умолчанию в виде {1,2,3}, где числа — номера продуктов в данном расписании.

Для «Статистического метода, метода Монте-Карло» указывается количество проходов цикла расчёта без улучшений в расчётах подряд (для обоих методов).

Для применения и закрытия окна настроек надо нажать кнопку «ОК».

3. В главном окне программы появится возможность указать все необходимые для расчёта данные. Для каждого типа расчётов будут доступны различные закладки и таблицы на них.

Закладка «Схема» состоит из 3-х таблиц (рис. 1.11):

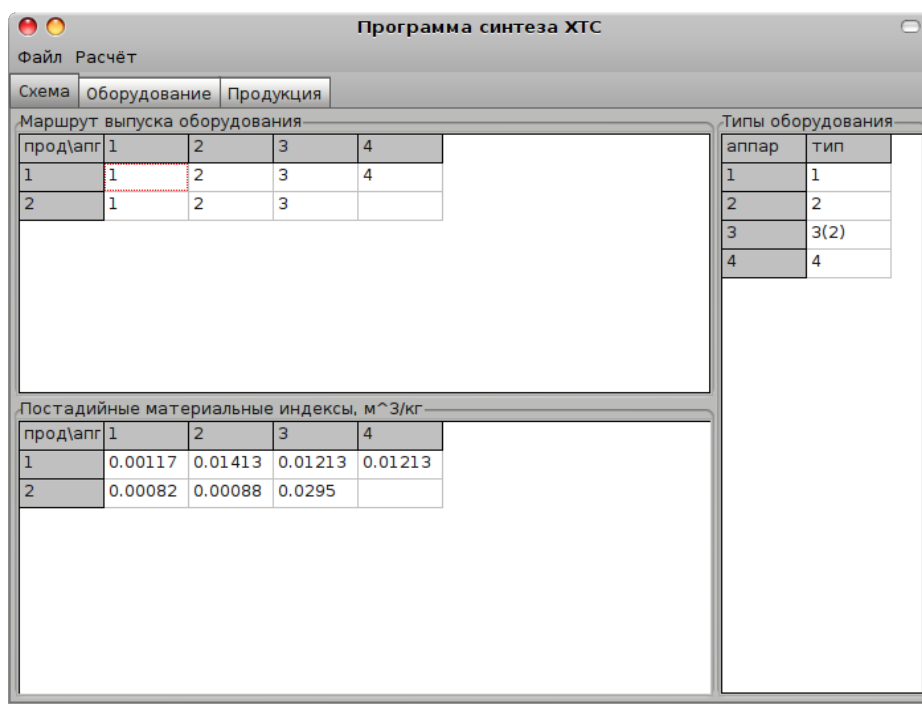


Рис. 1.11. Главное окно программы. Первая закладка «Схема»

- «Маршрут выпуска оборудования» – здесь необходимо указать порядок использования оборудования. В случае, если число стадий меньше максимального (неполное совмещение), тогда последние поля не заполняются (пустые);

- «Типы оборудования» – список оборудования из стандартного ряда, используемого для синтеза, для параллельно работающих аппаратов их количество указывают в скобках;

- «Постадийные материальные индексы» – в эту таблицу задаются постадийные материальные индексы для каждой стадии каждого выпускаемого продукта.

Закладка «Оборудование» состоит из 2-х таблиц (рис. 1.12):

- «Перечень типоразмеров стандартного оборудования» – указывается база типоразмеров аппаратов для синтеза;

- «Длительность стадий» – задаётся длительность каждой стадии (в часах).

Закладка «Продукция» состоит из 3-х таблиц (рис. 1.13):

- «Коэффициент заполнения» – коэффициенты заполнения для всех аппаратов;

- «Размеры партий» – указываются размеры партий для каждого

продукта;

- «Объем наработки» – общее количество продукта, которое необходимо наработать на заданной схеме производства.

Программа синтеза ХТС

Файл Расчёт Справка

Схема Оборудование Продукция

Перечень типоразмеров стандартного оборудования, м³

тип\разм	1	2	3
1			
2			
3			

Длительность стадий, ч

прод\апп	1	2	3
1			
2			
3			

Рис. 1.12. Главное окно программы. Вторая закладка «Оборудование»

Программа синтеза ХТС

Файл Расчёт

Схема Оборудование Продукция

Коэффициенты заполнения

аппар	верх	низ
1	0.9	0.2
2	0.9	0.1
3	0.6	0.05
4	0.9	0.2

Размеры партии, кг

прод	разм
1	55.1
2	171.5

Объем наработки, кг

прод	разм
1	10000
2	10000

Рис. 1.13. Главное окно программы. Третья закладка «Продукция»

Закладка «Совмещение» состоит из 3-х таблиц (рис. 1.14):

- «Время технологического процесса» – общее время технологического процесса, необходимое для расчёта совмещённой схемы. В случае, если производится синтез схемы и последующий поиск оптимального маршрута, программа сама рассчитывает время технологического процесса исходя из информации, полученной при выборе оборудования из стандартного ряда;

- «Задержки поставок» – задержки поставок продуктов на первую стадию производства;

- «Время переналадки» – время, необходимое для подготовки технологического оборудования к выпуску нового продукта. Имеется возможность указать общее время для каждого аппарата или общее время для всех аппаратов. По вертикали подразумеваются целевые продукты, по горизонтали – те, с которых производится переналадка.

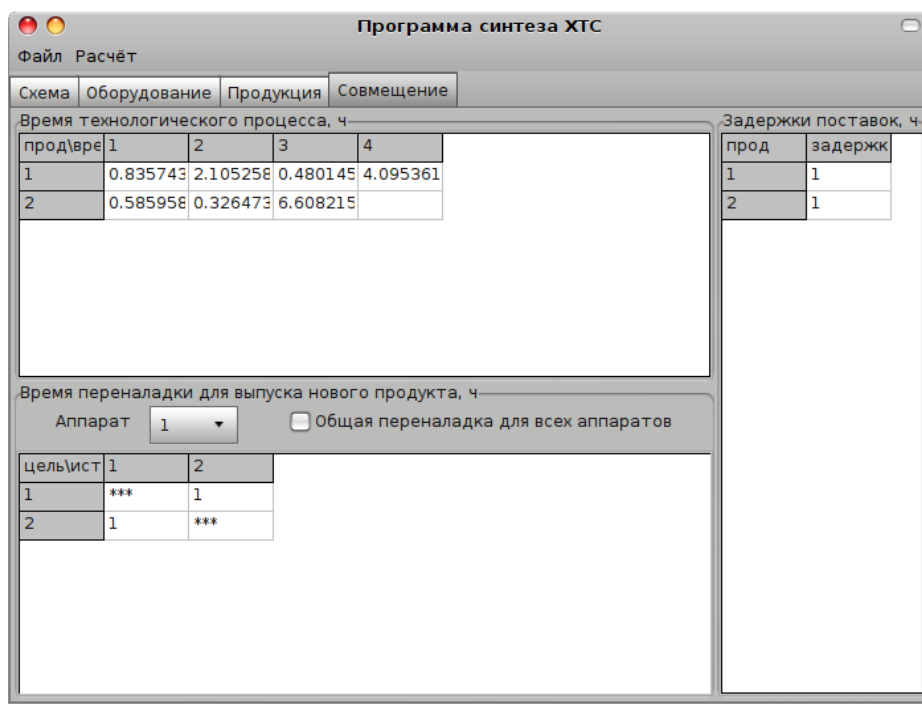


Рис. 1.14. Главное окно программы. Четвёртая закладка «Совмещение»

Для различных типов расчёта доступны соответствующие закладки:

- для «Поиска оптимального маршрута» доступны закладки «Схема» (только таблица «Маршрут выпуска», рис. 1.15), «Совмещение»;

- для «Выбора оборудования» доступны закладки «Схема», «Оборудование», «Продукция»;

- для «Выбора оборудования и совмещения» доступны все закладки.

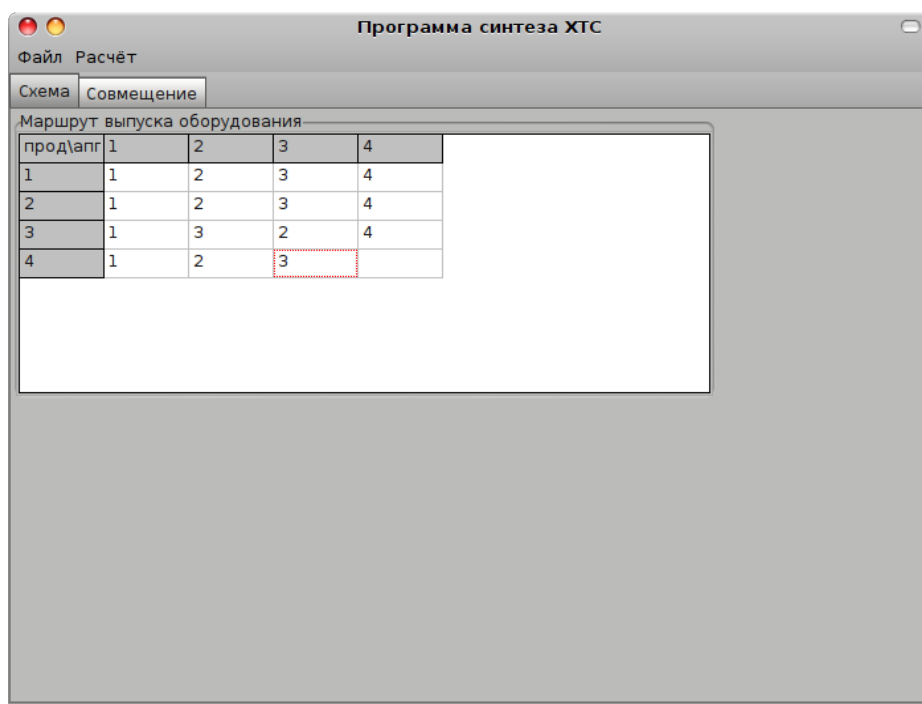


Рис. 1.15. Главное окно программы. Первая закладка «Схема»

4. После ввода всей информации можно выполнить расчёт.

Отображение результатов

В результате выполнения программы появляется до трёх окон с результатами (в зависимости от настроек):

1. Выбор технологического оборудования

Окно «Выбор технологического оборудования» представлено на рис. 1.16. В этом окне выводится расчёт выбора технологического оборудования и ошибки при выборе оборудования. В случае успешного выполнения выбора оборудования будут доступны две дополнительные закладки – «Оборудование» и «Время». На закладке «Оборудование» отображаются параметры оборудования (рис. 1.17), среди которых тип оборудования, размер выбранного аппарата и номер в стандартном ряду, на закладке «Время» представлено время технологического процесса для всех аппаратов и стадий (рис. 1.18).

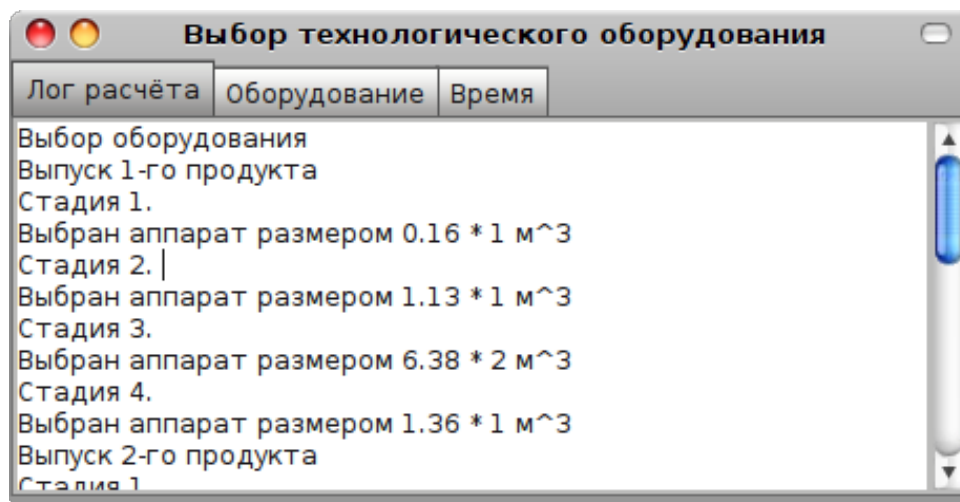


Рис. 1.16. Окно результатов выбора оборудования. Первая закладка «Лог расчёта»

Выбор технологического оборудования

Лог расчёта Оборудование Время

аппарат	тип	размер	номер
1	1	0.16	6
2	2	1.13	1
3	3	6.38	5
4	4	1.36	1

Рис. 1.17. Окно результатов выбора оборудования. Вторая закладка «Оборудование»

Выбор технологического оборудования

Лог расчёта Оборудование Время

прод\апп	1	2	3	4
1	0.9701	0.1914	0.0218	2.7302
2	1.4649	0.3265	3.3041	

Рис. 1.18. Окно результатов выбора оборудования. Третья закладка «Время»

2. Результаты расчёта совмещённой схемы

«Результаты расчёта совмещённой схемы» представлены на рис. 1.19 и 1.20. Слева на этих рисунках находится список маршрутов, сохранённых в программе. Выбрав настройку «Все маршруты», в список добавятся все возможные маршруты для этой схемы. Для анализа маршрута необходимо двойным кликом выбрать маршрут и справа на двух закладках отобразится информация о расчёте – его последовательность и диаграмма Ганта. Воспользовавшись кнопкой «Отделить диаграмму» можно получить диаграмму с заданным разрешением (для более тщательного анализа, на рис. 1.21 показана возможность отделения диаграммы в отдельное окно с разрешением 640×480 пикселей).

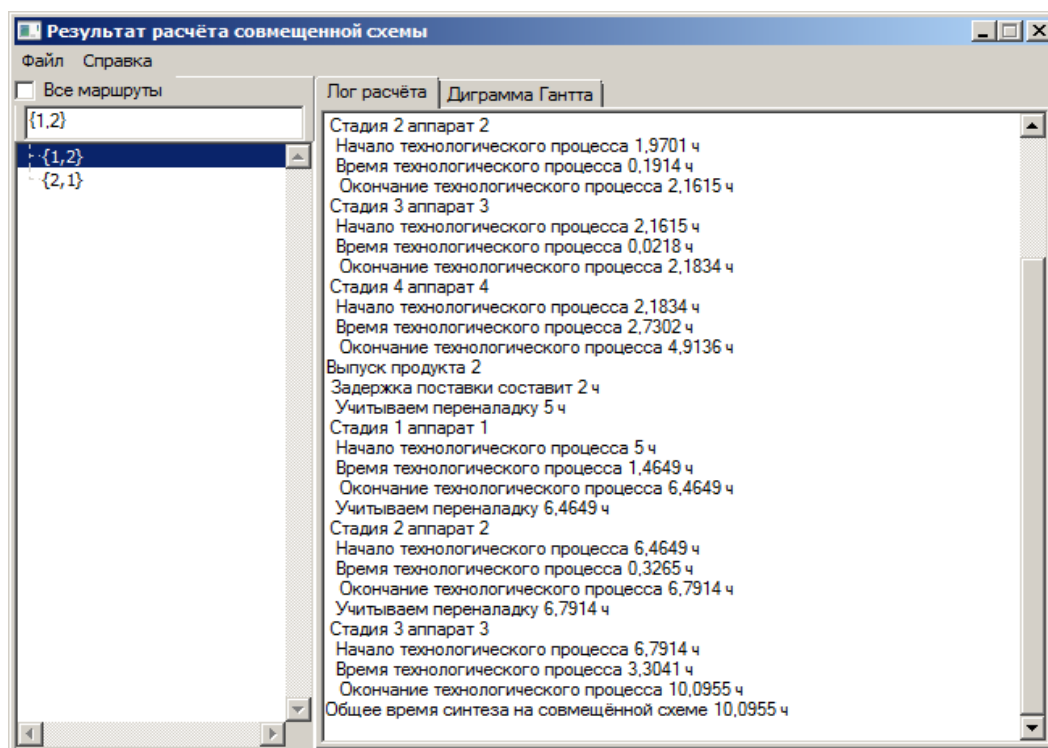


Рис. 1.19. Окно результатов расчёта времени синтеза. Первая закладка «Лог расчёта»

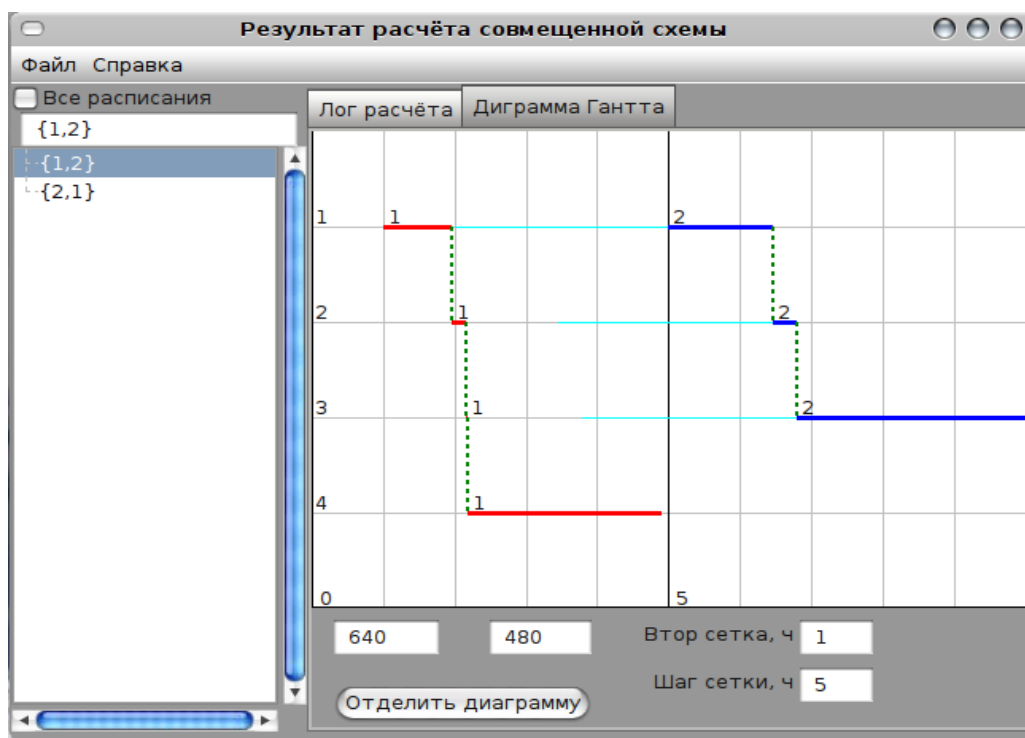


Рис. 1.20. Окно результатов расчёта времени синтеза. Вторая закладка «Диаграмма Гантта»

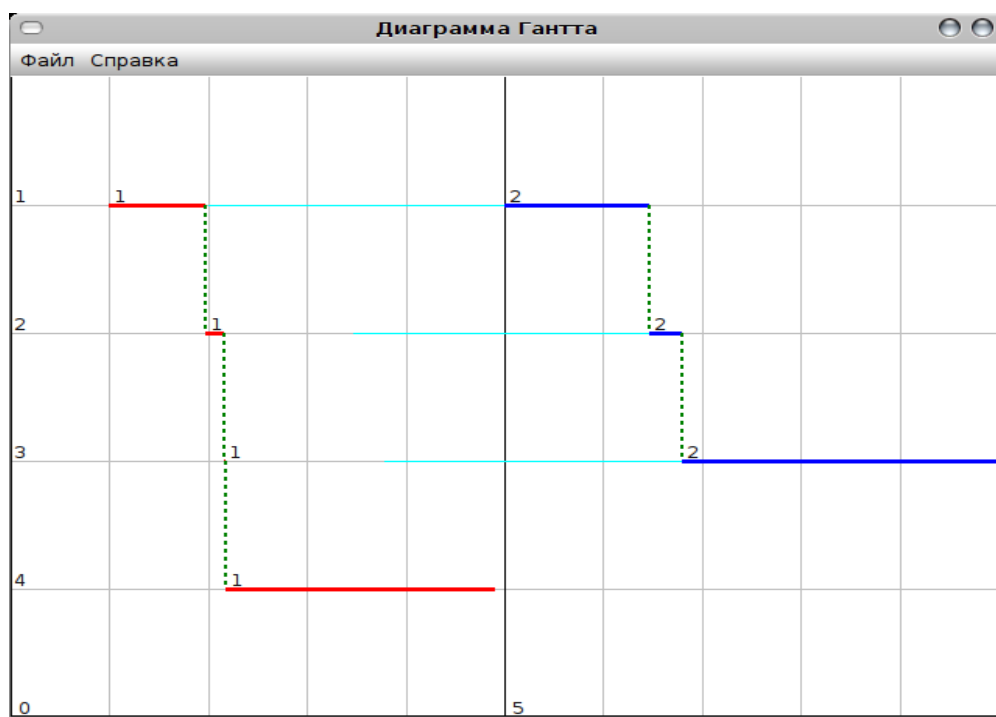


Рис. 1.21. Окно результатов расчёта «Диаграмма Гантта»

3. *Поиск оптимальной последовательности выпуска продуктов*
 «Поиск оптимального маршрута» (рис. 1.22) предназначен для отображения последовательности расчёта одним из методов оптимального

календарного планирования. В последней строчке расчёта указываются оптимальный маршрут и время его реализации.

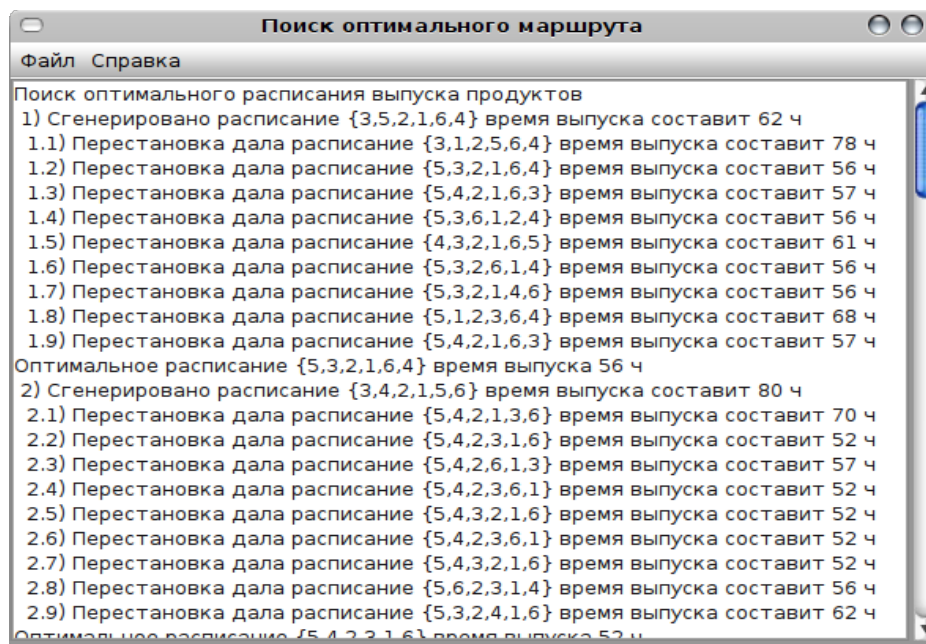


Рис. 1.22. Окно результатов расчёта «Поиск оптимального маршрута»

1.4. Расчётная часть для задачи 1

1.4.1. Расчёт по программе «Расписание с заданием маршрутов выпуска продуктов» для многопродуктовой периодической ХТС

При запуске программы появляется рабочее окно с вкладкой «Исходные данные», в котором необходимо выбрать «Ваши действия». Вид рабочего окна приведён на рис. 1.23.

Выбираем «Пошаговый ввод новых данных в режиме *MasterWizard*», нажимаем кнопку «Далее».

Теперь приступим к заданию исходных данных.

1. Число продуктов – 4; число аппаратов – 3.

2. Далее в появившемся окне задаем маршруты выпуска продуктов по аппаратам. Продукты выпускаются последовательно в каждом аппарате, следовательно, задаём для всех продуктов аналогичный маршрут: 1→2→3. Для этого необходимо из окна «Невыбранные реакторы» последовательно

перенести все реакторы в окно «Выбранные реакторы». Пример рабочего окна для задания маршрутов приведён на рис. 1.24.

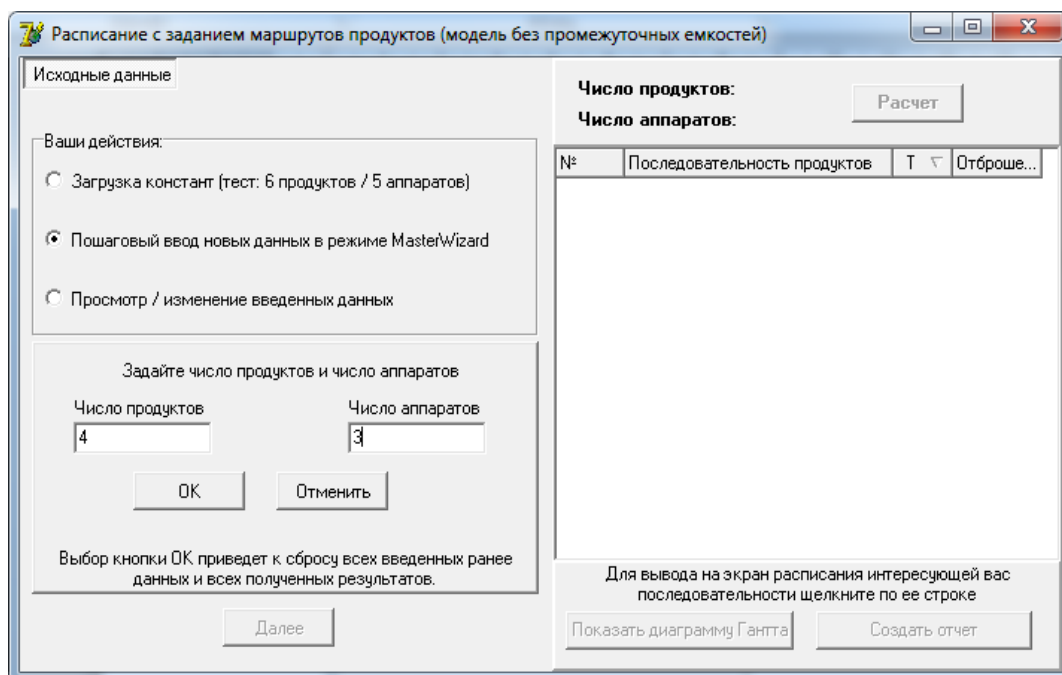


Рис. 1.23. Рабочее окно программы «Расписание с заданием маршрутов продуктов»

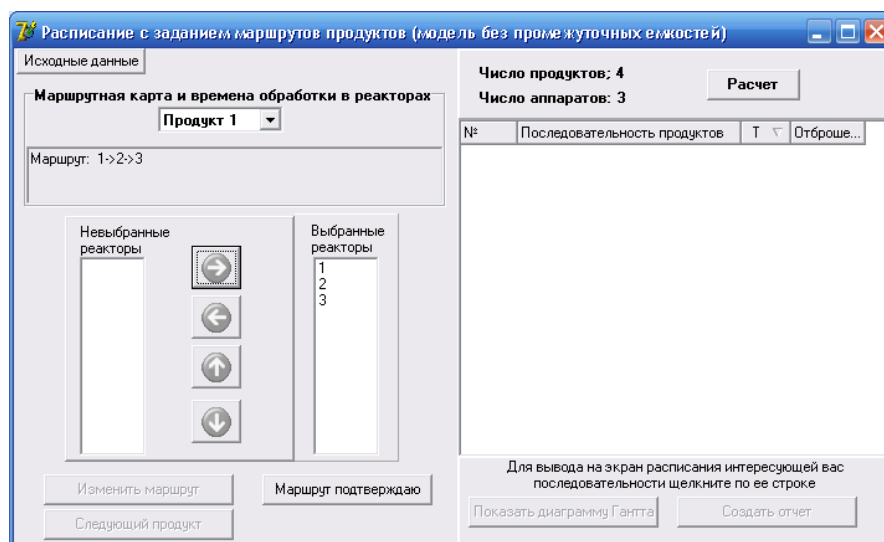


Рис. 1.24. Задание маршрута выпуска продуктов

3. После нажатия кнопки «Маршрут подтверждаю» появляется панель для ввода «Времена обработки в реакторах», последовательно задаём время обработки продукта в каждом из реакторов (рис. 1.25).

Исходные данные

Маршрутная карта и времена обработки в реакторах

Продукт 1

Маршрут: 1->2->3

Реактор	T
1	3
2	4
3	6

Выбранные реакторы: 1, 2, 3

Число продуктов: 4
Число аппаратов: 3

Расчет

№ Последовательность продуктов T Отбросе...

Для вывода на экран расписания интересующей вас последовательности щелкните по ее строке

Показать диаграмму Ганта Создать отчет

Изменить маршрут Следующий продукт

Рис. 1.25. Задание длительностей обработки продукта в каждом реакторе

Нажимаем кнопку «Следующий продукт» и повторяем последовательность действий с п. 2 для каждого продукта.

4. После задания длительностей обработки для всех продуктов появляется сводная таблица «Времена обработки продуктов в реакторах» (рис. 1.26), в которой можно проверить правильность задания данных и (при необходимости) исправить ошибки, вернувшись на предыдущий шаг ввода данных.

Исходные данные

Времена обработки продуктов в реакторах

m / n	P1	P2	P3	P4
R1	3	6	2	4
R2	4	4	4	2
R3	6	2	3	5

Число продуктов: 4
Число аппаратов: 3

Расчет

№ Последовательность продуктов T Отбросе...

Для вывода на экран расписания интересующей вас последовательности щелкните по ее строке

Показать диаграмму Ганта Создать отчет

< Назад Далее >

Данная таблица работает только в режиме просмотра. Ввод времен обработки продуктов осуществляется в процессе задания их маршрутов на предыдущей странице Мастера.

Рис. 1.26. Пример окна со сводной таблицей времён обработки продуктов в реакторах

5. Далее задаём времена переналадок реакторов (рис. 1.27).

Расписание с заданием маршрутов продуктов (модель без промежуточных емкостей)

Исходные данные

Времена переналадки реакторов

от / к	P1	P2	P3	P4
P1	0	1	2	1
P2	1	0	1	2
P3	2	1	0	1
P4	1	2	1	0

Число продуктов: 4
Число аппаратов: 3

Расчет

№ Последовательность продуктов T Отобразить...

Для вывода на экран расписания интересующей вас последовательности щелкните по ее строке

< Назад Далее >

Показать диаграмму Ганта Создать отчет

Рис. 1.27. Пример окна для задания времён переналадок реакторов

6. Последним шагом является задание времён задержки сырья для всех продуктов (рис. 1.28).

Расписание с заданием маршрутов продуктов (модель без промежуточных емкостей)

Исходные данные

Времена задержки сырья для всех продуктов:

t / прод.	P1	P2	P3	P4
1	1	2	1	2

Число продуктов: 4
Число аппаратов: 3

Расчет

№ Последовательность продуктов T Отобразить...

Для вывода на экран расписания интересующей вас последовательности щелкните по ее строке

< Назад Готово

Показать диаграмму Ганта Создать отчет

Рис. 1.28. Пример окна для задания времён задержки сырья

7. После окончания ввода всех исходных данных нажимаем кнопку «Готово» и «Расчёт». Появляется новая вкладка «Расписание», на которой представлена оптимальная последовательность обработки продуктов с временем пребывания каждого продукта в реакторах. В правой части можно увидеть расчёт всех возможных последовательностей выпуска

продуктов (рис. 1.29).

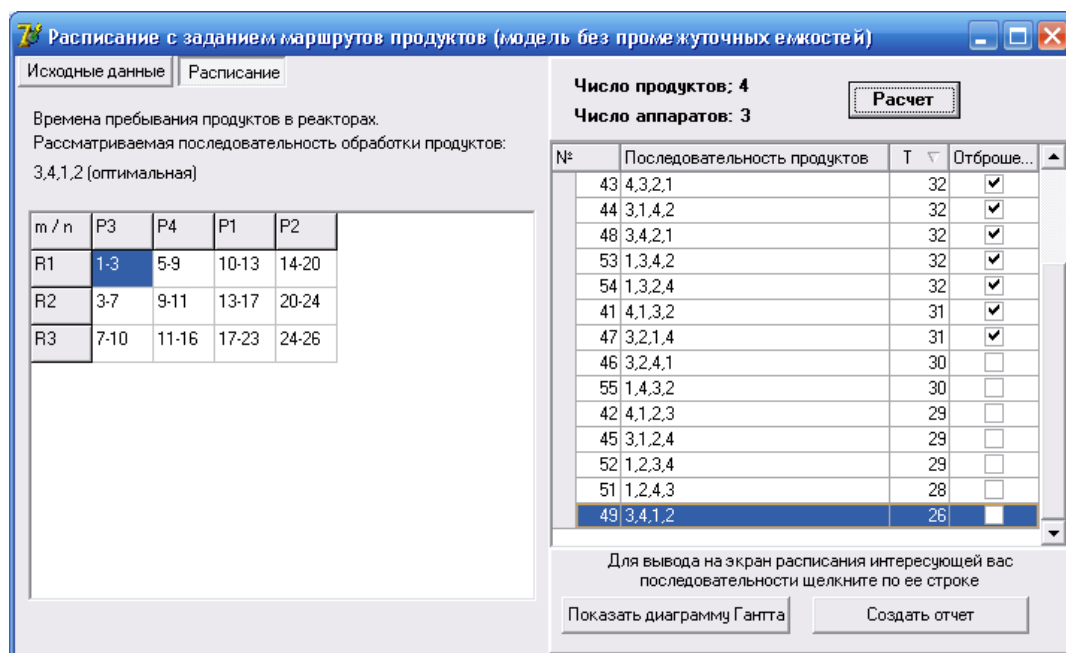


Рис. 1.29. Пример окна с результатами расчёта

В результате расчёта в рассматриваемой выше программе была получена оптимальная последовательность выпуска 4-х продуктов на 3-х последовательно расположенных аппаратах. Такой последовательностью является $\pi^* = \{3, 4, 1, 2\}$ с общей длительностью выпуска продуктов $T = 26$ ч.

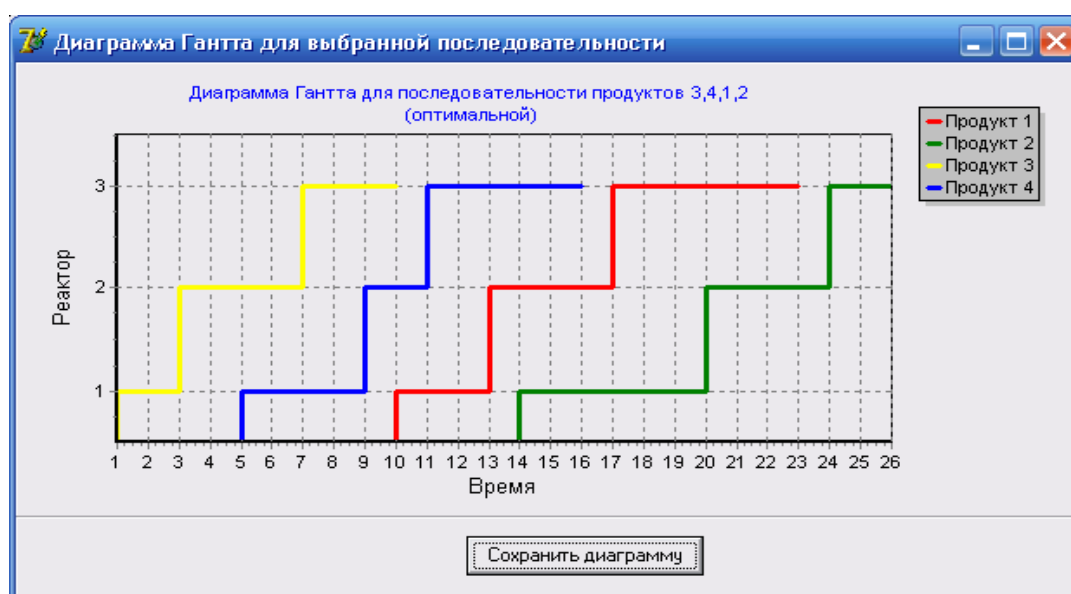


Рис. 1.30. Диаграмма Ганта для оптимальной последовательности выпуска продуктов, рассчитанной по программе

8. Программой предусмотрена возможность вывода отчёта по произведённым расчётам в формате файла с расширением .xls (кнопка «Создать отчёт»), а также возможность представления полученных результатов в виде диаграммы Гантта (кнопка «Показать диаграмму Гантта»). Результаты расчёта представлены на рис. 1.29, диаграмма Гантта для оптимальной последовательности выпуска продуктов представлена на рис. 1.30.

Программа позволяет построить диаграмму Гантта для каждой из последовательностей выпуска продуктов.

1.4.2. Расчёт по программе «Синтез ХТС» для многопродуктовой периодической ХТС

1. Перед началом работы задаём настройки расчёта оборудования (рис. 1.31).

В появившемся окне необходимо выбрать порядок расчёта «Поиск оптимального расписания (совмещение)». Затем следует задать количество продуктов и количество аппаратов (стадий), количество типов оборудования.

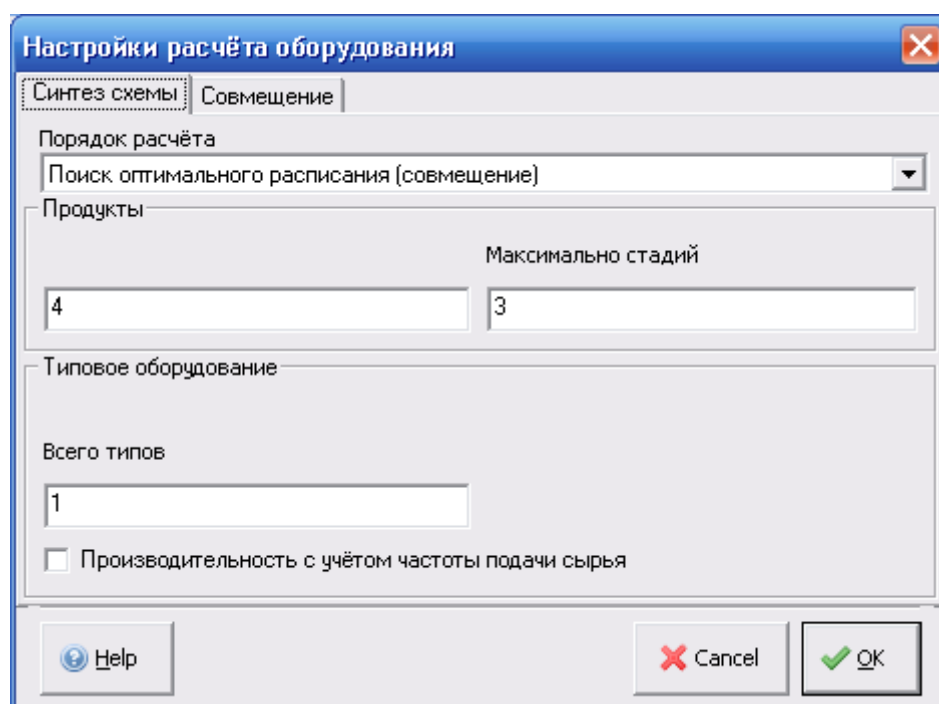


Рис. 1.31. Окно настроек расчёта оборудования

После выбора порядка расчёта «Поиск оптимального расписания», стала доступна ещё одна вкладка «Совмещение», на которой указываются метод совмещения «Статистический метод, метод Монте-Карло» и возможность использования ёмкостей для согласования стадий (рис. 1.32).

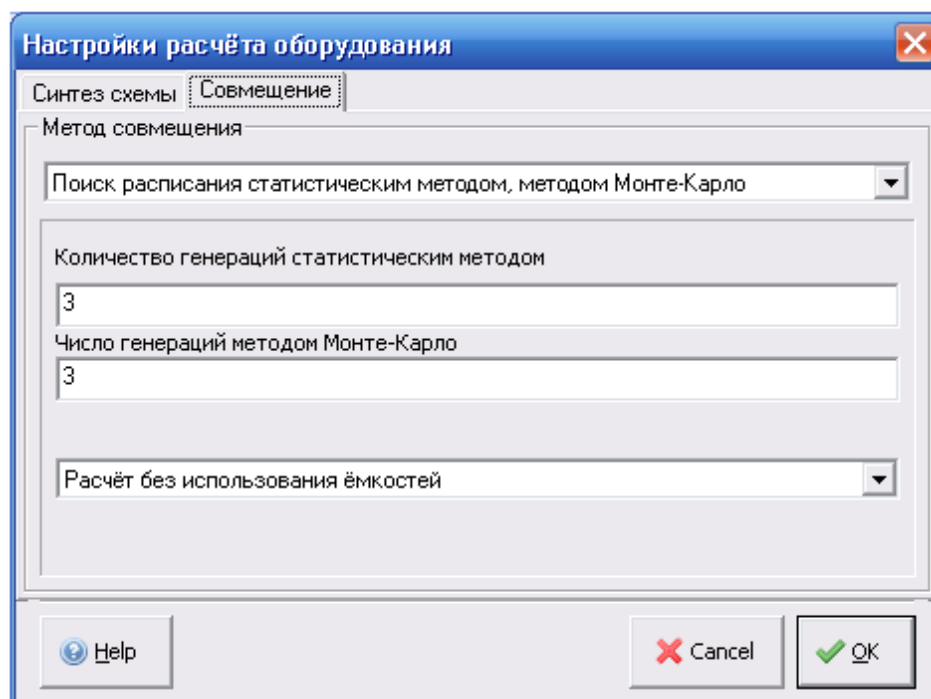


Рис. 1.32. Окно настроек расчёта, вкладка «Совмещение»

2. Задаем исходные данные.

На вкладке «Схема» (рис. 1.33.) задаем маршруты выпуска продуктов. Продукты выпускаются последовательно в каждом аппарате, задаем для всех продуктов аналогичный маршрут: 1→2→3.

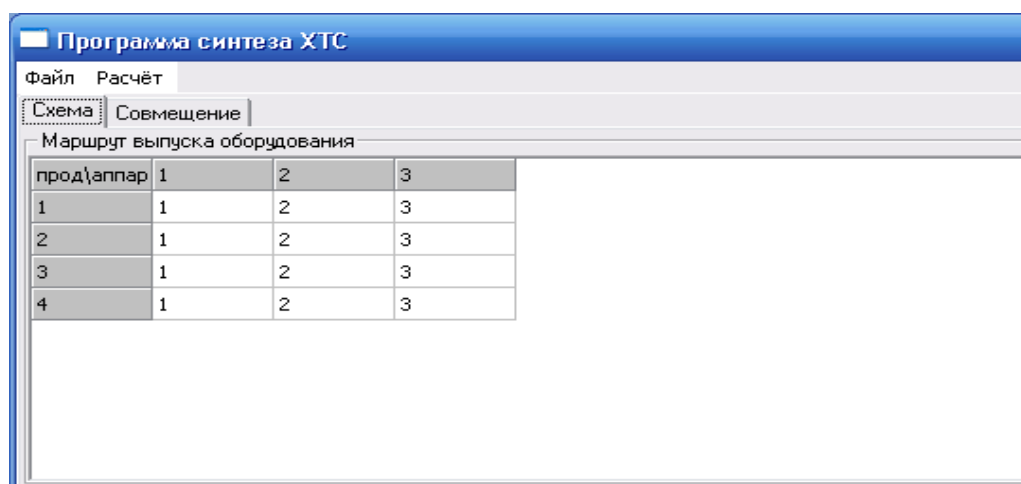


Рис. 1.33. Рабочее окно программы, вкладка «Схема»

Переходим на вкладку «Совмещение» (рис. 1.34) и задаём:

- время технологического процесса;
- время переналадки для выпуска нового продукта;
- времена задержки поставок.

Программа синтеза ХТС

Файл Расчёт

Схема Совмещение

Время технологического процесса, ч

прод\время	1	2	3
1	3	4	6
2	6	4	2
3	2	4	3
4	4	2	5

Задержки поставок, ч

прод	задержка
1	1
2	2
3	1
4	2

Время переналадки для выпуска нового продукта, ч

Аппарат

☒ Общая переналадка для всех аппаратов

цель\источ	1	2	3	4
1	***	1	2	1
2	1	***	1	2
3	2	1	***	1
4	1	2	1	***

Рис. 1.34. Рабочее окно программы, вкладка «Совмещение»

Поиск оптимального маршрута

Файл Справка

5.6) Перестановка дала расписание {4,3,1,2} время выпуска составит 27 ч
 Оптимальное расписание {3,4,1,2} время выпуска 26 ч
 6) Сгенерировано расписание {1,3,2,4} время выпуска составит 28 ч
 6.1) Перестановка дала расписание {1,4,2,3} время выпуска составит 29 ч
 6.2) Перестановка дала расписание {3,1,2,4} время выпуска составит 28 ч
 6.3) Перестановка дала расписание {2,3,1,4} время выпуска составит 35 ч
 6.4) Перестановка дала расписание {4,3,2,1} время выпуска составит 31 ч
 Оптимальное расписание {3,4,1,2} время выпуска 26 ч
 7) Сгенерировано расписание {3,4,2,1} время выпуска составит 31 ч
 7.1) Перестановка дала расписание {1,4,2,3} время выпуска составит 29 ч
 7.2) Перестановка дала расписание {1,3,2,4} время выпуска составит 28 ч
 7.3) Перестановка дала расписание {1,2,3,4} время выпуска составит 29 ч
 7.4) Перестановка дала расписание {1,3,4,2} время выпуска составит 28 ч
 7.5) Перестановка дала расписание {1,2,3,4} время выпуска составит 29 ч
 7.6) Перестановка дала расписание {3,1,2,4} время выпуска составит 28 ч
 Оптимальное расписание {3,4,1,2} время выпуска 26 ч
 8) Сгенерировано расписание {2,4,1,3} время выпуска составит 33 ч
 8.1) Перестановка дала расписание {2,3,1,4} время выпуска составит 35 ч
 8.2) Перестановка дала расписание {2,1,4,3} время выпуска составит 33 ч
 8.3) Перестановка дала расписание {4,2,1,3} время выпуска составит 34 ч
 8.4) Перестановка дала расписание {2,1,4,3} время выпуска составит 33 ч
 Оптимальное расписание {3,4,1,2} время выпуска 26 ч
 9) Сгенерировано расписание {3,1,2,4} время выпуска составит 28 ч
 9.1) Перестановка дала расписание {2,1,3,4} время выпуска составит 34 ч
 9.2) Перестановка дала расписание {1,3,2,4} время выпуска составит 28 ч
 9.3) Перестановка дала расписание {3,2,1,4} время выпуска составит 31 ч
 9.4) Перестановка дала расписание {1,3,2,4} время выпуска составит 28 ч
 Оптимальное расписание {3,4,1,2} время выпуска 26 ч

Рис. 1.35. Окно с результатами поиска оптимального маршрута

3. Нажимаем кнопку «Расчёт», появляются 2 окна:

- поиск оптимального маршрута (рис. 1.35);
- результат расчёта совмещённой схемы (рис. 1.36).

В окне, представленном на рис. 1.36, есть возможность просмотра диаграммы Гантта, которая расположена на вкладке «Диаграмма Гантта» (рис. 1.37).

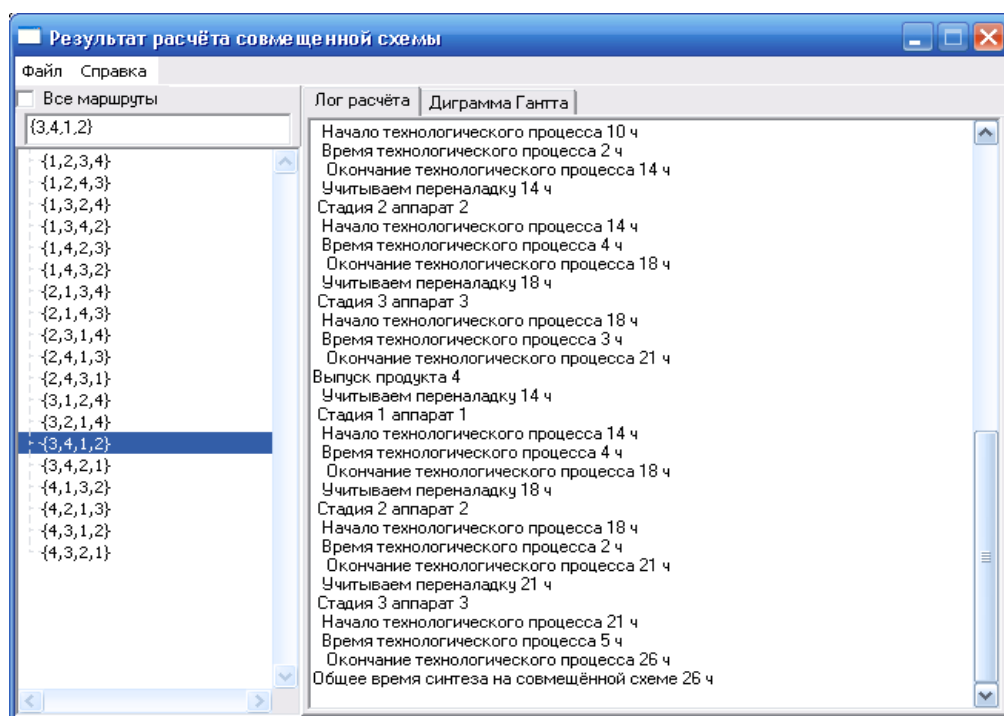


Рис. 1.36. Окно с результатами расчёта совмещённой схемы

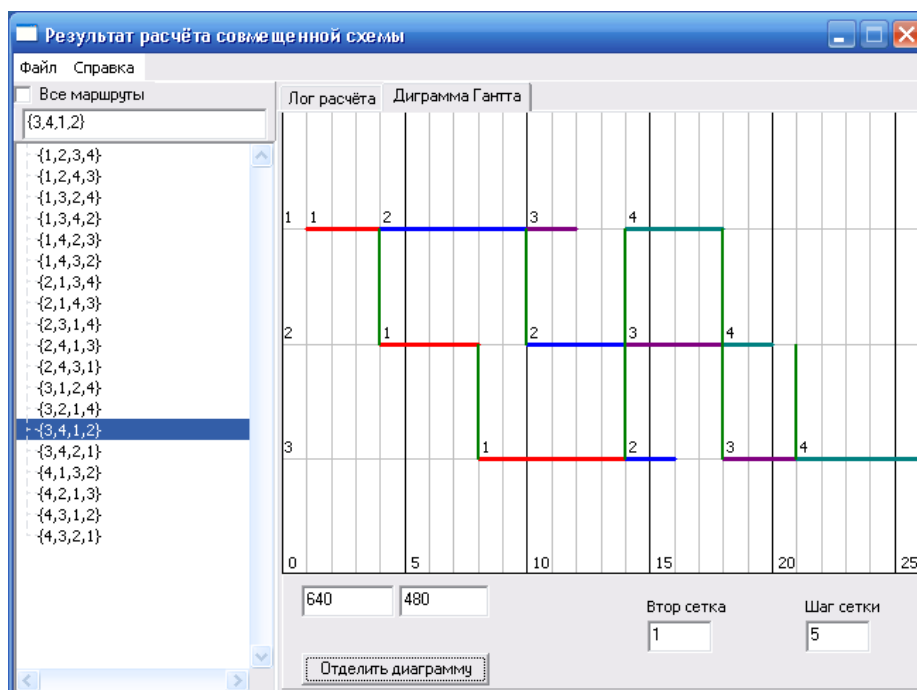


Рис. 1.37. Диаграмма Гантта для оптимальной последовательности выпуска продуктов

На рис. 1.37 представлена диаграмма Ганта для оптимальной последовательности выпуска продуктов.

В результате расчёта в программе «Синтез ХТС» оптимальной последовательностью выпуска продуктов, также как и в рассмотренной ранее программе, является $\pi^* = \{3, 4, 1, 2\}$ с общей длительностью выпуска продуктов $T = 26$ ч.

1.4.3. Ручной расчёт оптимальной последовательности выпуска продуктов для многопродуктовой периодической ХТС методом ветвей и границ

Рассмотрим следующие последовательности выпуска продуктов: $\{3, 4, 1, 2\}$, $\{1, 2, 4, 3\}$, $\{3, 1, 2, 4\}$.

Расчёт времени выпуска последовательности продуктов $\{3, 4, 1, 2\}$

$$\pi_1 = \{3, 4, 1, 2\}$$

Первый продукт в последовательности

$$T_{3,1} = d_3 + t_{3,1} = 1 + 2 = 3 \text{ ч}$$

$$T_{3,2} = T_{3,1} + t_{3,2} = 3 + 4 = 7 \text{ ч}$$

$$T_{3,3} = T_{3,2} + t_{3,3} = 7 + 3 = 10 \text{ ч}$$

Второй продукт в последовательности

$$T_{4,1} = \max\{d_4, (T_{3,1} + \theta_{3,4})\} + t_{4,1} = \max\{2, (3 + 1)\} + 4 = 8 \text{ ч}$$

$$T_{4,2} = \max\{T_{4,1}, (T_{3,2} + \theta_{3,4})\} + t_{4,2} = \max\{8, (7 + 1)\} + 2 = 10 \text{ ч}$$

$$T_{4,3} = \max\{T_{4,2}, (T_{3,3} + \theta_{3,4})\} + t_{4,3} = \max\{10, (10 + 1)\} + 5 = 16 \text{ ч}$$

Третий продукт в последовательности

$$T_{1,1} = \max\{d_1, (T_{4,1} + \theta_{4,1})\} + t_{1,1} = \max\{1, (8 + 1)\} + 3 = 12 \text{ ч}$$

$$T_{1,2} = \max\{T_{1,1}, (T_{4,2} + \theta_{4,1})\} + t_{1,2} = \max\{12, (10 + 1)\} + 4 = 16 \text{ ч}$$

$$T_{1,3} = \max\{T_{1,2}, (T_{4,3} + \theta_{4,1})\} + t_{1,3} = \max\{16, (16 + 1)\} + 6 = 23 \text{ ч}$$

Четвёртый продукт в последовательности

$$T_{2,1} = \max\{d_2, (T_{1,1} + \theta_{1,2})\} + t_{2,1} = \max\{2, (12 + 1)\} + 6 = 19 \text{ ч}$$

$$T_{2,2} = \max\{T_{2,1}, (T_{1,2} + \theta_{1,2})\} + t_{2,2} = \max\{19, (16 + 1)\} + 4 = 23 \text{ ч}$$

$$T_{2,3} = \max\{T_{2,2}, (T_{1,3} + \theta_{1,2})\} + t_{2,3} = \max\{23, (23 + 1)\} + 2 = 26 \text{ ч}$$

Расчёт времени выпуска последовательности продуктов {1,2,4,3}

$$\pi_2 = \{1, 2, 4, 3\}$$

Первый продукт в последовательности

$$T_{1,1} = d_1 + t_{1,1} = 1 + 3 = 4 \text{ ч}$$

$$T_{1,2} = T_{1,1} + t_{1,2} = 4 + 4 = 8 \text{ ч}$$

$$T_{1,3} = T_{1,2} + t_{1,3} = 8 + 6 = 14 \text{ ч}$$

Второй продукт в последовательности

$$T_{2,1} = \max\{d_2, (T_{1,1} + \theta_{1,2})\} + t_{2,1} = \max\{2, (4 + 1)\} + 6 = 11 \text{ ч}$$

$$T_{2,2} = \max\{T_{2,1}, (T_{1,2} + \theta_{1,2})\} + t_{2,2} = \max\{11, (8 + 1)\} + 4 = 15 \text{ ч}$$

$$T_{2,3} = \max\{T_{2,2}, (T_{1,3} + \theta_{1,2})\} + t_{2,3} = \max\{15, (14 + 1)\} + 2 = 17 \text{ ч}$$

Третий продукт в последовательности

$$T_{4,1} = \max\{d_4, (T_{2,1} + \theta_{2,4})\} + t_{4,1} = \max\{2, (11 + 2)\} + 4 = 17 \text{ ч}$$

$$T_{4,2} = \max\{T_{4,1}, (T_{2,2} + \theta_{2,4})\} + t_{4,2} = \max\{17, (15 + 2)\} + 2 = 19 \text{ ч}$$

$$T_{4,3} = \max\{T_{4,2}, (T_{2,3} + \theta_{2,4})\} + t_{4,3} = \max\{19, (17 + 2)\} + 5 = 24 \text{ ч}$$

Четвёртый продукт в последовательности

$$T_{3,1} = \max\{d_3, (T_{4,1} + \theta_{4,3})\} + t_{3,1} = \max\{1, (17 + 1)\} + 2 = 20 \text{ ч}$$

$$T_{3,2} = \max\{T_{3,1}, (T_{4,2} + \theta_{4,3})\} + t_{3,2} = \max\{20, (17 + 1)\} + 4 = 24 \text{ ч}$$

$$T_{3,3} = \max\{T_{3,2}, (T_{4,3} + \theta_{4,3})\} + t_{3,3} = \max\{24, (24 + 1)\} + 3 = 28 \text{ ч}$$

Расчёт времени выпуска последовательности продуктов {3,1,2,4}

$$\pi_3 = \{3, 1, 2, 4\}$$

Первый продукт в последовательности

$$T_{3,1} = d_3 + t_{3,1} = 1 + 2 = 3 \text{ ч}$$

$$T_{3,2} = T_{3,1} + t_{3,2} = 3 + 4 = 7 \text{ ч}$$

$$T_{3,3} = T_{3,2} + t_{3,3} = 7 + 3 = 10 \text{ ч}$$

Второй продукт в последовательности

$$T_{1,1} = \max\{d_1, (T_{3,1} + \theta_{3,1})\} + t_{1,1} = \max\{1, (3 + 2)\} + 3 = 8 \text{ ч}$$

$$T_{1,2} = \max\{T_{1,1}, (T_{3,2} + \theta_{3,1})\} + t_{1,2} = \max\{8, (7 + 2)\} + 4 = 13 \text{ ч}$$

$$T_{1,3} = \max\{T_{1,2}, (T_{3,3} + \theta_{3,1})\} + t_{1,3} = \max\{13, (10 + 2)\} + 6 = 19 \text{ ч}$$

Третий продукт в последовательности

$$T_{2,1} = \max\{d_2, (T_{1,1} + \theta_{1,2})\} + t_{2,1} = \max\{2, (8 + 1)\} + 6 = 15 \text{ ч}$$

$$T_{2,2} = \max\{T_{2,1}, (T_{1,2} + \theta_{1,2})\} + t_{2,2} = \max\{15, (13 + 1)\} + 4 = 19 \text{ ч}$$

$$T_{2,3} = \max\{T_{2,2}, (T_{1,3} + \theta_{1,2})\} + t_{2,3} = \max\{19, (19 + 1)\} + 2 = 22 \text{ ч}$$

Четвёртый продукт в последовательности

$$T_{4,1} = \max\{d_4, (T_{2,1} + \theta_{2,4})\} + t_{4,1} = \max\{2, (15 + 2)\} + 4 = 21 \text{ ч}$$

$$T_{4,2} = \max\{T_{4,1}, (T_{2,2} + \theta_{2,4})\} + t_{4,2} = \max\{21, (19 + 2)\} + 2 = 23 \text{ ч}$$

$$T_{4,3} = \max\{T_{4,2}, (T_{2,3} + \theta_{2,4})\} + t_{4,3} = \max\{23, (22 + 2)\} + 5 = 29 \text{ ч}$$

Результаты расчётов

Оптимальной последовательностью является $\pi_1 = \{3, 4, 1, 2\}$, при которой суммарное время выпуска продуктов минимальное, $T = 26$ ч.

1.4.4. Сравнение результатов ручного и машинного расчётов

Проведём сравнение результатов, полученных при ручном расчёте и с помощью двух программ. Результаты представлены в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Результаты расчётов для многопродуктовой совмещённой ХТС

Последовательность выпуска продуктов	Длительность выпуска продуктов T , ч		
	Ручной расчёт	«Расписание с заданием маршрутов продуктов»	«Синтез ХТС»
3→4→1→2	26	26	26
1→2→4→3	28	28	28
3→1→2→4	29	29	29

Как видно из табл. 1.7, результаты ручного расчёта полностью совпадают с результатами расчёта обеих программ, что говорит о правильности расчётов. Оптимальной является последовательность $\pi_1 = \{3, 4, 1, 2\}$ с общей длительностью выпуска продуктов $T = 26$ ч.

1.4.5. Дерево вариантов решений для задачи 1

Для построения дерева варианта решений необходимо выполнить расчёт всех возможных вариантов по методу ветвей и границ. Дерево вариантов решения изображено на рис. 1.38.

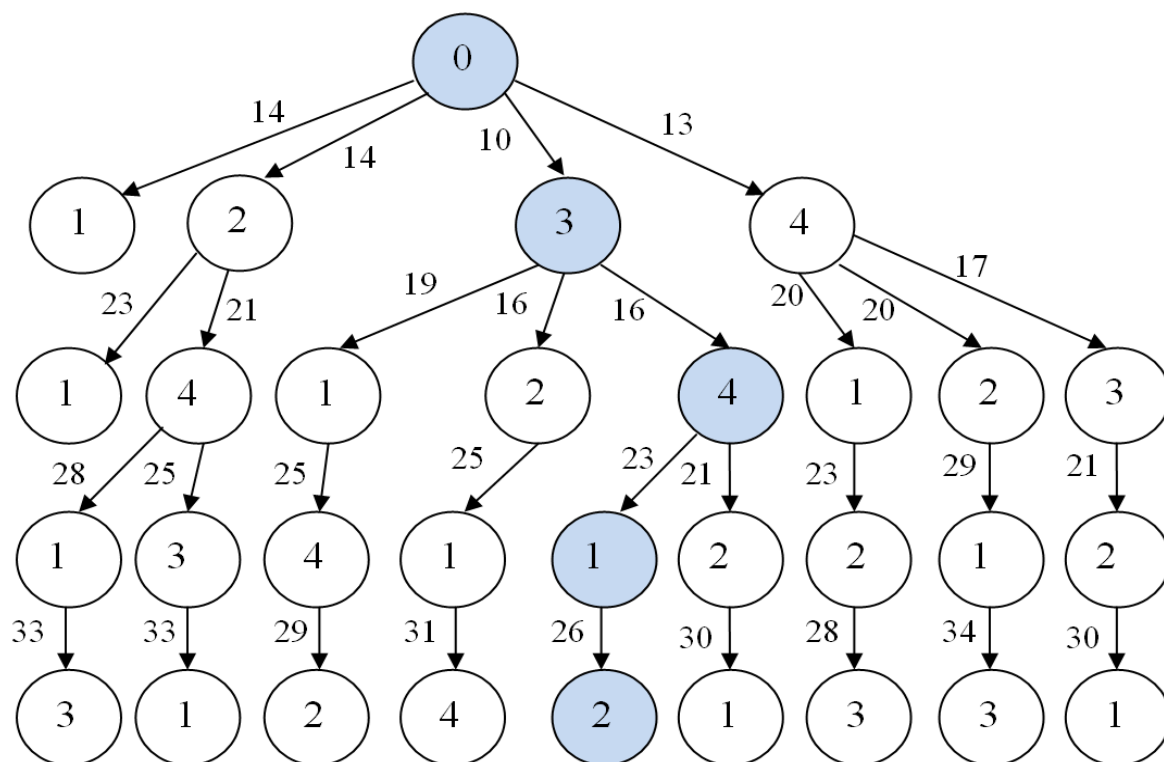


Рис. 1.38. Дерево вариантов решения для задачи 1

Соответственно оптимальной является последовательность 3→4→1→2.

1.5. Расчётная часть для задачи 2

1.5.1. Расчёт по программе «Расписание с заданием маршрутов продуктов» для многопродуктовой гибкой ХТС

При запуске программы появляется рабочее окно с вкладкой «Исходные данные», в котором необходимо выбрать «Ваши действия». Вид рабочего окна представлен на рис. 1.39.

1. На первом шаге выбираем пункт «Пошаговый ввод данных в режиме *MasterWizard*». После этого появляются 2 поля ввода для задания числа продуктов и аппаратов, в которых указываем 3 продукта и 8 аппаратов, соответственно.

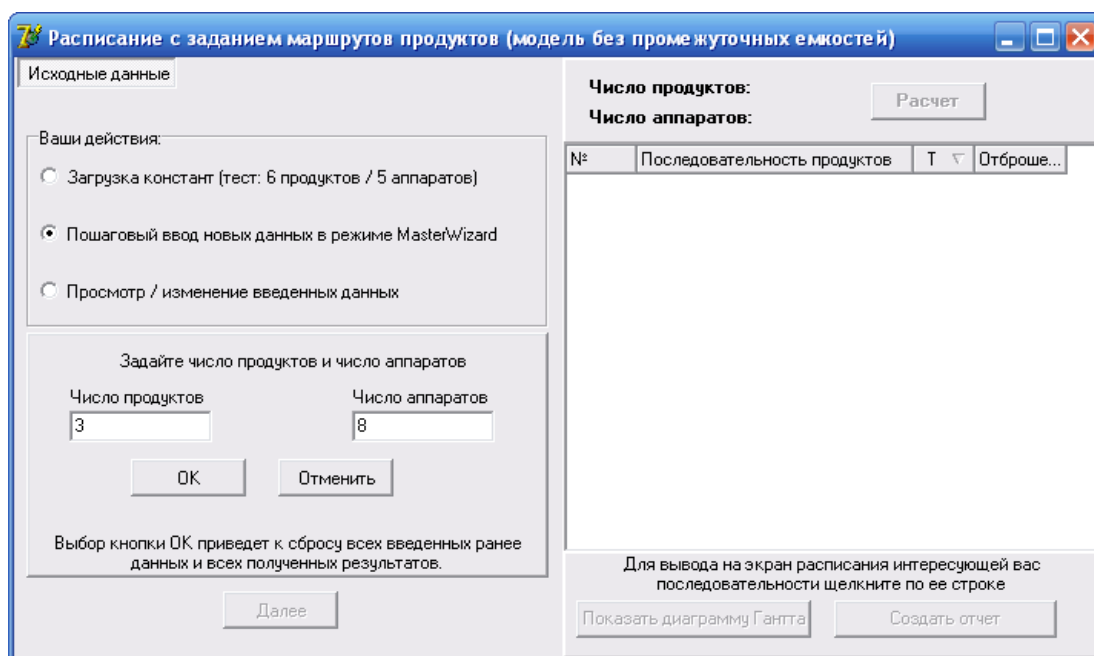


Рис. 1.39. Рабочее окно программы «Расписание с заданием маршрутов продуктов»

2. Далее в появившемся окне задаем маршруты выпуска продуктов по аппаратам. Продукты не выпускаются последовательно в каждом аппарате, следовательно, задаём для каждого продукта свой маршрут. Для этого необходимо из окна «Невыбранные реакторы» последовательно перенести все реакторы в окно «Выбранные реакторы» (рис. 1.40).

3. После нажатия кнопки «Маршрут подтверждаю», появляется панель для ввода «Времена обработки в реакторах», последовательно задаём время обработки продукта в каждом из реакторов (рис. 1.41).

4. Нажимаем кнопку «Следующий продукт» и повторяем последовательность действий, начиная с п. 2 для каждого продукта. После задания длительностей обработки для всех продуктов появляется сводная таблица «Времена обработки продуктов в реакторах», в которой можно проверить правильность задания данных и при необходимости исправить ошибки, вернувшись на предыдущий шаг ввода данных (рис. 1.42). Если в таблице в ячейке 0, то это означает, что аппарат не участвует в маршруте

выпуска для данного продукта.

Расписание с заданием маршрутов продуктов (модель без промежуточных емкостей)

Исходные данные

Маршрутная карта и времена обработки в реакторах

Продукт 1

Маршрут: 3->4->5->6->8

Невыбранные реакторы: 1, 2, 7

Выбранные реакторы: 3, 4, 5, 6, 8

Изменить маршрут

Следующий продукт

Маршрут подтверждаю

Число продуктов: 3

Число аппаратов: 8

Расчет

Nº	Последовательность продуктов	T	Отброше...

Для вывода на экран расписания интересующей вас последовательности щелкните по ее строке

Показать диаграмму Ганта

Создать отчет

Рис. 1.40. Задание маршрута выпуска продуктов

Расписание с заданием маршрутов продуктов (модель без промежуточных емкостей)

Исходные данные

Маршрутная карта и времена обработки в реакторах

Продукт 1

Маршрут: 3->4->5->6->8

Времена обработки в реакторах:

Реактор	T
3	4
4	6
5	8
6	9
8	7

Выбранные реакторы: 3, 4, 5, 6, 8

Изменить маршрут

Следующий продукт

Маршрут подтверждаю

Число продуктов: 3

Число аппаратов: 8

Расчет

Nº	Последовательность продуктов	T	Отброше...

Для вывода на экран расписания интересующей вас последовательности щелкните по ее строке

Показать диаграмму Ганта

Создать отчет

Рис. 1.41. Задание длительностей обработки продукта в каждом реакторе

Расписание с заданием маршрутов продуктов (модель без промежуточных емкостей)

Исходные данные

Времена обработки продуктов в реакторах

m / n	P1	P2	P3
R1	0	6	2
R2	0	4	0
R3	4	3	0
R4	6	0	0
R5	8	9	0
R6	9	0	0
R7	0	0	8
R8	7	0	7

Данная таблица работает только в режиме просмотра. Ввод времен обработки продуктов осуществляется в процессе задания их маршрутов на предыдущей странице Мастера.

Число продуктов: 3
Число аппаратов: 8

Расчет

№	Последовательность продуктов	T	Отброше...
---	------------------------------	---	------------

Для вывода на экран расписания интересующей вас последовательности щелкните по ее строке

< Назад Далее >

Показать диаграмму Ганта Создать отчет

Рис. 1.42. Окно со сводной таблицей времён обработки продуктов в реакторах

5. После нажатия кнопки «Далее», на появившейся панели задаём «Времена переналадок реакторов» (общая матрица переналадок для всех аппаратов) (рис. 1.43).

6. Далее задаём «Времена задержки сырья» для каждого из продуктов (рис. 1.44).

Расписание с заданием маршрутов продуктов (модель без промежуточных емкостей)

Исходные данные

Времена переналадки реакторов

от / к	P1	P2	P3
P1	0	3	5
P2	1	0	2
P3	6	7	0

Число продуктов: 3
Число аппаратов: 8

Расчет

№	Последовательность продуктов	T	Отброше...
---	------------------------------	---	------------

Для вывода на экран расписания интересующей вас последовательности щелкните по ее строке

< Назад Далее >

Показать диаграмму Ганта Создать отчет

Рис. 1.43. Окно с заданием времен переналадки реакторов

Расписание с заданием маршрутов продуктов (модель без промежуточных емкостей)

Исходные данные

Число продуктов: 3
Число аппаратов: 8

Времена задержки сырья для всех продуктов:

t / прод.	P1	P2	P3
	1	8	9

Расчет

N°	Последовательность продуктов	T	Отбросе...
----	------------------------------	---	------------

Для вывода на экран расписания интересующей вас последовательности щелкните по ее строке

< Назад Готово Показать диаграмму Ганта Создать отчет

Рис. 1.44. Окно для задания времён задержки сырья

7. После окончания ввода всех исходных данных нажимаем кнопку «Готово» и «Расчёт». Появляется новая вкладка «Расписание», на которой представлена оптимальная последовательность обработки продуктов с временами пребывания каждого продукта в реакторах. В правой части можно увидеть расчёт всех возможных последовательностей выпуска продуктов (рис. 1.45).

Расписание с заданием маршрутов продуктов (модель без промежуточных емкостей)

Исходные данные Расписание

Времена пребывания продуктов в реакторах.
Рассматриваемая последовательность обработки продуктов:
3,1,2 (оптимальная)

m / n	P3	P1	P2
R1	9-11		18-24
R2			24-28
R3		5-9	28-31
R4		9-15	
R5		15-23	31-40
R6		23-32	
R7	11-19		
R8	19-26	32-39	

Число продуктов: 3
Число аппаратов: 8

Расчет

N°	Последовательность продуктов	T	Отбросе...
+ Число продуктов в последовательности : 1			
+ Число продуктов в последовательности : 2			
- Число продуктов в последовательности : 3			
13	2,1,3	68	☒
14	3,2,1	66	☒
10	1,3,2	61	☒
12	2,3,1	56	☒
11	1,2,3	47	☐
15	3,1,2	40	☐

Для вывода на экран расписания интересующей вас последовательности щелкните по ее строке

Показать диаграмму Ганта Создать отчет

Рис. 1.45. Окно «Расписание с заданием маршрутов продуктов»

8. Программой предусмотрена возможность вывода отчёта по произведённым расчётам в формате файла с расширением .xls (кнопка «Создать отчёт»), а также возможность представления полученных результатов в виде диаграммы Гантта (кнопка «Показать диаграмму Гантта»). Результаты расчёта представлены на рис. 1.46, диаграмма Гантта для оптимальной последовательности продуктов представлена на рис. 1.47. Программа позволяет построить диаграмму Гантта для каждой из последовательностей выпуска продуктов.

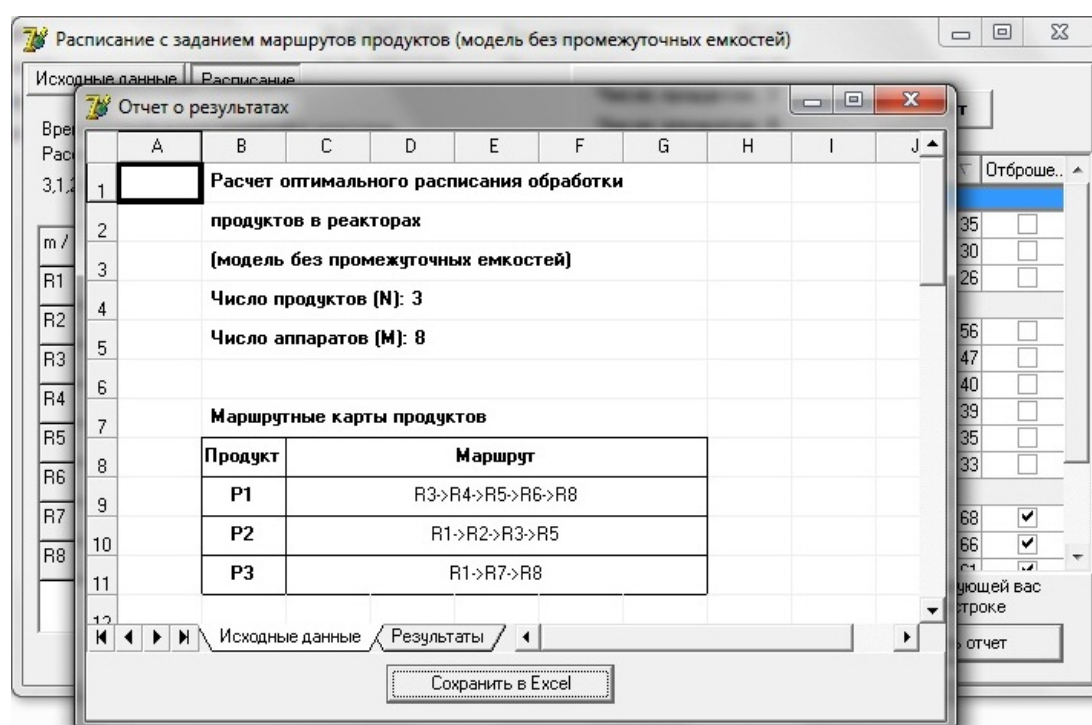


Рис. 1.46. Окно отчёта о результатах расчёта

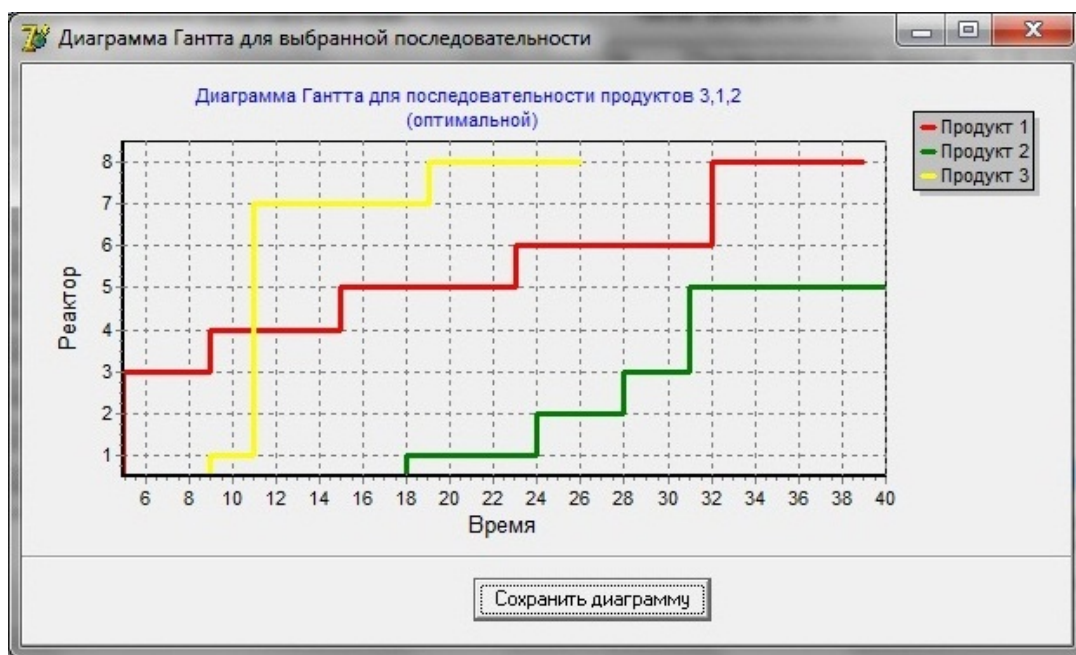


Рис. 1.47. Диаграмма Ганта для оптимальной последовательности выпуска продуктов

В результате расчёта в программе «Расписание с заданием маршрутов продуктов» была получена оптимальная последовательность выпуска 3 продуктов на 8 аппаратах. Такой последовательностью является $\pi^* = \{3,1,2\}$ с общей длительностью выпуска продуктов $T = 40$ ч (рис. 1.45).

1.5.2. Расчёт по программе «Синтез ХТС» для многопродуктовой гибкой ХТС

1. Перед началом работы задаём настройки расчёта (рис. 1.48).

В появившемся окне необходимо выбрать порядок расчёта «Поиск оптимального расписания (совмещение)». Затем следует задать количество продуктов и количество аппаратов (стадий), количество типов оборудования. Тип оборудования выберем один.

После выбора порядка расчёта «Поиск оптимального расписания», стала доступна еще одна вкладка — «Совмещение», на которой указываются метод совмещения «Статистический метод, метод Монте-Карло» и возможность использования ёмкостей для согласования стадий (ниже рассмотрен вариант без использования промежуточных ёмкостей) (рис. 1.49).

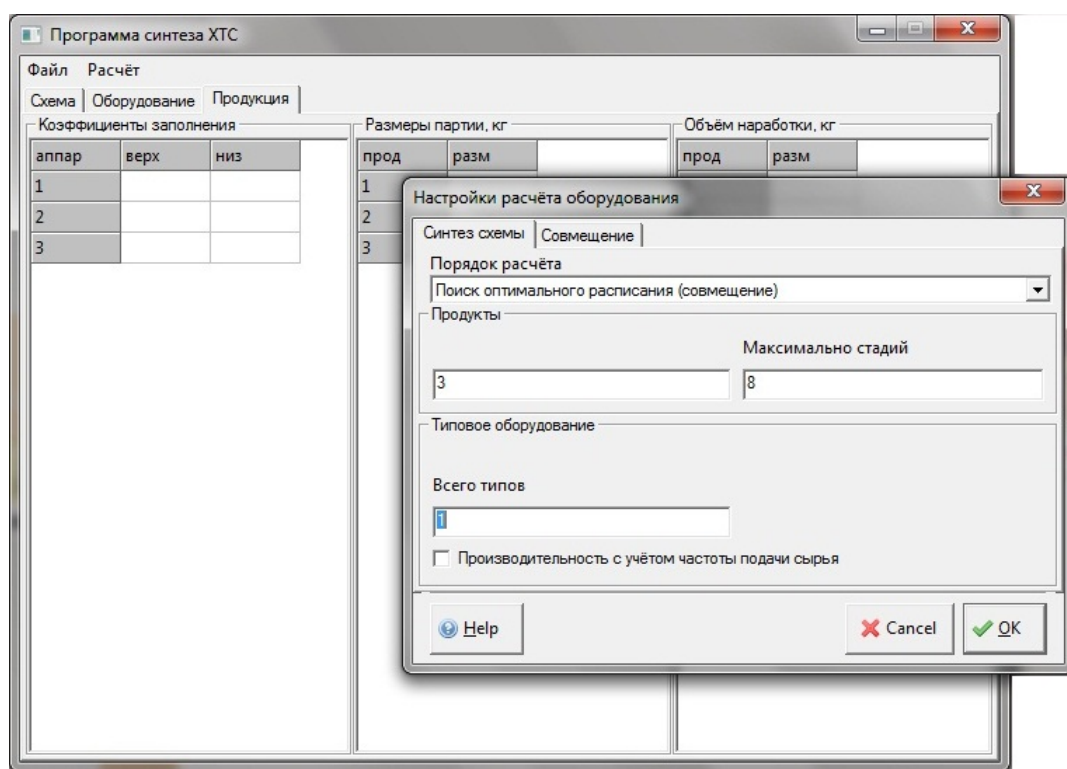


Рис. 1.48. Окно настроек расчёта, вкладка «Синтез схемы»

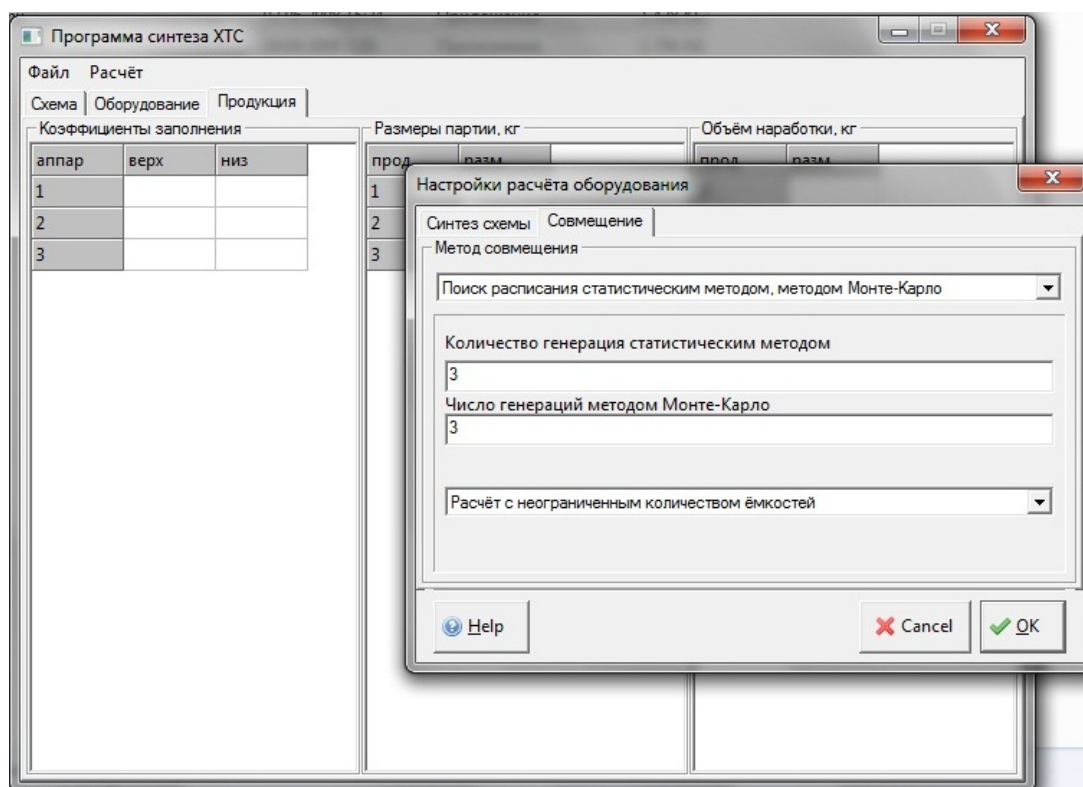


Рис. 1.49. Окно настроек расчёта, вкладка «Совмещение»

2. Далее необходимо ввести исходные данные.

На вкладке «Схема» (рис. 1.50) задаются маршруты выпуска продуктов.

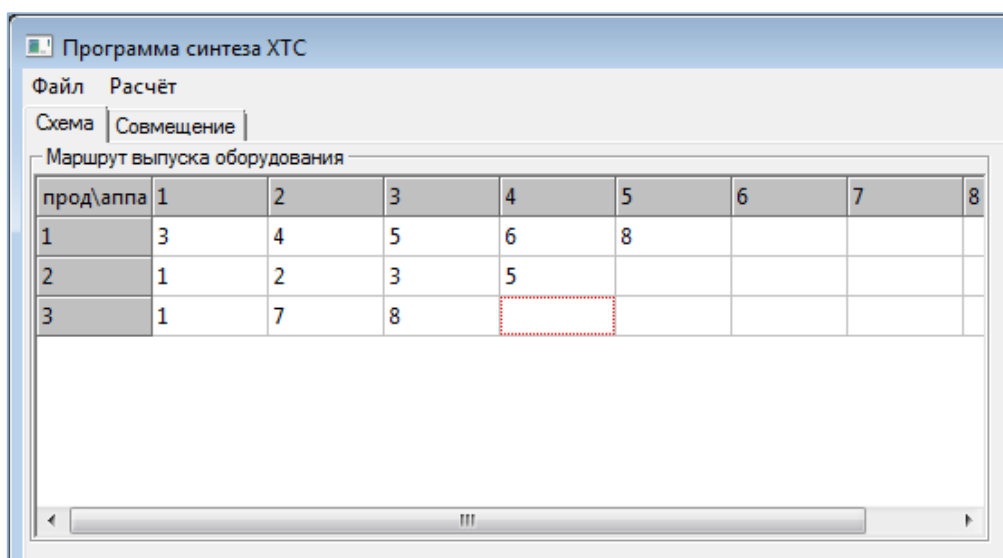


Рис. 1.50. Рабочее окно программы, вкладка «Схема»

Переходим на вкладку «Совмещение» (рис. 1.51) и задаём:

- времена технологического процесса для всех продуктов на каждой стадии;
- времена переналадок для аппаратов для каждого продукта, принимая их общими для всех аппаратов;
- времена задержки поставок сырья для каждого продукта.

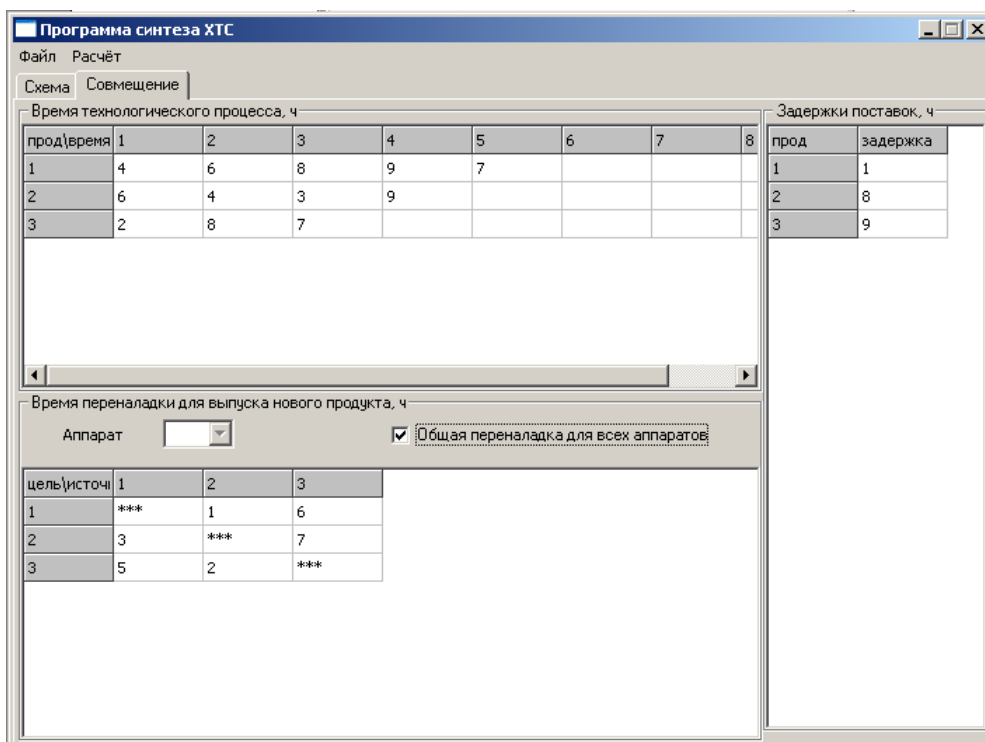


Рис. 1.51. Рабочее окно программы, вкладка «Совмещение»

3. Далее необходимо нажать кнопки «Расчёт» и «Запуск», появляются 2 окна:

- поиск оптимального маршрута (рис. 1.52);
- результат расчёта совмещённой схемы (рис. 1.53).

В первом окне (рис. 1.52) отображается реализация метода Монте-Карло и статистического метода локального поиска с промежуточными результатами поиска оптимального расписания, в другом окне (рис. 1.53) можно посмотреть все возможные маршруты выпуска продуктов с постадийным расчётом и диаграммой Гантта (рис. 1.54).

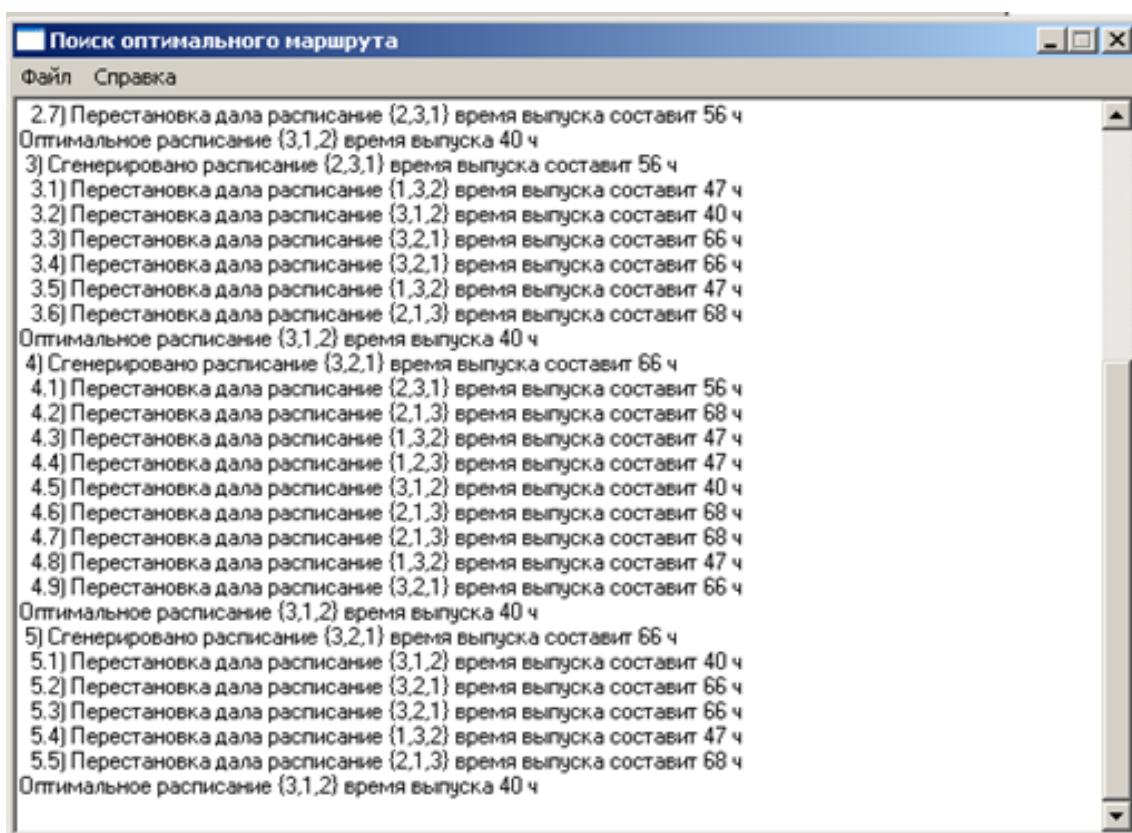


Рис. 1.52. Окно с результатами поиска оптимального маршрута

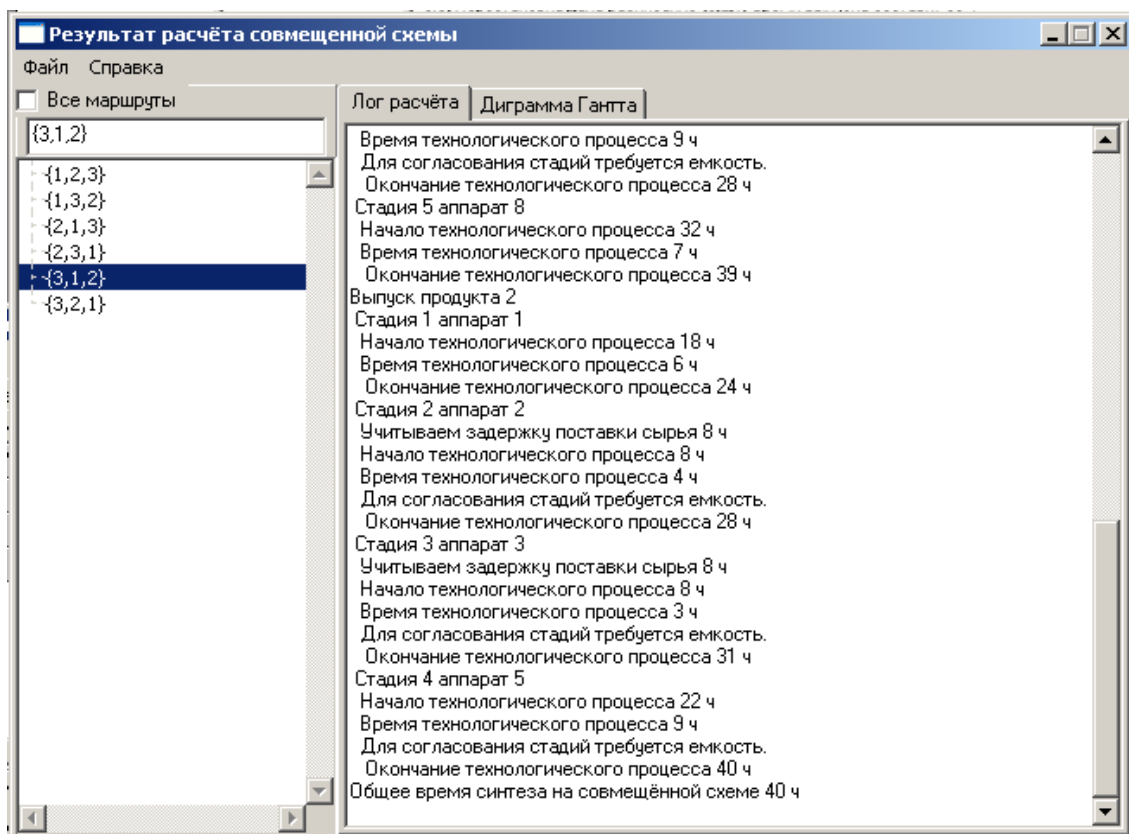


Рис. 1.53. Окно с результатами расчёта совмещённой схемы

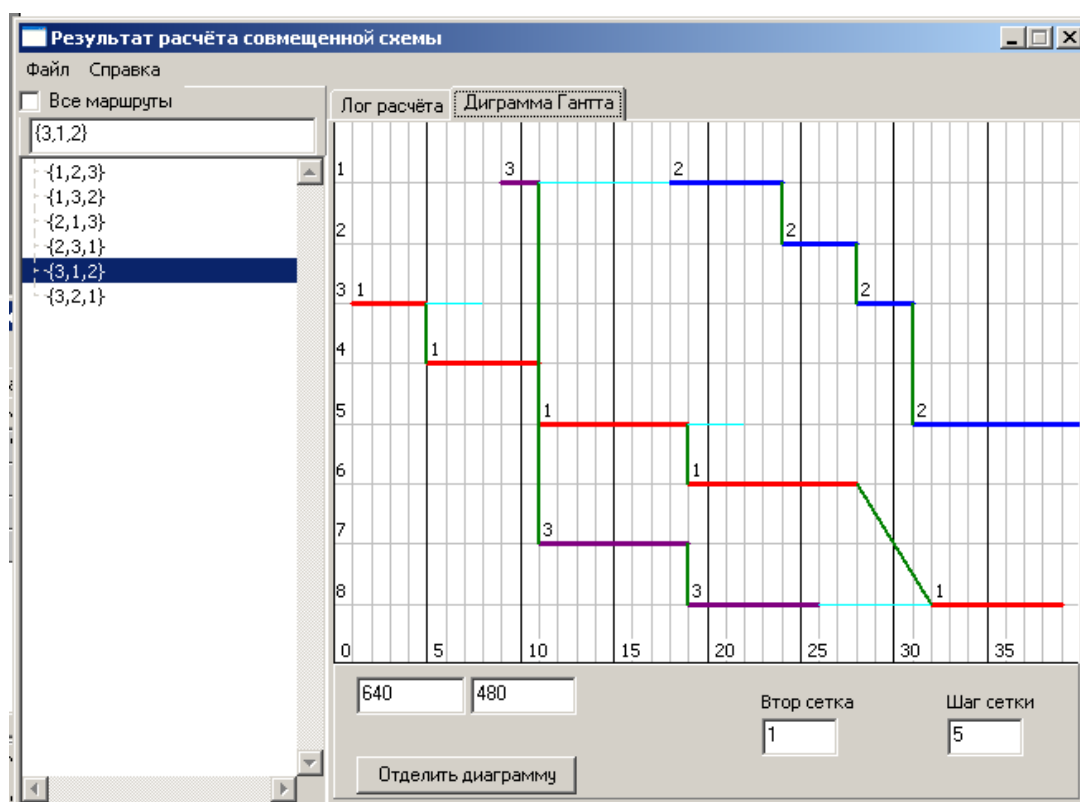


Рис. 1.54. Диаграмма Ганта для оптимальной последовательности выпуска продуктов

Оптимальная последовательность, определённая с помощью данного

приложения, $\pi^* = \{3, 1, 2\}$, для которой время выпуска всех продуктов составляет $T = 40$ ч. Для неё была построена диаграмма Ганта (рис. 1.54).

1.5.3. Ручной расчёт оптимальной последовательности выпуска продуктов для многопродуктовой гибкой ХТС методом ветвей и границ

Необходимо рассчитать оптимальную последовательность выпуска трёх продуктов со следующими технологическими маршрутами обработки продуктов: $\sigma_1 = \{3, 4, 5, 6, 8\}$, $\sigma_2 = \{1, 2, 3, 5\}$, $\sigma_3 = \{1, 7, 8\}$.

Рассмотрим следующие последовательности выпуска продуктов: $\{3, 1, 2\}$ и $\{3, 2, 1\}$.

Расчёт времени выпуска последовательности продуктов $\{3, 1, 2\}$

Проведём ручной расчёт оптимальной последовательности, определённой с помощью программ.

Последовательность $\{3, 1, 2\}$

$$\pi_1 = \{3, 1, 2\}$$

Первый продукт в последовательности

$$T_{3,1} = d_3 + t_{3,1} = 9 + 2 = 11 \text{ ч}$$

$$T_{3,7} = T_{3,1} + t_{3,7} = 11 + 8 = 19 \text{ ч}$$

$$T_{3,8} = T_{3,2} + t_{3,8} = 19 + 7 = 26 \text{ ч}$$

Второй продукт в последовательности

$$T_{1,3} = d_1 + t_{1,3} = 1 + 4 = 5 \text{ ч}$$

$$T_{1,4} = T_{1,3} + t_{1,4} = 5 + 6 = 11 \text{ ч}$$

$$T_{1,5} = T_{1,4} + t_{1,5} = 11 + 8 = 19 \text{ ч}$$

$$T_{1,6} = T_{1,5} + t_{1,6} = 19 + 9 = 28 \text{ ч}$$

$$T_{1,8} = \max\{T_{1,6}, (T_{3,8} + \theta_{3,1})\} + t_{1,8} = \max\{28, (26 + 6)\} + 7 = 32 + 7 = 39 \text{ ч}$$

Третий продукт в последовательности

$$T_{2,1} = \max\{d_2, (T_{3,1} + \theta_{3,2})\} + t_{2,1} = \max\{8, (11 + 7)\} + 6 = 18 + 6 = 24 \text{ ч}$$

$$T_{2,2} = T_{2,1} + t_{2,2} = 24 + 4 = 28 \text{ ч}$$

$$T_{2,3} = \max\{T_{2,2}, (T_{1,3} + \theta_{1,2})\} + t_{2,3} = \max\{28, (5 + 3)\} + 3 = 28 + 3 = 31 \text{ ч}$$

$$T_{2,5} = \max\{T_{2,3}, (T_{1,5} + \theta_{1,2})\} + t_{2,5} = \max\{31, (19 + 3)\} + 9 = 31 + 9 = 40 \text{ ч}$$

Расчёт времени выпуска последовательности продуктов {3,2,1}

Последовательность {3,2,1}

$$\pi_2 = \{3, 2, 1\}$$

Первый продукт в последовательности

$$T_{3,1} = d_3 + t_{3,1} = 9 + 2 = 11 \text{ ч}$$

$$T_{3,7} = T_{3,1} + t_{3,7} = 11 + 8 = 19 \text{ ч}$$

$$T_{3,8} = T_{3,2} + t_{3,8} = 19 + 7 = 26 \text{ ч}$$

Второй продукт в последовательности

$$T_{2,1} = \max\{d_2, (T_{3,1} + \theta_{3,2})\} + t_{2,1} = \max\{8, (11 + 7)\} + 6 = 18 + 6 = 24 \text{ ч}$$

$$T_{2,2} = T_{2,1} + t_{2,2} = 24 + 4 = 28 \text{ ч}$$

$$T_{2,3} = T_{2,3} + t_{2,3} = 28 + 3 = 31 \text{ ч}$$

$$T_{2,5} = T_{2,3} + t_{2,5} = 31 + 9 = 40 \text{ ч}$$

Третий продукт в последовательности

$$T_{1,3} = \max\{d_1, (T_{2,3} + \theta_{2,1})\} + t_{1,3} = \max\{1, (31 + 1)\} + 4 = 32 + 4 = 36 \text{ ч}$$

$$T_{1,4} = T_{1,3} + t_{1,4} = 36 + 6 = 42 \text{ ч}$$

$$T_{1,5} = \max\{T_{1,4}, (T_{2,5} + \theta_{2,1})\} + t_{1,5} = \max\{42, (40 + 1)\} + 8 = 42 + 8 = 50 \text{ ч}$$

$$T_{1,6} = T_{1,5} + t_{1,6} = 50 + 9 = 59 \text{ ч}$$

$$T_{1,8} = \max\{T_{1,6}, (T_{3,8} + \theta_{3,1})\} + t_{1,8} = \max\{59, (26 + 6)\} + 7 = 59 + 7 = 66 \text{ ч}$$

Результаты расчётов

Оптимальной последовательностью является $\pi^* = \{3, 1, 2\}$, при которой суммарное время выпуска продуктов является минимальным, $T = 40$ ч.

1.5.4. Сравнение результатов ручного и программного расчётов

Проведём сравнение результатов, полученных при ручном расчёте и с

помощью двух программ, представленное в табл. 1.8.

Таблица 1.8

Результаты расчётов для гибкой ХТС с помощью двух программ

Последовательность выпуска продуктов	Длительность выпуска продуктов T , ч		
	Ручной расчёт	«Расписание с заданием маршрутов продуктов»	«Синтез ХТС»
$3 \rightarrow 1 \rightarrow 2$	40	40	40
$3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$	66	66	66

Результаты ручного расчёта совпадают с данными, полученными по двум программам, что говорит о правильности расчётов. Следовательно, можно сделать вывод, что решением поставленной задачи является оптимальная последовательность выпуска продуктов $\pi^* = \{3, 1, 2\}$ с общей длительностью выпуска продуктов $T = 40$ ч.

1.5.5. Дерево вариантов решений для задачи 2

Для построения дерева вариантов решений необходимо выполнить расчёт всех возможных вариантов по методу ветвей и границ.

1. Рассчитаем время выпуска каждого продукта в отдельности во всех аппаратах.

Первый продукт

$$T_{1,3} = d_1 + t_{1,3} = 1 + 4 = 5 \text{ ч}$$

$$T_{1,4} = T_{1,3} + t_{1,4} = 5 + 6 = 11 \text{ ч}$$

$$T_{1,5} = T_{1,4} + t_{1,5} = 11 + 8 = 19 \text{ ч}$$

$$T_{1,6} = T_{1,5} + t_{1,6} = 19 + 9 = 28 \text{ ч}$$

$$T_{1,8} = T_{1,6} + t_{1,8} = 28 + 7 = 35 \text{ ч}$$

Второй продукт

$$T_{2,1} = d_2 + t_{2,1} = 8 + 6 = 14 \text{ ч}$$

$$T_{2,2} = T_{2,1} + t_{2,2} = 14 + 4 = 18 \text{ ч}$$

$$T_{2,3} = T_{2,2} + t_{2,3} = 18 + 3 = 21 \text{ ч}$$

$$T_{2,5} = T_{2,3} + t_{2,5} = 21 + 9 = 30 \text{ ч}$$

Третий продукт

$$T_{3,1} = d_3 + t_{3,1} = 9 + 2 = 11 \text{ ч}$$

$$T_{3,7} = T_{4,1} + t_{3,7} = 11 + 8 = 19 \text{ ч}$$

$$T_{3,8} = T_{4,2} + t_{3,8} = 19 + 7 = 26 \text{ ч}$$

2. Выбираем наиболее перспективную ветвь. В данном случае видно, что первым в последовательности будет 3 продукт.

3-1

$$T'_{1,3} = \max\{d_1, (T_{3,3} + \theta_{3,1})\} + t_{1,3} = \max\{1, (0 + 0)\} + 4 = 1 + 4 = 5 \text{ ч}$$

$$T'_{1,4} = \max\{T'_{1,3}, (T_{3,4} + \theta_{3,1})\} + t_{1,4} = \max\{5, (0 + 0)\} + 6 = 5 + 6 = 11 \text{ ч}$$

$$T'_{1,5} = \max\{T'_{1,4}, (T_{3,5} + \theta_{3,1})\} + t_{1,5} = \max\{11, (0 + 0)\} + 8 = 11 + 8 = 19 \text{ ч}$$

$$T'_{1,6} = \max\{T'_{1,5}, (T_{3,6} + \theta_{3,1})\} + t_{1,6} = \max\{19, (0 + 0)\} + 9 = 19 + 9 = 28 \text{ ч}$$

$$T'_{1,8} = \max\{T'_{1,6}, (T_{3,8} + \theta_{3,1})\} + t_{1,8} = \max\{28, (26 + 6)\} + 7 = 32 + 7 = 39 \text{ ч}$$

3-2

$$T'_{2,1} = \max\{d_2, (T_{3,1} + \theta_{3,2})\} + t_{2,1} = \max\{8, (11 + 7)\} + 6 = 18 + 6 = 24 \text{ ч}$$

$$T'_{2,2} = \max\{T'_{2,1}, (T_{3,2} + \theta_{3,2})\} + t_{2,2} = \max\{24, (0 + 0)\} + 4 = 24 + 4 = 28 \text{ ч}$$

$$T'_{2,3} = \max\{T'_{2,2}, (T_{3,3} + \theta_{3,2})\} + t_{2,3} = \max\{28, (0 + 0)\} + 3 = 28 + 3 = 31 \text{ ч}$$

$$T'_{2,5} = \max\{T'_{2,3}, (T_{3,5} + \theta_{3,2})\} + t_{2,5} = \max\{31, (0 + 0)\} + 9 = 31 + 9 = 40 \text{ ч}$$

3. Наилучшее значение критерия оптимизации получено по ветви 3-1.

3-1-2

$$T''_{2,1} = \max\{d_2, (T_{3,1} + \theta_{3,2})\} + t_{2,1} = \max\{8, (11 + 7)\} + 6 = 18 + 6 = 24 \text{ ч}$$

$$T''_{2,2} = \max\{T''_{2,1}, (T'_{1,2} + \theta_{1,2})\} + t_{2,2} = \max\{24, (0 + 0)\} + 4 = 24 + 4 = 28 \text{ ч}$$

$$T''_{2,3} = \max\{T''_{2,2}, (T'_{1,3} + \theta_{1,2})\} + t_{2,3} = \max\{28, (5 + 3)\} + 3 = 28 + 3 = 31 \text{ ч}$$

$$T''_{2,5} = \max\{T''_{2,3}, (T'_{1,5} + \theta_{1,2})\} + t_{2,4} = \max\{31, (19 + 3)\} + 9 = 31 + 9 = 40 \text{ ч}$$

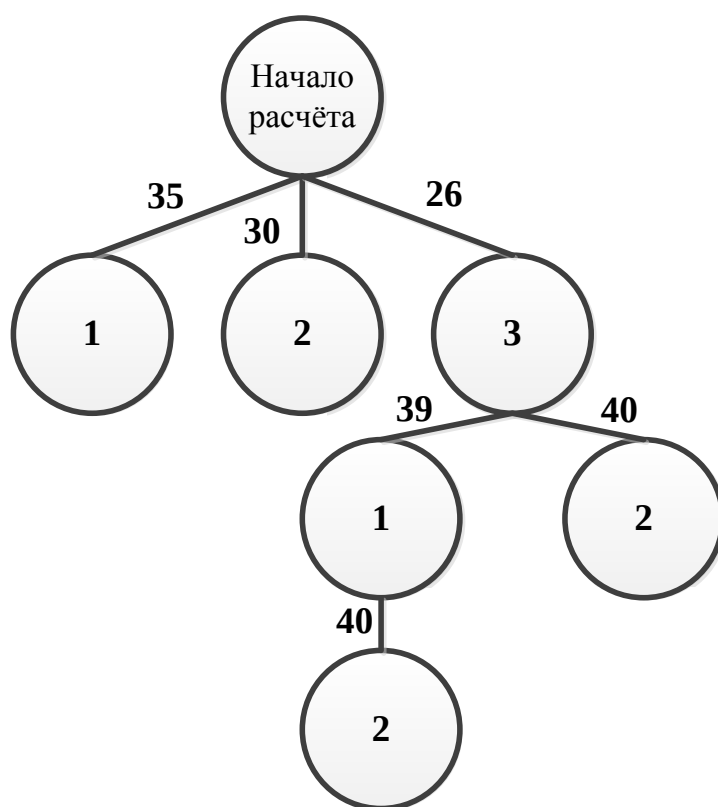


Рис. 1.55. Дерево вариантов решений для задачи 2

В результате получили оптимальную последовательность выпуска продуктов $\pi^* = \{3, 1, 2\}$ и $F(\pi^*) = 40$ ч.

На рис. 1.55 представлено дерево решений для гибкой многопродуктовой периодической ХТС.

1.6. Требования к отчёту по работе 1

Отчёт по работе должен содержать:

1. Наименование и цель работы.
2. Краткие теоретические положения, касающиеся составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств с последовательными аппаратами [4, 5]:
 - задача Джонсона с m аппаратами;
 - модель с учётом различия моментов поступления исходных материалов в производство и затрат на переналадку аппарата с выпуска одного продукта на другой.

3. Модели для составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств с различными маршрутами выпуска продуктов.

4. Краткий обзор численных методов решения задач теории расписаний: метод локального поиска, метод ветвей и границ, статистический метод локального поиска, метод Монте-Карло.

5. Описание работы с программными средствами для составления расписаний работы многопродуктовых периодических ХТС.

6. Ручной расчёт оптимальной последовательности выпуска продуктов для совмещённой и гибкой ХТС.

7. Выводы по результатам исследования с обоснованием полученных решений.

8. Список использованной литературы.

РАБОТА 2. РАСЧЁТ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПИСАНИЯ РАБОТЫ МНОГОАССОРТИМЕНТНОГО МНОГОСТАДИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЛАСТИЧЕСКИХ МАСС

Цель работы: Рассчитать оптимальное расписание работы многоассортиментного многостадийного производства изделий из пластических масс с последовательным и параллельным расположением аппаратов, при котором время выпуска всех продуктов будет минимальным.

Задачи работы: 1. С помощью программы «Расчёт расписания работы оборудования многоассортиментного многостадийного производства изделий из пластических масс» рассчитать оптимальное расписание работы гибкой ХТС с последовательным и параллельным расположением аппаратов, при котором время выпуска всех продуктов будет минимальным. Для расчёта использовать модель с учётом затрат на переналадку и с учётом времени задержки поставки сырья на производство продуктов.

2. Для наилучшей последовательности построить диаграмму Ганта.

3. Выполнить ручной расчёт для поиска оптимальной последовательности, используя один из численных методов теории расписаний. Сравнить полученные результаты с ручным расчётом, проведённым для нескольких последовательностей, и сделать выводы.

2.1. Задание к лабораторной работе 2

Пусть необходимо выпустить восемь различных продуктов, технологические маршруты обработки которых заданы. Для обработки i -го продукта на j -м аппарате требуется время $t_{i,j}$. Исходные материалы, используемые для получения соответствующих продуктов, поступают на производство в моменты времени d_i . Для переналадки j -го аппарата с выпуска i -го продукта на выпуск k -го продукта необходимо время θ_{ik}^j . Последовательность выпуска продуктов $\pi = \{i_1, i_2, \dots, i_q, \dots, i_n\}$, где i_q – номер продукта, выпускаемого q -м по порядку. В каждый момент времени на каждом аппарате может обрабатываться только один продукт. Рассчитать оптимальную очередность выпуска продуктов π^* , при которой время выпуска всех продуктов будет минимальным.

Тип выпускаемой продукции и количество, которое необходимо изготовить:

Продукт 1 – лист из полипропилена (ПП); $X_{\text{лист}}^{\text{ПП}} = 1000$ кг;

Продукт 2 – лист из полистирола (ПС), $X_{\text{лист}}^{\text{ПС}} = 1000$ кг;

Продукт 3 – крышки из ПП, $K_{\text{вых}}^{\text{крПП}} = 2000$ шт;

Продукт 4 – крышки из ПС, $K_{\text{вых}}^{\text{крПС}} = 3000$ шт;

Продукт 5 – стаканчики из ПП, $K_{\text{вых}}^{\text{стПП}} = 5000$ шт;

Продукт 6 – стаканчики из ПС, $K_{\text{вых}}^{\text{стПС}} = 6000$ шт;

Продукт 7 – крышки из ПП с рисунком, $K_{\text{вых}}^{\text{крПП}} = 3000$ шт;

Продукт 8 – крышки из ПС с рисунком, $K_{\text{вых}}^{\text{крПС}} = 2000$ шт.

Количество аппаратов: 3 экструдера, 1 аппарат вырубki (для крышек), 3 аппарата вытяжки (для стаканчиков), 1 аппарат для покраски крышек.

2.2. Теоретическая часть к работе 2

2.2.1. Описание технологического процесса производства изделий из пластических масс

Производственный процесс состоит из четырёх стадий: экструзия, вырубka, вытяжка, покраска (рис. 2.1).

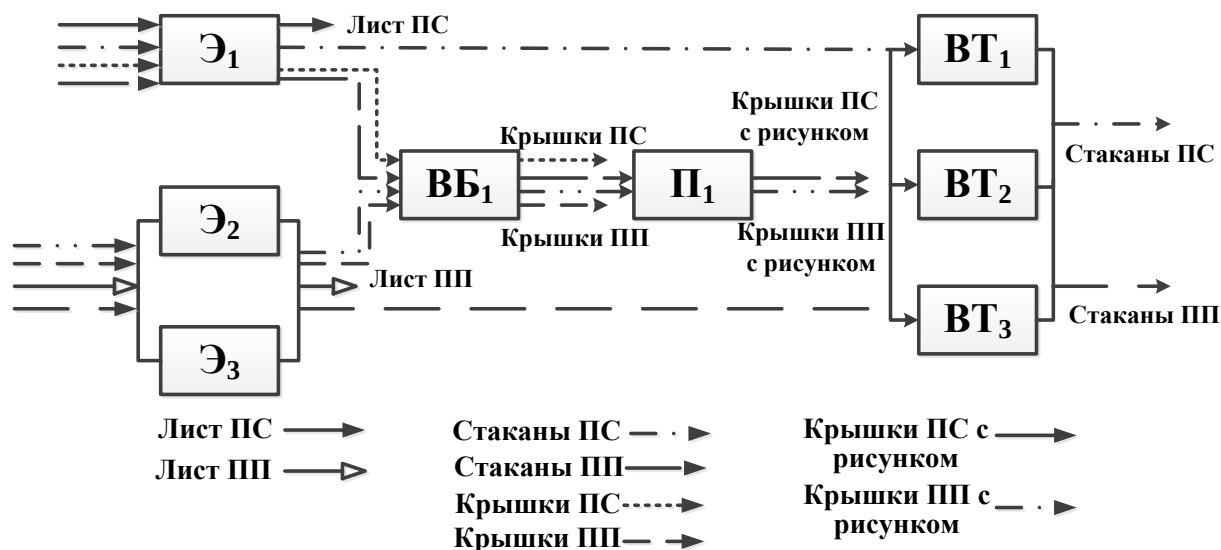


Рис. 2.1. Структура гибкой ХТС производства изделий из пластических масс (Э – экструдер; ВБ – аппарат вырубki (для крышек); ВТ – аппарат вытяжки (для стаканчиков); П – аппарат покраски)

Вид выпускаемой продукции влияет на последовательность типов используемых аппаратов для ее выработки. На стадиях экструзии и вытяжки используются по три параллельно работающих аппарата. В реальном производстве при выработке продукта из полистирола используется один экструдер, если продукция из полипропилена, то работают остальные два. На стадиях вырубki и покраски работают по одному аппарату.

Технологические маршруты обработки изделий из пластических масс:

$$\sigma_1 = \{\Xi_{2(3)}\}, \sigma_2 = \{\Xi_1\};$$

$$\sigma_3 = \{\Xi_{2(3)}, ВБ_1\}, \sigma_4 = \{\Xi_1, ВБ_1\};$$

$$\sigma_5 = \{\Xi_{2(3)}, ВТ_{1,2,3}\}, \sigma_6 = \{\Xi_1, ВТ_{1,2,3}\};$$

$$\sigma_7 = \{\Xi_{2(3)}, ВБ_1, П_1\}, \sigma_8 = \{\Xi_1, ВБ_1, П_1\}.$$

Наиболее трудоёмкая переналадка экструдера – при смене полимерного материала, так как это подразумевает прочистку цилиндра экструдера от остатков предыдущего материала. Процесс такой переналадки сопровождается сменой многих режимных параметров. Поэтому на практике один экструдер рассчитан на работу на полистироле, а два остальных – на полипропилене. Диаметр и высота крышек полностью определяются типом матрицы, установленной на аппарате вырубки, поэтому различия хоть в одном из этих параметров в предыдущем и последующем выпускаемых продуктах приводят к необходимости замены матрицы. На практике для аппарата вырубки существует единственная матрица, которую никогда не меняют. Для аппарата вытяжки ситуация аналогична предыдущему случаю. Отличие лишь в том, что для этих аппаратов существует несколько матриц. Переналадка аппарата вытяжки с продукта на продукт при различных их параметрах заключается в смене матрицы.

В данной лабораторной работе принимается допущение о том, что для производства изделий из ПП и ПС используется по одному экструдеру для каждого материала, а на стадии вытяжки работает только один аппарат вытяжки.

2.2.2. Математические модели стадий производства изделий из пластических масс

Расчёт времени экструзии

Математическая модель экструдера позволяет определить время работы экструдера, необходимое количество сырья и количество образующихся обрезков полимера при выработке партии продукции с известными характеристиками.

Введём следующие обозначения:

$X_{\text{лист}}$ – размер выпускаемой партии листа, кг (задаётся при формировании заказа на продукцию);

$h = 0,005$ м – толщина заказанного листа;

$w = 0,8$ м – ширина заказанного листа;

l – длина заказанного листа, м (необходимо рассчитать);

ρ – плотность полимера, кг/м³, $\rho^{\text{ПП}} = 910$ кг/м³, $\rho^{\text{ПС}} = 1050$ кг/м³,

При известных параметрах заказа h , w , l и $X_{\text{лист}}$ необходимо определить время работы экструдера для выпуска заказа.

Массу ленты полимера $X_{\text{лист}}$ по её размерам можно рассчитать через плотность:

$$X_{\text{лист}} = h \cdot w \cdot l \cdot \rho.$$

При заданной массе листа переход от массы к длине можно осуществить по формуле:

$$l = \frac{X_{\text{лист}}}{h \cdot w \cdot \rho}.$$

При заказе листа из полимера пользователь сам задаёт толщину заказанного листа h и ширину заказанного листа w , при заказе стаканов и крышек эти величины будут постоянными.

При выработке заказов на узкие листы полимера допустима одновременная намотка нескольких бухт с широкого листа полимера после каландрования. Эта возможность учитывается в модели параметром, который называется кратность выпуска (количество циклов аппарата) c , т.е. количество одновременно наматываемых бухт:

$$a = \text{Int} \left(\frac{w_{\text{экстр}} - 2w_{\text{обр}}^{\min}}{w} \right) \quad c = \begin{cases} 3, & \text{если } a > 3 \\ a, & \text{если } a \leq 3, \end{cases}$$

где операция Int – округляет к ближайшему целому; $w_{\text{экстр}}$ – максимально возможная ширина ленты при экструзии, м; $w_{\text{обр}}^{\min}$ – минимальная ширина обрезаемого с каждой стороны края листа, м.

Максимальная кратность выпуска $c = 3$, так как для каждого экструдера установлено именно столько наматывающих механизмов.

Минимальная ширина обрезаемой с каждой стороны ленты составляет: $w_{\text{обр}}^{\min} = 0,02 \text{ м}$.

Время экструзии t [с] можно определить через известную скорость экструзии v , м/с:

$$t = \frac{\frac{l}{c} + l_{\text{брак}}}{v},$$

где $l_{\text{брак}}$ – суммарная длина бракованных участков листа, м (принимается равной 5 м).

Расчёт времени вырубки и вытяжки

Процессы вырубки и вытяжки изделий, хотя и протекают на разных аппаратах, имеют мало отличий и могут быть описаны одной моделью.

Введём следующие обозначения:

K – количество формируемых изделий, шт (задается при формировании заказа);

$X_{\text{лист}}$ – масса листа полимера, кг;

$X_{\text{брак}}$ – суммарная масса бракованных участков ленты полимера, кг;

$X_{\text{обр}}$ – количество образующихся отходов, кг;

$X_{\text{ост}}$ – суммарная масса остатков полимерного листа после вырубки изделий, кг;

M – масса одного изделия, кг;

l – длина листа полимера, м;

ρ – плотность полимера, кг/м³.

Материальный баланс процессов вырубки и вытяжки имеет следующий вид:

$$X_{\text{лист}} = K \cdot M + X_{\text{обр}}; \quad X_{\text{обр}} = X_{\text{брак}} + X_{\text{ост}}.$$

Массу изделия можно подсчитать по геометрическим размерам изделий. Так как, и крышки, и стаканчики формируются из круга диаметром d [м], то массу одного изделия можно рассчитать, как:

$$M = h\rho \frac{\pi d^2}{4},$$

где h – толщина листа полимера, из которого происходит формование, м (для стаканчиков принимается равной 0,5 см, для крышек – 0,3 см); ρ – плотность полимера, кг/м³.

Зная размер матрицы $K_l \times K_w$ и шаг элементов матрицы вдоль a [м] и поперек b [м] листа (рис. 2.2), можно рассчитать коэффициент использования рабочей поверхности полимера $\beta_{\text{раб}}$, а также и всего листа β :

$$\beta_{\text{раб}} = \frac{\pi d^2}{4ab},$$

$$\beta = \beta_{\text{раб}} \frac{w_{\text{раб}}}{w},$$

где $w_{\text{раб}}$ – ширина рабочей части листа, м; w – ширина всего листа, м.

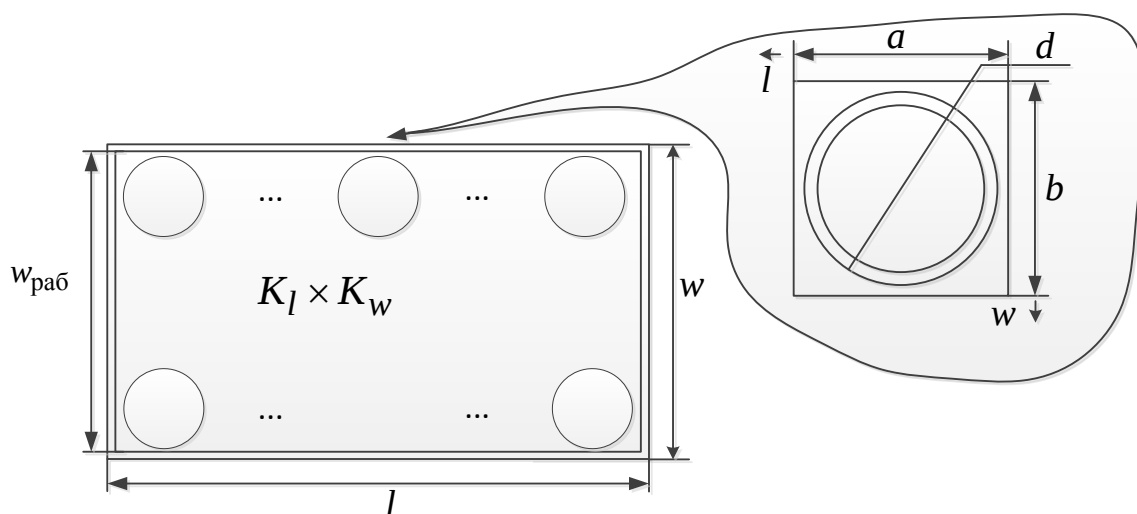


Рис. 2.2. Разметка листа полимера, необходимая для аппаратов вырубki и вытяжки, а также расположение элементов матрицы над листом

Ширина рабочей части листа не равна ширине всего листа ($w_{\text{раб}} \neq w$), так как края листа используются лентопотягивающим механизмом. Этот механизм производит перфорацию краев листа, что делает невозможным использование нерабочей части поверхности листа.

Нам необходимо определить длину l , массу листа полимера $X_{\text{лист}}$, время работы формовочного аппарата t , а также количество отходов $X_{\text{обр}}$, при выпуске K изделий.

Количество циклов формования (кратность выпуска), необходимых для выпуска заданного количества изделий можно найти по формуле:

$$c = \text{Int} \left(\frac{K}{K_l K_w} + 0,5 \right),$$

где операция Int – округляет к ближайшему целому; $K_l \times K_w$ – размеры матрицы – приведены в табл. 2.1 для каждого аппарата.

Таблица 2.1

Параметры листа и матриц для аппаратов вырубки и вытяжки

Аппарат	Изделие	$K \times K_{\text{раб}}$, см	$K_l \times K_w$	$a \times b \times d$, см
вырубки	крышки	80×72	4×8	9×9×8
вытяжки	стаканчики	80×72	1×6	12×12×10

Время работы определим через скорость работы аппарата v , циклов/мин:

$$t = \frac{c}{v},$$

где v – скорость работы аппарата вырубки/вытяжки, циклов/мин, $v = 12$ циклов/мин для вырубки и вытяжки.

Длину и массу ленты определим по параметрам матрицы:

$$l = a \cdot K_l \cdot c + l_{\text{брак}},$$

$$X_{\text{лист}} = h \cdot w \cdot l \cdot \rho,$$

где $l_{\text{брак}}$ – суммарная длина бракованных участков ленты, м (задаётся равной 100 см).

Найдём количество обрезков:

$$X_{\text{брак}} = h \cdot w \cdot l_{\text{брак}} \cdot \rho;$$

$$X_{\text{обр}} = \beta \cdot (X_{\text{лист}} - X_{\text{брак}}) + X_{\text{брак}}.$$

Расчёт времени покраски

Математическая модель покраски наиболее проста. Необходимо определить время работы t аппарата покраски на выпуск заданного количества крышек $K_{\text{вых}}$.

Так как в пусковых режимах аппарат может выпускать брак, определим количество крышек, необходимых для выпуска заданной партии изделий:

$$K = K_{\text{вых}} + K_{\text{брак}},$$

где K – количество крышек, на которые необходимо нанести изображение; $K_{\text{вых}}$ – количество крышек с нанесённым изображением;

$K_{\text{брак}}$ – количество бракованных крышек, $K_{\text{брак}} = 40$ на один заказ.

Определим количество циклов (кратность выпуска) аппарата покраски:

$$c = \text{Int} \left(\frac{K}{K_w^{\text{крас}}} + 0,5 \right),$$

где $K_w^{\text{крас}}$ – количество одновременно обрабатываемых изделий, $K_w^{\text{крас}} = 4$.

Время использования аппарата покраски t [с] рассчитывается

следующим образом:

$$t = \frac{c}{v_{\text{крас}}},$$

где $v_{\text{крас}}$ – скорость работы аппарата покраски, циклов/мин, принимается равной 100 циклов/мин.

2.2.3. Составление расписания работы оборудования для производства изделий из пластических масс

Расчёт времени переналадок оборудования

Класс выпускаемой продукции влияет на последовательность типов используемых аппаратов для ее выработки, которая задаётся вектором J_{T_c} :

$$J_{T_c} = \left\{ j^1, \dots, j^x, \dots, j^{M_{T_c}} \right\} \quad i = 1 \dots N \quad x = 1 \dots M_{T_c} \leq M,$$

где M_{T_c} – количество аппаратов в последовательности, используемых для выпуска разновидностей продуктов класса T_c ; M – количество типов аппаратов, установленных в цехе; i – номер продукта; j^x – тип используемого аппарата:

$$j = \begin{cases} 1 & - \text{экструдер} \\ 2 & - \text{вырубка} \\ 3 & - \text{вытяжка} \\ M = 4 & - \text{покраска} \end{cases}$$

В табл. 2.2 приведены классы продуктов и их характеристики, где T_c – класс продукта; P_{T_c} – множество параметров, описывающих виды продукции данного класса; J_{T_c} – последовательность аппаратов, которые

используются при выработке продукции данного класса; X – масса продукции, кг; h – толщина листа полимера, м; w – ширина всего листа, м; K – количество изделий, шт; $K_{\text{рис}}$ – количество изделий с рисунком, шт; H – высота изделий, м; d – диаметр изделий, м; $N_{\text{о}}$ – номер клише с рисунком.

Таблица 2.2

Классы продуктов и их характеристики

Класс продукта T_c	P_{T_c}	J_{T_c}	Название класса продукции
1	$\{X, h, w\}$	$\{1\}$	Лист ПП
2	$\{X, h, w\}$	$\{1\}$	Лист ПС
3	$\{K, H, d\}$	$\{1, 3\}$	Стаканчики ПП
4	$\{K, H, d\}$	$\{1, 2\}$	Крышки ПП
5	$\{K_{\text{рис}}, H, d, N_{\text{о}}\}$	$\{1, 2, 4\}$	Крышки ПП с рисунком
6	$\{K, H, d\}$	$\{1, 3\}$	Стаканчики ПС
7	$\{K, H, d\}$	$\{1, 2\}$	Крышки ПС
8	$\{K_{\text{рис}}, H, d, N_{\text{о}}\}$	$\{1, 2, 4\}$	Крышки ПС с рисунком

Количество параллельных аппаратов каждого типа задаётся вектором:

$$M^{\text{пар}} = \{M_1^{\text{пар}}, \dots, M_j^{\text{пар}}, \dots, M_M^{\text{пар}}\} = \{3, 1, 3, 1\}.$$

Переналадка, запуск или останов аппарата заключается в выполнении некоторой последовательности элементарных операций. Набор возможных элементарных операций связан с типом аппарата, а их последовательность зависит не только от типа перевода аппарата из состояния в состояние, но и от конкретных параметров выпускаемой на аппарате продукции.

В табл. 2.3 приведён список элементарных операций, их трудоёмкостей и времён выполнения (o_n , мин) для всех типов аппаратов, имеющих в цехе переработки пластмасс.

Минимальное время для транспорта сырья от аппарата к аппарату составляет 20 мин.

Максимально возможное удлинение интервала поддержки экструдера в рабочем состоянии между последовательными заказами – 1 ч.

Максимально возможное удлинение интервала поддержки аппарата

вырубки в рабочем состоянии между последовательными заказами – 30 мин.

Таблица 2.3

Элементарные операции переналадок и их характеристики

Номер операции, <i>n</i>	<i>o</i> , мин	Операция
Экструдер		
1.1	1	Останов шнека экструдера
1.2	2	Останов каландров экструдера
1.3	1	Отключение нагрева цилиндра экструдера
1.4	1	Отключение нагрева каландров
1.5	240	Прочистка цилиндра экструдера
1.6	15	Включение нагрева, прогрев цилиндра экструдера
1.7	10	Включение нагрева, прогрев каландров экструдера
1.8	2	Запуск каландров экструдера
1.9	4	Запуск шнека экструдера
1.10	20	Заправка пластификата между каландрами, настройка лентопротяга на экструдере
1.11	3	Установка подрезных ножей на экструдере
1.12	4	Установка зазора между каландрами на экструдере
1.13	10	Выход на заданный режим экструзии
1.14	10	Смена механизма намотки ленты на экструдере
1.15	60	Загрузка цилиндра новым полимером на экструдере
Вырубка		
2.1	1	Останов механизма на аппарате вырубки
2.2	1	Останов печи на аппарате вырубки
2.3	10	Включение, прогрев печи на аппарате вырубки
2.4	15	Заправка листа полимера в лентопротяг аппарата вырубки
2.5	4	Запуск механизма на аппарате вырубки
2.6	5	Выход аппарата вырубки на заданный режим
Вытяжка		
3.1	1	Останов механизма на аппарате вытяжки
3.2	1	Останов печи на аппарате вытяжки
3.3	40	Демонтаж матрицы на аппарате вытяжки
3.4	60	Установка новой матрицы на аппарате вытяжки
3.5	10	Включение, прогрев печи на аппарате вытяжки
3.6	10	Заправка листа полимера в лентопротяг аппарата вытяжки
3.7	2	Запуск механизма на аппарате вытяжки
3.8	10	Выход аппарата вытяжки на заданный режим
Покраска		
4.1	1	Останов конвейера аппарата покраски
4.2	20	Демонтаж клише на аппарате покраски
4.3	5	Запуск конвейера аппарата покраски
4.4	30	Установка клише на аппарате покраски
4.5	5	Выход аппарата покраски на заданный режим

Максимально возможное удлинение интервала поддержки аппарата вытяжки в рабочем состоянии между последовательными заказами – 30 мин.

Максимально возможное удлинение интервала поддержки аппарата покраски в рабочем состоянии между последовательными заказами – 3 ч.

Для всех возможных вариантов переналадок существует последовательность элементарных операций, а время и трудоёмкость всего процесса переналадки подсчитывается как сумма соответствующих характеристик элементарных операций (табл. 2.3), делается допущение о том, что все операции выполняются последовательно.

В табл. 2.4 приведены последовательности операций для разных вариантов переналадок аппаратуры (O_{N_p} , где N_p – номер переналадки) и суммарное время переналадки.

Таблица 2.4

Последовательности элементарных операций для разных типов переналадок

Номер переналадки, N_p	T_p	Меняемый параметр продукции	Последовательность операций переналадки аппарата, O	Суммарное время переналадки, мин
1	2	3	4	5
Экструдер				
100	1	0	O_{103}	68
101	1	h	O_{103}	68
102	1	w	O_{103}	68
103	1	h, w	$\{o_{1.6}, o_{1.7}, o_{1.11}, o_{1.12}, o_{1.8}, o_{1.9}, o_{1.10}, o_{1.13}\}$	68
104	1	s	O_{107}	368
105	1	h, s	O_{107}	368
106	1	w, s	O_{107}	368
107	1	h, w, s	$\{o_{1.5}, o_{1.15}, o_{1.6}, o_{1.7}, o_{1.11}, o_{1.12}, o_{1.8}, o_{1.9}, o_{1.10}, o_{1.13}\}$	368
108	2	0	$o_{1.14}$	10
109	2	h	$\{o_{1.12}, o_{1.13}\}$	14
110	2	w	$\{o_{1.1}, o_{1.2}, o_{1.11}, o_{1.8}, o_{1.9}, o_{1.10}, o_{1.13}\}$	42
111	2	h, w	$\{o_{1.1}, o_{1.2}, o_{1.11}, o_{1.12}, o_{1.8}, o_{1.9}, o_{1.10}, o_{1.13}\}$	46
112	2	s	O_{115}	353
113	2	h, s	O_{115}	353
114	2	w, s	O_{115}	353

1	2	3	4	5
115	2	h, w, s	$\{o_{1.1}, o_{1.2}, o_{1.3}, o_{1.4}, o_{1.5}, o_{1.15}, o_{1.6}, o_{1.7}, o_{1.11}, o_{1.12}, o_{1.8}, o_{1.9}, o_{1.13}\}$	353
116	3	0	$\{o_{1.1}, o_{1.2}, o_{1.3}, o_{1.4}\}$	5
Аппарат вырубки				
200	1	0	O_{203}	34
201	1	$d_{кр}$	O_{203}	34
202	1	$H_{кр}$	O_{203}	34
203	1	$d_{кр}, H_{кр}$	$\{o_{2.3}, o_{2.4}, o_{2.5}, o_{2.6}\}$	34
204	2	0	O_{207}	25
205	2	$d_{кр}$	O_{207}	25
206	2	$H_{кр}$	O_{207}	25
207	2	$d_{кр}, H_{кр}$	$\{o_{2.1}, o_{2.4}, o_{2.5}, o_{2.6}\}$	25
208	3	0	$\{o_{2.1}, o_{2.2}\}$	2
Аппарат вытяжки				
300	1	0	$\{o_{3.5}, o_{3.6}, o_{3.7}, o_{3.8}\}$	32
301	1	$d_{ст}$	O_{303}	132
302	1	$H_{ст}$	O_{303}	132
303	1	$d_{ст}, H_{ст}$	$\{o_{3.3}, o_{3.4}, o_{3.5}, o_{3.6}, o_{3.7}, o_{3.8}\}$	132
304	2	0	$\{o_{3.1}, o_{3.6}, o_{3.7}, o_{3.8}\}$	23
305	2	$d_{ст}$	O_{307}	134
306	2	$H_{ст}$	O_{307}	134
307	2	$d_{ст}, H_{ст}$	$\{o_{3.1}, o_{3.2}, o_{3.3}, o_{3.4}, o_{3.5}, o_{3.6}, o_{3.7}, o_{3.8}\}$	134
308	3	0	$\{o_{3.1}, o_{3.2}\}$	2
Аппарат покраски				
400	1	0	$\{o_{4.3}, o_{4.5}\}$	10
401	1	N_2	$\{o_{4.2}, o_{4.4}, o_{4.3}, o_{4.5}\}$	60
403	2	0	0	0
404	2	N_2	$\{o_{4.1}, o_{4.2}, o_{4.4}, o_{4.3}, o_{4.5}\}$	61
405	3	0	$\{o_{4.1}\}$	1

Заданы следующие типы переходов аппарата T_p из одного рабочего состояния в другое:

$T_p = 1$. Аппарат был остановлен после выпуска предыдущего продукта, и для выпуска на нем нового продукта необходимо запустить аппарат и возможно переналадить (если параметры предыдущего продукта не совпадают с параметрами нового), т.е. останов $\rightarrow$ выпуск;

$T_p = 2$. Аппарат только что завершил выпуск предыдущего продукта и для выпуска нового продукта его надо только переналадить, т.е. выпуск $\rightarrow$ выпуск;

$T_p = 3$. Аппарат только что завершил выпуск продукта и его необходимо остановить, т.е. выпуск $\rightarrow$ останов.

Существуют параметры продукции для разных типов аппаратов, влияющие на последовательность операций при переналадке аппарата с выпуска одного продукта на выпуск другого:

– для экструдеров: h – толщина получаемого листа, w – ширина получаемого листа, s – материал, из которого изготавливают лист;

– для аппарата вырубки: $d_{кр}$ – диаметр крышек, $H_{кр}$ – высота крышек;

– для аппарата вытяжки: $d_{ст}$ – диаметр стаканов, $H_{ст}$ – высота стаканов;

– для аппарата покраски: № – номер клише с рисунком.

При остановке аппарата переналадку на возможный следующий продукт не производят, вместо этого ее производят при запуске аппарата, учитывая тип продукта, выпускавшегося на аппарате до его останова.

При составлении расписания работы оборудования используется описанный в разделе 1.2 метод ветвей и границ.

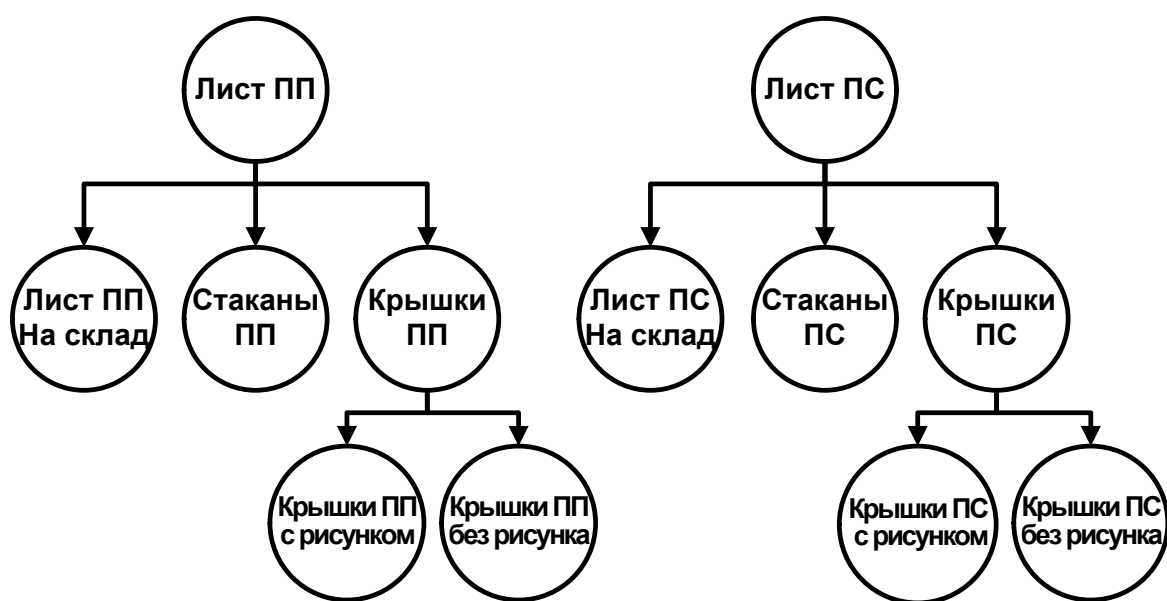


Рис. 2.3. Дерево выпуска продуктов

На рис. 2.3 представлено дерево выпуска продуктов, которое позволяет увидеть последовательность, в которой производятся продукты.

2.3. Описание интерфейса и работы с программой «Расчёт расписания работы оборудования многоассортиментного многостадийного производства изделий из пластических масс», используемой в работе 2

2.3.1. Описание интерфейса программного приложения

Программа предназначена для автоматизированного расчёта оптимального расписания работы оборудования многоассортиментного многостадийного производства изделий из пластических масс.

Разработанная программа позволяет выполнить расчёт оптимального расписания работы оборудования для конкретного производства изделий из пластических масс с использованием метода ветвей и границ (упрощенная модификация). В программе реализована возможность построения диаграммы Ганта для оптимального расписания.

В ходе составления оптимального расписания учитываются различные технологические маршруты обработки продуктов, время для транспорта сырья от аппарата к аппарату, время, необходимое для переналадки аппаратов с выпуска одного продукта на выпуск другого.

В данной программе все три экструдера могут работать и на полистироле, и на полипропилене, а на стадии вытяжки функционируют три параллельных аппарата. Диаметр и высота крышек полностью определяются единственной матрицей, установленной на аппарате вырубки, поэтому у пользователя нет возможности варьировать эти параметры в программе. Для аппарата вытяжки ситуация аналогична предыдущему случаю. В программном расчёте принимаются следующие допущения:

- при включении любого из остановленных аппаратов его настройки соответствуют параметрам продукции, которую на нем собираются выпускать;

- первые продукты, выпускаемые на каждом из экструдеров, могут производиться без задержек на поставку сырья и настройку аппаратов.

Поиск оптимального расписания осуществляется методом ветвей и границ, точнее – его упрощённой модификацией. В программе строго заданы параметры и настройки метода поиска – уровень, с которого начинается отбрасывание последовательностей, а также доля последовательностей, которые будут отброшены.

Результатом работы программы являются:

- 1) Оптимальная последовательность выпуска продуктов.
- 2) Время выпуска лучшей найденной последовательности.
- 3) Подробное расписание для оптимальной последовательности, в котором указывается время обработки каждого продукта во всех аппаратах в соответствии с маршрутом выпуска.
- 4) Диаграмма Ганта для лучшей последовательности выпуска продуктов.

Рабочее окно программного модуля представлено на рис. 2.4, оно состоит из двух вкладок «Заказы» и «Диаграмма Ганта».

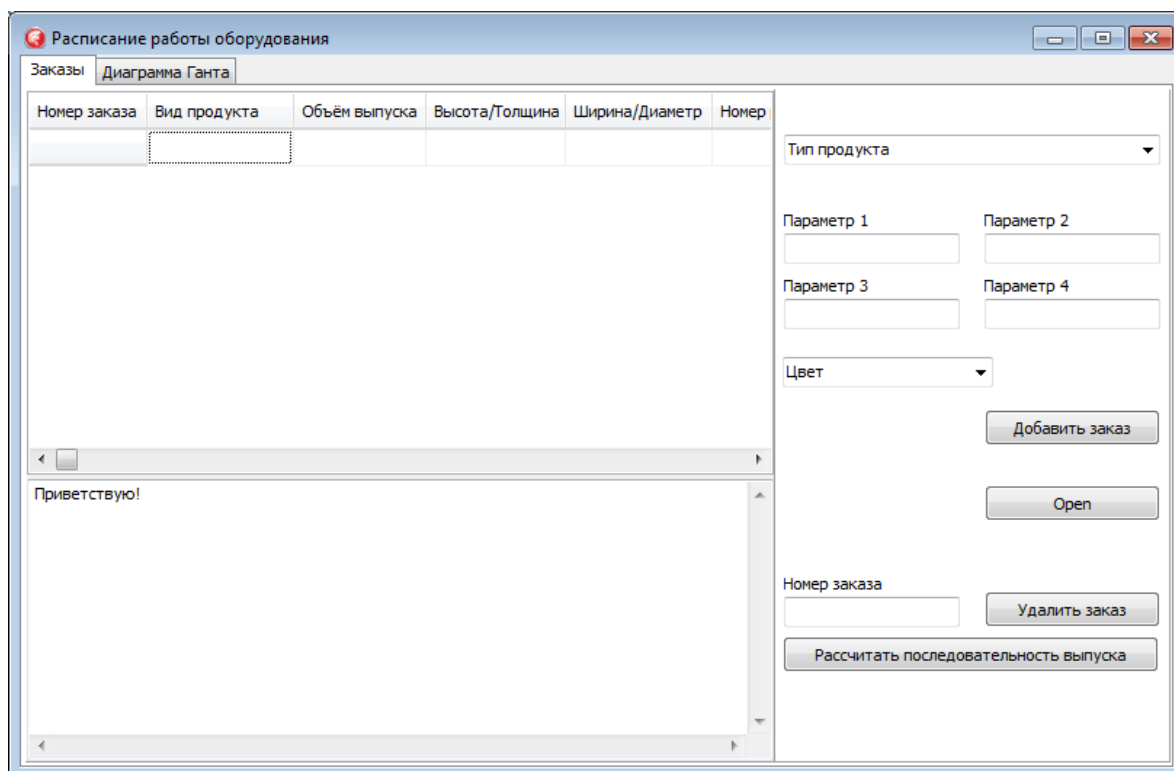


Рис. 2.4. Интерфейс программного модуля и его основные элементы

Рабочее поле вкладки «Заказы» (рис. 2.4) программного приложения разделено на две половины. Правая половина предназначена для ввода

исходной информации (рис. 2.5, (1)–(4), (6), (8)). Левая часть окна программного приложения предназначена, во-первых, для представления исходной информации в табличном виде (рис. 2.5, (5)), во-вторых, для вывода промежуточных и конечных результатов расчёта методом ветвей и границ (рис. 2.5, (7)). Результаты расчёта времен выпуска изделий выводятся в ту же таблицу, что и исходные данные (рис. 2.5, (5)).

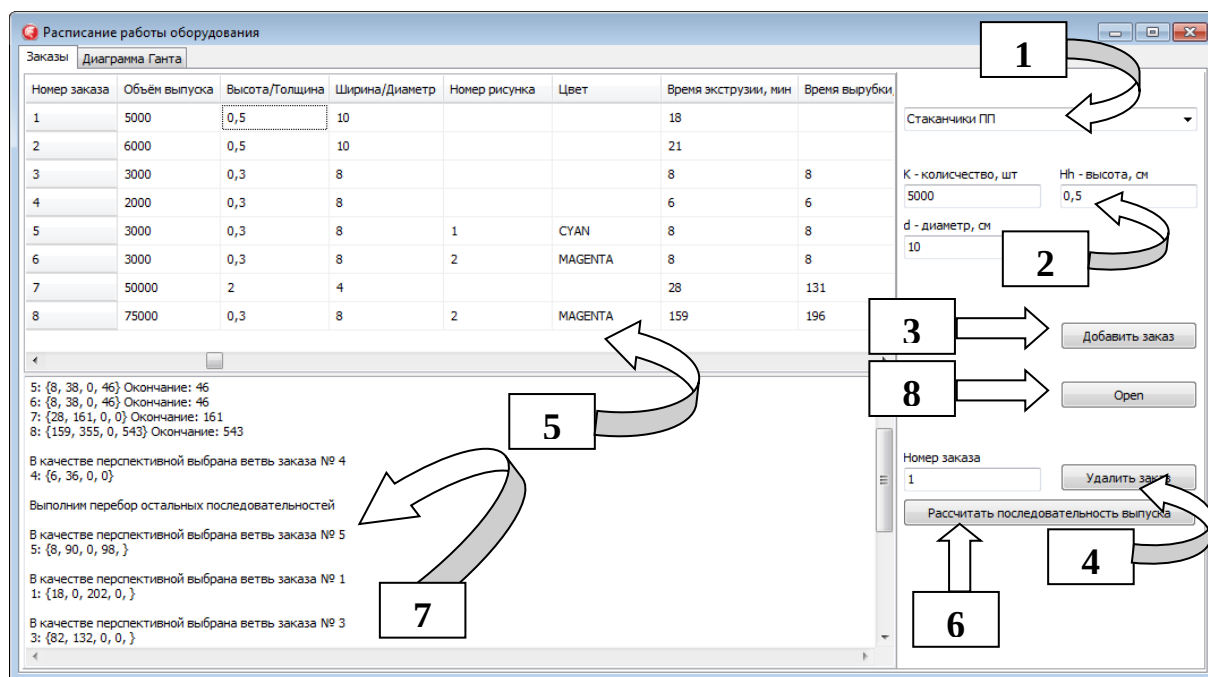


Рис. 2.5. Вкладка «Заказы» с введёнными данными

В главном окне на вкладке «Заказы» располагается кнопка «Рассчитать последовательность выпуска» (рис. 2.4), после ввода исходных данных она активируется для нажатия и запуска расчётных процедур (рис. 2.5).

По завершении расчёта выполняется построение диаграммы Гантта для оптимальной последовательности изделий на вкладке «Диаграмма Гантта» (рис. 2.6).

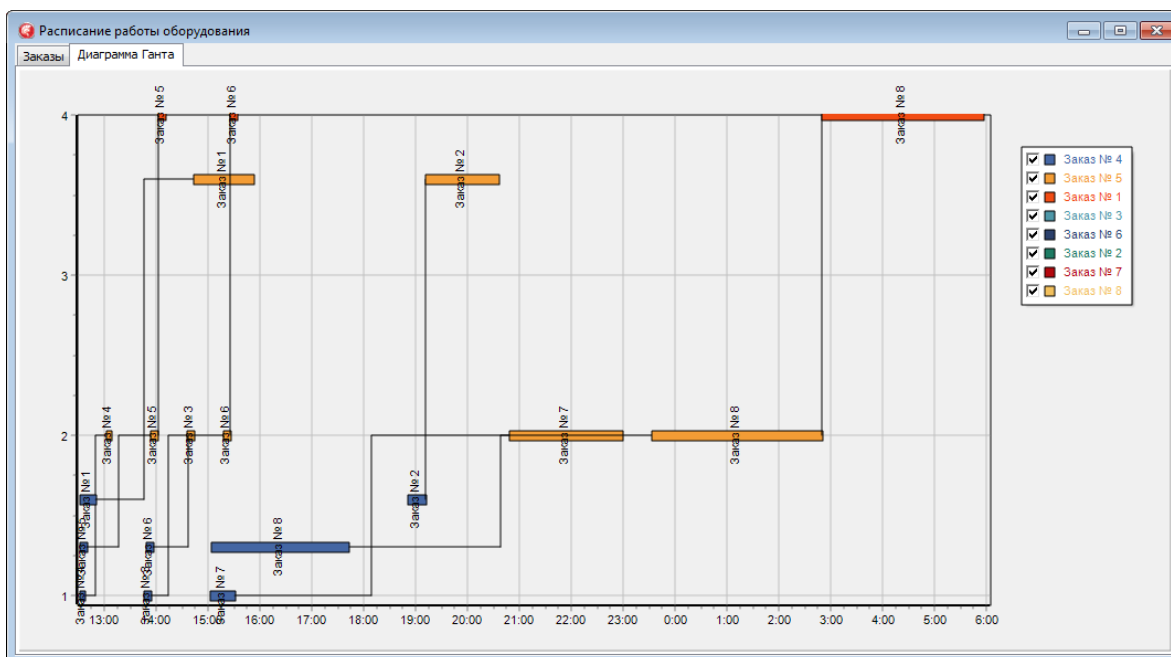


Рис. 2.6. Диаграмма Ганта для оптимальной последовательности выпуска продуктов

2.3.2. Режимы работы программы

Программное приложение может работать в двух режимах:

- Просмотр/изменение введённых данных;
- Ввод новых данных.

После выбора первого режима работы пользователь сразу может перейти к расчёту (Выбор «Оп» (рис. 2.5, (8)) → кнопка «Рассчитать последовательность выпуска» (рис. 2.5, (6))). Данные из выбранного файла будут загружены, и в соответствии с ними будут рассчитаны оптимальные последовательности выпуска продуктов, на основе которых затем можно построить диаграмму Ганта.

Второй режим работы – ввод новых данных – предназначен для ввода информации с нуля.

Пошаговый ввод исходных данных

При добавлении нового заказа на определенную продукцию пользователю необходимо выбрать из выпадающего списка тип продукта (рис. 2.7), ввести данные о параметрах заказа на этот продукт, как показано на рис. 2.8.

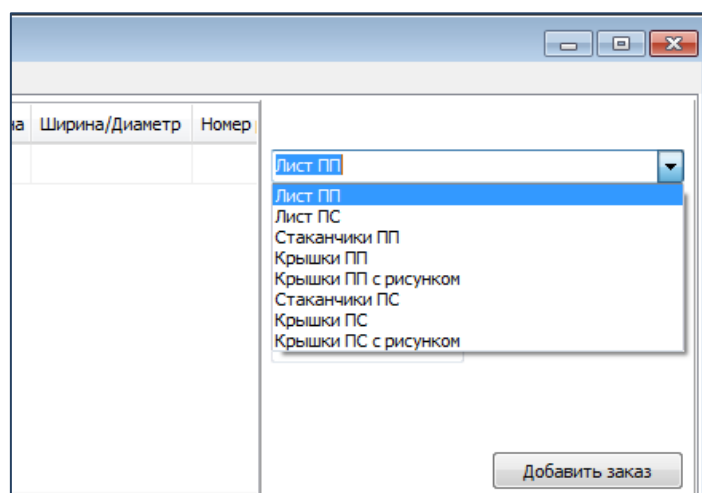


Рис. 2.7. Вкладка «Заказы», выпадающий список типов продукции

Рис. 2.8. Вкладка «Заказы», ввод параметров заказа на выпуск выбранного продукта

Параметрами заказа являются: количество изделий на выпуск, диаметр, ширина и высота изделия, толщина листа полимера, номер рисунка и цвет. Для каждого продукта необходимо вводить свои параметры. Надо отметить, что в этой программе для таких продуктов, как стаканы и крышки, пользователь задаёт не высоту изделий, а толщину листа полимера, из которого они будут производиться. Высота крышек и стаканов определяется матрицами, установленными на аппарате вырубki и вытяжки, соответственно.

Когда информация о заказе введена, пользователь нажимает на кнопку «Добавить заказ», после этого заказу присваивается порядковый номер и его параметры отображаются в табличной части закладки «Заказы» (рис. 2.9).

Расписание работы оборудования

Заказы | Диаграмма Ганта

Номер заказа	Вид продукта	Объём выпуска	Высота/Толщина	Ширина/Диаметр	Номер
1	Лист ПП	1000	0,5	80	

Лист ПП

X - масса, кг h - толщина, см

W - ширина, см

Добавить заказ

Рис. 2.9. Вкладка «Заказы», представление добавленного заказа

После добавления всех заказов (рис. 2.10), для выполнения расчёта необходимо нажать на кнопку «Рассчитать последовательность выпуска».

На вкладке «Заказы» под таблицей исходных данных отобразятся промежуточные и конечные результаты расчёта по программе (рис. 2.11). После расчёта времена всех стадий для продуктов, введённых ранее, появятся в таблице, где отображались исходные данные в соответствующих столбцах (рис. 2.12).

Расписание работы оборудования

Заказы | Диаграмма Ганта

Номер заказа	Вид продукта	Объём выпуска	Высота/Толщина	Ширина/Диаметр	Номер
1	Лист ПП	1000	0,5	80	
2	Лист ПС	1000	0,5	80	
3	Крышки ПП	3000	0,3	8	
4	Крышки ПС	2000	0,3	8	
5	Стаканчики ПП	5000	0,5	10	
6	Стаканчики ПС	6000	0,5	10	
7	Крышки ПП с рисун	3000	0,3	8	1
8	Крышки ПС с рисун	2000	0,3	8	1

Крышки ПС с рисунком

Kr - количество, шт Hh - высота, см

d - диаметр, см Nr - номер рисунка

CYAN

Добавить заказ

Отпр

Приветствую!

Номер заказа

Удалить заказ

Рассчитать последовательность выпуска

Рис. 2.10. Вкладка «Заказы» с введённой информацией по всем заказам

Расписание работы оборудования

Заказы | Диаграмма Ганта

Номер заказа	Вид продукта	Объём выпуска	Высота/Толщина	Ширина/Диаметр	Ном
1	Лист ПП	1000	0,5	80	
2	Лист ПС	1000	0,5	80	
3	Крышки ПП	3000	0,3	8	
4	Крышки ПС	2000	0,3	8	

Время выполнения первого заказа в последовательности

1: {47, 0, 0, 0} Окончание: 47
 2: {41, 0, 0, 0} Окончание: 41
 3: {8, 38, 0, 0} Окончание: 38
 4: {6, 36, 0, 0} Окончание: 36
 5: {18, 0, 100, 0} Окончание: 100
 6: {21, 0, 114, 0} Окончание: 114
 7: {8, 38, 0, 46} Окончание: 46
 8: {6, 36, 0, 42} Окончание: 42

В качестве перспективной выбрана ветвь заказа № 4
 4: {6, 36, 0, 0}

Выполним перебор остальных последовательностей

В качестве перспективной выбрана ветвь заказа № 2
 2: {41, 0, 0, 0}

В качестве перспективной выбрана ветвь заказа № 1
 1: {47, 0, 0, 0}

В качестве перспективной выбрана ветвь заказа № 3
 3: {82, 131, 0, 0}

Крышки ПС с рисунком

Kr - количество, шт

Hh - высота, см

d - диаметр, см

Nr - номер рисунка

CYAN

Добавить заказ

Open

Номер заказа

Удалить заказ

Рассчитать последовательность выпуска

Рис. 2.11. Вкладка «Заказы», расчёт оптимальной последовательности выпуска

Расписание работы оборудования

Заказы | Диаграмма Ганта

Номер заказа	Время экструзии, мин	Время вырубки, мин	Время вытяжки, мин	Время покраски, мин	Код продукта
1	47				0
2	41				1
3	8	8			3
4	6	6			6
5	18		70		2
6	21		84		5
7	8	8		8	4
8	6	6		6	7

Время выполнения первого заказа в последовательности

1: {47, 0, 0, 0} Окончание: 47
 2: {41, 0, 0, 0} Окончание: 41

Крышки

Kr - коли

d - диаме

CYAN

Рис. 2.12. Вкладка «Заказы», результаты расчёта в таблице

После выполнения расчёта на вкладке «Диаграмма Ганта» будет представлена диаграмма Ганта для рассчитанной оптимальной последовательности выпуска изделий из пластических масс (рис. 2.13).

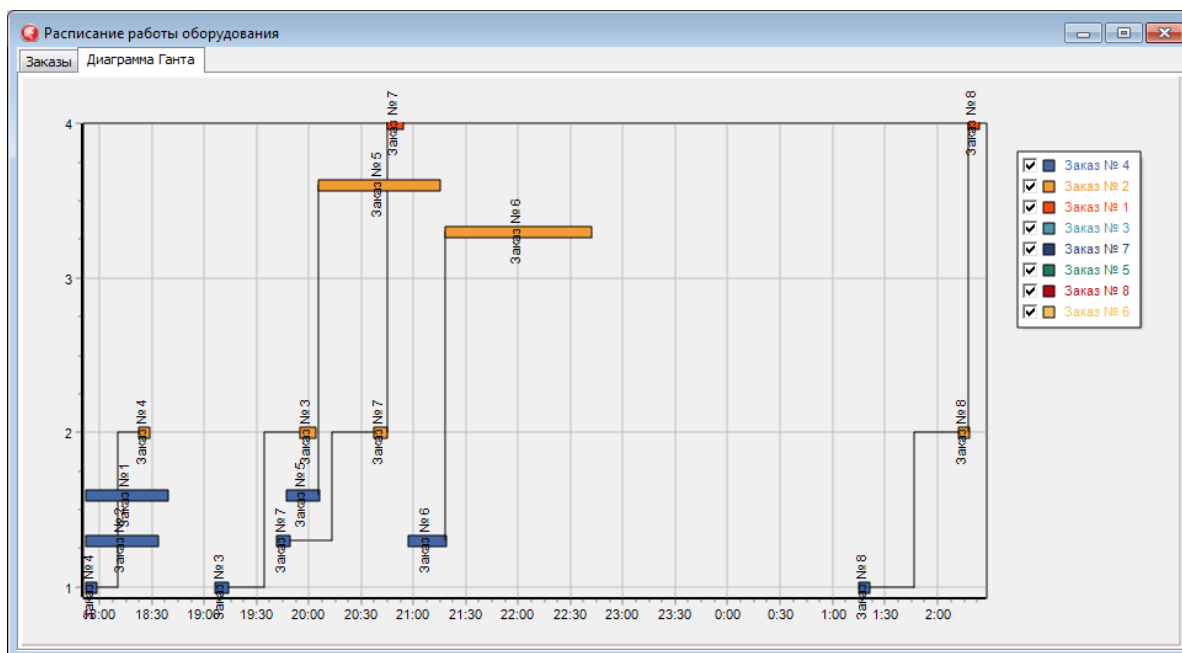


Рис. 2.13. Диаграмма Ганта для рассчитанной оптимальной последовательности выпуска изделий из пластических масс

В программе реализована возможность удаления определённого заказа. Для этого во вкладке «Заказы» в поле «Номер заказа» нужно ввести номер удаляемого заказа и нажать кнопку «Удалить заказ» (рис. 2.14).

8	Крышки ПС с рисун	2000	0,3	8	1
9	Крышки ПП с рисун	8000	0,3	8	5

Время выполнения первого заказа в последовательности

1: {47, 0, 0, 0} Окончание: 47
 2: {41, 0, 0, 0} Окончание: 41
 3: {8, 38, 0, 0} Окончание: 38
 4: {6, 36, 0, 0} Окончание: 36
 5: {18, 0, 100, 0} Окончание: 100

Добавить заказ

Open

Номер заказа
9

Удалить заказ

Рис. 2.14. Вкладка «Заказы», удаление заказа

Данные, введённые в программу, автоматически сохраняются в файле *TempIniZak.ini*. Файл *TempIniZak.ini* необходимо переименовать, например, в *TempIniZak_1.ini*, если пользователь хочет сохранить данные в этом файле, так как при следующем запуске программы и вводе новых данных в файле *TempIniZak.ini* сохранится обновленная информация о заказах на выпуск продуктов.

Загрузка исходных данных из файла

С помощью этого режима работы можно просмотреть введённые

исходные данные и (при необходимости) внести изменения. Для того чтобы изменения имели силу, следует повторить расчёт.

На вкладке «Заказы» (рис. 2.10) следует нажать кнопку «Орп» и выбрать файл с введёнными ранее данными. Данные будут загружены, и по ним можно будет провести расчёт.

2.4. Расчётная часть по работе 2

2.4.1. Расчёт времени выпуска продуктов

Расчёт времени экструзии для листа из ПП

1) Длина заказанного листа полимера: $l = \frac{X_{\text{лист}}}{h \cdot w \cdot \rho}$

$$X_{\text{лист}}^{\text{ПП}} = 1000 \text{ кг}, h = 0,005 \text{ м}, w = 0,8 \text{ м}, \rho^{\text{ПП}} = 910 \text{ кг/м}^3$$

$$l = \frac{1000 \text{ кг}}{0,005 \text{ м} \cdot 0,8 \text{ м} \cdot 910 \text{ кг/м}^3} = 274,73 \text{ м}$$

2) Расчёт кратности выпуска

$$a = \text{Int} \left(\frac{w_{\text{экстр}} - 2w_{\text{обр}}^{\min}}{w} \right) \quad c = \begin{cases} 3 & \text{если } a > 3 \\ a & \text{если } a \leq 3 \end{cases}$$

$$w_{\text{экстр}} = 0,85 \text{ м}, w_{\text{обр}}^{\min} = 0,02 \text{ м}, w = 0,8 \text{ м}.$$

$$a = \text{Int} \left(\frac{0,85 \text{ м} - 2 \cdot 0,02 \text{ м}}{0,8 \text{ м}} \right) = 1 \quad c = 1$$

3) Время экструзии:

$$t = \frac{\frac{l}{c} + l_{\text{брак}}}{v}$$

$$l_{\text{брак}} = 5 \text{ м}, v = 0,1 \text{ м/с}$$

$$t = \frac{\frac{274,73 \text{ м}}{0,1 \text{ м/с}} + 5 \text{ м}}{0,1 \text{ м/с}} = 2797,25 \text{ с} = 46,62 \text{ мин}$$

Расчёт времени экструзии для листа из ПС

1) Длина заказанного листа полимера: $l = \frac{X_{\text{лист}}}{h \cdot w \cdot \rho}$

$$X_{\text{лист}}^{\text{ПС}} = 1000 \text{ кг}, h = 0,005 \text{ м}, w = 0,8 \text{ м}, \rho^{\text{ПС}} = 1050 \text{ кг/м}^3$$

$$l = \frac{1000 \text{ кг}}{0,005 \text{ м} \cdot 0,8 \text{ м} \cdot 1050 \text{ кг/м}^3} = 238,10 \text{ м}$$

2) Расчёт кратности выпуска

$$a = \text{Int} \left(\frac{w_{\text{экстр}} - 2w_{\text{обр}}^{\min}}{w} \right) \quad c = \begin{cases} 3 & \text{если } a > 3 \\ a & \text{если } a \leq 3 \end{cases}$$

$$w_{\text{экстр}} = 0,85 \text{ м}, w_{\text{обр}}^{\min} = 0,02 \text{ м}, w = 0,8 \text{ м}.$$

$$a = \text{Int} \left(\frac{0,85 \text{ м} - 2 \cdot 0,02 \text{ м}}{0,8 \text{ м}} \right) = 1 \quad c = 1$$

3) Время экструзии:

$$t = \frac{\frac{l}{c} + l_{\text{брак}}}{v}$$

$$l_{\text{брак}} = 5 \text{ м}, v = 0,1 \text{ м/с}$$

$$t = \frac{\frac{238,10 \text{ м}}{1} + 5 \text{ м}}{0,1 \text{ м/с}} = 2430,95 \text{ с} = 40,52 \text{ мин}$$

Расчёт времени всех стадий для изготовления крышек

Расчёт времени вырубки и количества полимера для крышек из ПП:

1) Количество крышек, которое необходимо изготовить: $K = 3000$ шт

2) Количество циклов формования:

$$c = \text{Int}\left(\frac{K}{K_l \cdot K_w} + 0,5\right)$$

$$K_l = 4 \text{ шт}, K_w = 8 \text{ шт}$$

$$c = \text{Int}\left(\frac{3000 \text{ шт}}{4 \text{ шт} \cdot 8 \text{ шт}} + 0,5\right) = 94$$

$$3) \text{ Время вырубki: } t = \frac{c}{v}$$

$$v = 12 \text{ циклов/мин}$$

$$t = \frac{94}{12 \text{ циклов/мин}} = 7,83 \text{ мин}$$

$$4) \text{ Масса одного изделия:}$$

$$M = h\rho \frac{\pi d^2}{4}$$

$$h = 0,003 \text{ м}, \rho^{\text{ПП}} = 910 \text{ кг/м}^3, d = 0,08 \text{ м}$$

$$M = 0,003 \text{ м} \cdot 910 \text{ кг/м}^3 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,08^2 \text{ м}^2}{4} = 0,0137 \text{ кг}$$

$$5) \text{ Коэффициент использования рабочей поверхности полимера:}$$

$$\beta_{\text{раб}} = \frac{\pi d^2}{4ab}$$

$$a = 0,09 \text{ м}, b = 0,09 \text{ м}, d = 0,08 \text{ м}$$

$$\beta_{\text{раб}} = \frac{3,14 \cdot 0,08^2 \text{ м}^2}{4 \cdot 0,09 \text{ м} \cdot 0,09 \text{ м}} = 0,62$$

$$6) \text{ Коэффициент использования всего листа: } \beta = \beta_{\text{раб}} \frac{w_{\text{раб}}}{w}$$

$$w_{\text{раб}} = 0,72 \text{ м}, w = 0,80 \text{ м}$$

$$\beta = 0,62 \cdot \frac{0,72 \text{ м}}{0,80 \text{ м}} = 0,56$$

$$7) \text{ Длина ленты полимера: } l = a \cdot K_l \cdot c + l_{\text{брак}}$$

$$l_{\text{брак}} = 1 \text{ м}, K_l = 4 \text{ шт}, c = 94, a = 0,09 \text{ м}$$

$$l = 0,09 \text{ м} \cdot 4 \cdot 94 + 1 \text{ м} = 34,84 \text{ м}$$

$$8) \text{ Масса ленты полимера: } X_{\text{лист}} = h \cdot w \cdot l \cdot \rho$$

$$h = 0,003 \text{ м}, \rho^{\text{ПП}} = 910 \text{ кг/м}^3, w = 0,80 \text{ м}$$

$$X_{\text{лист}} = 0,003 \text{ м} \cdot 0,80 \text{ м} \cdot 34,84 \text{ м} \cdot 910 \text{ кг/м}^3 = 76,09 \text{ кг}$$

9) Суммарная масса бракованных участков ленты полимера:

$$X_{\text{брак}} = h \cdot w \cdot l_{\text{брак}} \cdot \rho$$

$$h = 0,003 \text{ м}, w = 0,80 \text{ м}, l_{\text{брак}} = 1 \text{ м}, \rho^{\text{ПП}} = 910 \text{ кг/м}^3$$

$$X_{\text{брак}} = 0,003 \text{ м} \cdot 0,80 \text{ м} \cdot 1 \text{ м} \cdot 910 \text{ кг/м}^3 = 2,18 \text{ кг}$$

$$10) \text{ Количество обрезков: } X_{\text{обр}} = \beta \cdot (X_{\text{лист}} - X_{\text{брак}}) + X_{\text{брак}}$$

$$\beta = 0,56, X_{\text{лист}} = 76,09 \text{ кг}, X_{\text{брак}} = 2,18 \text{ кг}$$

$$X_{\text{обр}} = 0,56 \cdot (76,09 \text{ кг} - 2,18 \text{ кг}) + 2,18 \text{ кг} = 43,44 \text{ кг}$$

$$11) \text{ Масса листа полимера с учетом обрезков: } X_{\text{лист}} = K \cdot M + X_{\text{обр}}$$

$$K = 3000 \text{ шт}, M = 0,0137 \text{ кг}, X_{\text{обр}} = 43,44 \text{ кг}$$

$$X_{\text{лист}} = 3000 \cdot 0,0137 \text{ кг} + 43,44 \text{ кг} = 84,59 \text{ кг}$$

Далее необходимо рассчитать время экструзии, необходимое для выпуска листа из ПП в количестве $X_{\text{лист}}^{\text{ПП}} = 84,59 \text{ кг}$. Расчёт проводится аналогично расчёту, приведённому выше на с. 83.

Расчёт времени экструзии для листа из ПП, необходимого для изготовления крышек:

$$1) \text{ Длина заказанного листа полимера: } l = \frac{X_{\text{лист}}}{h \cdot w \cdot \rho}$$

$$X_{\text{лист}}^{\text{ПП}} = 84,59 \text{ кг}, h = 0,003 \text{ м}, w = 0,8 \text{ м}, \rho^{\text{ПП}} = 910 \text{ кг/м}^3$$

$$l = \frac{84,59 \text{ кг}}{0,003 \text{ м} \cdot 0,8 \text{ м} \cdot 910 \text{ кг/м}^3} = 38,73 \text{ м}$$

2) Расчёт кратности выпуска:

$$a = \text{Int} \left(\frac{w_{\text{экстр}} - 2w_{\text{обр}}^{\min}}{w} \right) \quad c = \begin{cases} 3 & \text{если } a > 3 \\ a & \text{если } a \leq 3 \end{cases}$$

$$w_{\text{экстр}} = 0,85 \text{ м}, w_{\text{обр}}^{\min} = 0,02 \text{ м}, w = 0,8 \text{ м}$$

$$a = \text{Int} \left(\frac{0,85 \text{ м} - 2 \cdot 0,02 \text{ м}}{0,8 \text{ м}} \right) = 1 \quad c = 1$$

3) Время экструзии:

$$t = \frac{\frac{l}{c} + l_{\text{брак}}}{v}$$

$$l_{\text{брак}} = 5 \text{ м}, \quad v = 0,1 \text{ м/с}$$

$$t = \frac{\frac{38,73 \text{ м}}{1} + 5 \text{ м}}{0,1 \text{ м/с}} = 437,30 \text{ с} = 7,29 \text{ мин}$$

Расчёт времени вырубки и количества полимера для крышек из ПС:

1) Количество крышек, которое необходимо изготовить: $K = 2000$ шт

2) Количество циклов формования:

$$c = \text{Int} \left(\frac{K}{K_l \cdot K_w} + 0,5 \right)$$

$$K_l = 4 \text{ шт}, \quad K_w = 8 \text{ шт}$$

$$c = \text{Int} \left(\frac{2000 \text{ шт}}{4 \text{ шт} \cdot 8 \text{ шт}} + 0,5 \right) = 63$$

3) Время вырубки: $t = \frac{c}{v}$

$$v = 12 \text{ циклов/мин}$$

$$t = \frac{63}{12 \text{ циклов/мин}} = 5,25 \text{ мин}$$

4) Масса одного изделия:

$$M = h\rho \frac{\pi d^2}{4}$$

$$h = 0,003 \text{ м}, \quad \rho^{\text{ПС}} = 1050 \text{ кг/м}^3, \quad d = 0,08 \text{ м}$$

$$M = 0,003 \text{ м} \cdot 1050 \text{ кг/м}^3 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,08^2 \text{ м}^2}{4} = 0,0158 \text{ кг}$$

5) Коэффициент использования рабочей поверхности полимера:

$$\beta_{\text{раб}} = \frac{\pi d^2}{4ab}$$

$$a = 0,09 \text{ м}, b = 0,09 \text{ м}, d = 0,08 \text{ м}$$

$$\beta_{\text{раб}} = \frac{3,14 \cdot 0,08^2 \text{ м}^2}{4 \cdot 0,09 \text{ м} \cdot 0,09 \text{ м}} = 0,62$$

6) Коэффициент использования всего листа: $\beta = \beta_{\text{раб}} \frac{w_{\text{раб}}}{w}$

$$w_{\text{раб}} = 0,72 \text{ м}, w = 0,80 \text{ м}$$

$$\beta = 0,62 \cdot \frac{0,72 \text{ м}}{0,80 \text{ м}} = 0,56$$

7) Длина ленты полимера: $l = a \cdot K_l \cdot c + l_{\text{брак}}$

$$l_{\text{брак}} = 1 \text{ м}, K_l = 4 \text{ шт}, c = 63, a = 0,09 \text{ м}$$

$$l = 0,09 \text{ м} \cdot 4 \cdot 63 + 1 \text{ м} = 23,68 \text{ м}$$

8) Масса ленты полимера: $X_{\text{лист}} = h \cdot w \cdot l \cdot \rho$

$$h = 0,003 \text{ м}, \rho^{\text{ПС}} = 1050 \text{ кг/м}^3, w = 0,80 \text{ м}$$

$$X_{\text{лист}} = 0,003 \text{ м} \cdot 0,80 \text{ м} \cdot 23,68 \text{ м} \cdot 1050 \text{ кг/м}^3 = 59,67 \text{ кг}$$

9) Суммарная масса бракованных участков ленты полимера:

$$X_{\text{брак}} = h \cdot w \cdot l_{\text{брак}} \cdot \rho$$

$$h = 0,003 \text{ м}, w = 0,80 \text{ м}, l_{\text{брак}} = 1 \text{ м}, \rho^{\text{ПС}} = 1050 \text{ кг/м}^3$$

$$X_{\text{брак}} = 0,003 \text{ м} \cdot 0,80 \text{ м} \cdot 1 \text{ м} \cdot 1050 \text{ кг/м}^3 = 2,52 \text{ кг}$$

10) Количество обрезков: $X_{\text{обр}} = \beta \cdot (X_{\text{лист}} - X_{\text{брак}}) + X_{\text{брак}}$

$$\beta = 0,56, X_{\text{лист}} = 59,67 \text{ кг}, X_{\text{брак}} = 2,52 \text{ кг}$$

$$X_{\text{обр}} = 0,56 \cdot (59,67 \text{ кг} - 2,52 \text{ кг}) + 2,52 \text{ кг} = 34,42 \text{ кг}$$

11) Масса листа полимера с учетом обрезков: $X_{\text{лист}} = K \cdot M + X_{\text{обр}}$

$$K = 2000 \text{ шт}, M = 0,0158 \text{ кг}, X_{\text{обр}} = 34,42 \text{ кг}$$

$$X_{\text{лист}} = 2000 \cdot 0,0158 \text{ кг} + 34,42 \text{ кг} = 66,08 \text{ кг}$$

Далее необходимо рассчитать время экструзии, необходимое для выпуска листа из ПС в количестве $X_{\text{лист}}^{\text{ПС}} = 66,08 \text{ кг}$. Расчёт проводится

аналогично расчёту, приведённому выше на с. 84.

Расчёт времени экструзии для листа из ПС, необходимого для изготовления крышек:

11) Длина заказанного листа полимера: $l = \frac{X_{\text{лист}}}{h \cdot w \cdot \rho}$

$$X_{\text{лист}}^{\text{ПП}} = 66,08 \text{ кг}, h = 0,003 \text{ м}, w = 0,8 \text{ м}, \rho^{\text{ПП}} = 1050 \text{ кг/м}^3$$

$$l = \frac{66,08 \text{ кг}}{0,003 \text{ м} \cdot 0,8 \text{ м} \cdot 1050 \text{ кг/м}^3} = 26,22 \text{ м}$$

2) Расчёт кратности выпуска:

$$a = \text{Int} \left(\frac{w_{\text{экстр}} - 2w_{\text{обр}}^{\min}}{w} \right) \quad c = \begin{cases} 3 & \text{если } a > 3 \\ a & \text{если } a \leq 3 \end{cases}$$

$$w_{\text{экстр}} = 0,85 \text{ м}, w_{\text{обр}}^{\min} = 0,02 \text{ м}, w = 0,8 \text{ м}$$

$$a = \text{Int} \left(\frac{0,85 \text{ м} - 2 \cdot 0,02 \text{ м}}{0,8 \text{ м}} \right) = 1 \quad c = 1$$

3) Время экструзии:

$$t = \frac{\frac{l}{c} + l_{\text{брак}}}{v}$$

$$l_{\text{брак}} = 5 \text{ м}, v = 0,1 \text{ м/с}$$

$$t = \frac{\frac{26,22 \text{ м}}{1} + 5 \text{ м}}{0,1 \text{ м/с}} = 312,20 \text{ с} = 5,20 \text{ мин}$$

Расчёт времени всех стадий для изготовления стаканов

Расчёт времени вытяжки и количества полимера для стаканов из ПП:

1) Количество стаканов, которое необходимо изготовить:

$$K = 5000 \text{ шт}$$

2) Количество циклов формования:

$$c = \text{Int}\left(\frac{K}{K_l \cdot K_w} + 0,5\right)$$

$$K_l = 1 \text{ шт}, K_w = 6 \text{ шт}$$

$$c = \text{Int}\left(\frac{5000 \text{ шт}}{1 \text{ шт} \cdot 6 \text{ шт}} + 0,5\right) = 834$$

$$3) \text{ Время вырубki: } t = \frac{c}{v}$$

$$v = 12 \text{ циклов/мин}$$

$$t = \frac{834}{12 \text{ циклов/мин}} = 69,50 \text{ мин}$$

4) Масса одного изделия:

$$M = h\rho \frac{\pi d^2}{4}$$

$$h = 0,005 \text{ м}, \rho^{\text{ПП}} = 910 \text{ кг/м}^3, d = 0,1 \text{ м}$$

$$M = 0,005 \text{ м} \cdot 910 \text{ кг/м}^3 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,1^2 \text{ м}^2}{4} = 0,0357 \text{ кг}$$

5) Коэффициент использования рабочей поверхности полимера:

$$\beta_{\text{раб}} = \frac{\pi d^2}{4ab}$$

$$a = 0,12 \text{ м}, b = 0,12 \text{ м}, d = 0,1 \text{ м}$$

$$\beta_{\text{раб}} = \frac{3,14 \cdot 0,1^2 \text{ м}^2}{4 \cdot 0,12 \text{ м} \cdot 0,12 \text{ м}} = 0,55$$

$$6) \text{ Коэффициент использования всего листа: } \beta = \beta_{\text{раб}} \frac{w_{\text{раб}}}{w}$$

$$w_{\text{раб}} = 0,72 \text{ м}, w = 0,80 \text{ м}$$

$$\beta = 0,55 \cdot \frac{0,72 \text{ м}}{0,80 \text{ м}} = 0,49$$

$$7) \text{ Длина ленты полимера: } l = a \cdot K_l \cdot c + l_{\text{брак}}$$

$$l_{\text{брак}} = 1 \text{ м}, K_l = 1 \text{ шт}, c = 834, a = 0,12 \text{ м}$$

$$l = 0,12 \text{ м} \cdot 1 \cdot 834 + 1 \text{ м} = 101,08 \text{ м}$$

$$8) \text{ Масса ленты полимера: } X_{\text{лист}} = h \cdot w \cdot l \cdot \rho$$

$$h = 0,005 \text{ м}, \rho^{\text{ПП}} = 910 \text{ кг/м}^3, w = 0,80 \text{ м}$$

$$X_{\text{лист}} = 0,005 \text{ м} \cdot 0,80 \text{ м} \cdot 101,08 \text{ м} \cdot 910 \text{ кг/м}^3 = 367,93 \text{ кг}$$

9) Суммарная масса бракованных участков ленты полимера:

$$X_{\text{брак}} = h \cdot w \cdot l_{\text{брак}} \cdot \rho$$

$$h = 0,005 \text{ м}, w = 0,80 \text{ м}, l_{\text{брак}} = 1 \text{ м}, \rho^{\text{ПП}} = 910 \text{ кг/м}^3$$

$$X_{\text{брак}} = 0,005 \text{ м} \cdot 0,80 \text{ м} \cdot 1 \text{ м} \cdot 910 \text{ кг/м}^3 = 3,64 \text{ кг}$$

10) Количество обрезков: $X_{\text{обр}} = \beta \cdot (X_{\text{лист}} - X_{\text{брак}}) + X_{\text{брак}}$

$$\beta = 0,49, X_{\text{лист}} = 367,93 \text{ кг}, X_{\text{брак}} = 3,64 \text{ кг}$$

$$X_{\text{обр}} = 0,49 \cdot (367,93 \text{ кг} - 3,64 \text{ кг}) + 3,64 \text{ кг} = 182,37 \text{ кг}$$

11) Масса листа полимера с учетом обрезков: $X_{\text{лист}} = K \cdot M + X_{\text{обр}}$

$$K = 5000 \text{ шт}, M = 0,0357 \text{ кг}, X_{\text{обр}} = 182,37 \text{ кг}$$

$$X_{\text{лист}} = 5000 \cdot 0,0357 \text{ кг} + 182,37 \text{ кг} = 360,96 \text{ кг}$$

Далее необходимо рассчитать время экструзии, необходимое для выпуска листа из ПП в количестве $X_{\text{лист}}^{\text{ПП}} = 360,96 \text{ кг}$. Расчёт проводится аналогично расчёту, приведённому выше на с. 83.

Расчёт времени экструзии для листа из ПП, необходимого для изготовления стаканов:

$$1) \text{ Длина заказанного листа полимера: } l = \frac{X_{\text{лист}}}{h \cdot w \cdot \rho}$$

$$X_{\text{лист}}^{\text{ПП}} = 360,96 \text{ кг}, h = 0,005 \text{ м}, w = 0,8 \text{ м}, \rho^{\text{ПП}} = 910 \text{ кг/м}^3$$

$$l = \frac{360,96 \text{ кг}}{0,005 \text{ м} \cdot 0,8 \text{ м} \cdot 910 \text{ кг/м}^3} = 99,16 \text{ м}$$

2) Расчёт кратности выпуска:

$$a = \text{Int} \left(\frac{w_{\text{экстр}} - 2w_{\text{обр}}^{\min}}{w} \right) \quad c = \begin{cases} 3 & \text{если } a > 3 \\ a & \text{если } a \leq 3 \end{cases}$$

$$w_{\text{экстр}} = 0,85 \text{ м}, w_{\text{обр}}^{\min} = 0,02 \text{ м}, w = 0,8 \text{ м}$$

$$a = \text{Int} \left(\frac{0,85 \text{ м} - 2 \cdot 0,02 \text{ м}}{0,8 \text{ м}} \right) = 1 \quad c = 1$$

3) Время экструзии:

$$t = \frac{\frac{l}{c} + l_{\text{брак}}}{v}$$

$$l_{\text{брак}} = 5 \text{ м}, \quad v = 0,1 \text{ м/с}$$

$$t = \frac{\frac{99,16 \text{ м}}{1} + 5 \text{ м}}{0,1 \text{ м/с}} = 1041,64 \text{ с} = 17,36 \text{ мин}$$

Расчёт времени вытяжки и количества полимера для стаканов из ПС:

1) Количество стаканов, которое необходимо изготовить:

$$K = 6000 \text{ шт}$$

2) Количество циклов формования:

$$c = \text{Int} \left(\frac{K}{K_l \cdot K_w} + 0,5 \right)$$

$$K_l = 1 \text{ шт}, \quad K_w = 6 \text{ шт}$$

$$c = \text{Int} \left(\frac{6000 \text{ шт}}{1 \text{ шт} \cdot 6 \text{ шт}} + 0,5 \right) = 1001$$

3) Время вырубki: $t = \frac{c}{v}$

$$v = 12 \text{ циклов/мин}$$

$$t = \frac{1001}{12 \text{ циклов/мин}} = 83,42 \text{ мин}$$

4) Масса одного изделия:

$$M = h\rho \frac{\pi d^2}{4}$$

$$h = 0,005 \text{ м}, \quad \rho^{\text{ПС}} = 1050 \text{ кг/м}^3, \quad d = 0,1 \text{ м}$$

$$M = 0,005 \text{ м} \cdot 1050 \text{ кг/м}^3 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,1^2 \text{ м}^2}{4} = 0,0412 \text{ кг}$$

5) Коэффициент использования рабочей поверхности полимера:

$$\beta_{\text{раб}} = \frac{\pi d^2}{4ab}$$

$$a = 0,12 \text{ м}, b = 0,12 \text{ м}, d = 0,1 \text{ м}$$

$$\beta_{\text{раб}} = \frac{3,14 \cdot 0,1^2 \text{ м}^2}{4 \cdot 0,12 \text{ м} \cdot 0,12 \text{ м}} = 0,55$$

6) Коэффициент использования всего листа: $\beta = \beta_{\text{раб}} \frac{w_{\text{раб}}}{w}$

$$w_{\text{раб}} = 0,72 \text{ м}, w = 0,80 \text{ м}$$

$$\beta = 0,55 \cdot \frac{0,72 \text{ м}}{0,80 \text{ м}} = 0,49$$

7) Длина ленты полимера: $l = a \cdot K_l \cdot c + l_{\text{брак}}$

$$l_{\text{брак}} = 1 \text{ м}, K_l = 1 \text{ шт}, c = 1001, a = 0,12 \text{ м}$$

$$l = 0,12 \text{ м} \cdot 1 \cdot 1001 + 1 \text{ м} = 121,12 \text{ м}$$

8) Масса ленты полимера: $X_{\text{лист}} = h \cdot w \cdot l \cdot \rho$

$$h = 0,005 \text{ м}, \rho^{\text{ПС}} = 1050 \text{ кг/м}^3, w = 0,80 \text{ м}$$

$$X_{\text{лист}} = 0,005 \text{ м} \cdot 0,80 \text{ м} \cdot 121,12 \text{ м} \cdot 1050 \text{ кг/м}^3 = 508,70 \text{ кг}$$

9) Суммарная масса бракованных участков ленты полимера:

$$X_{\text{брак}} = h \cdot w \cdot l_{\text{брак}} \cdot \rho$$

$$h = 0,005 \text{ м}, w = 0,80 \text{ м}, l_{\text{брак}} = 1 \text{ м}, \rho^{\text{ПП}} = 1050 \text{ кг/м}^3$$

$$X_{\text{брак}} = 0,005 \text{ м} \cdot 0,80 \text{ м} \cdot 1 \text{ м} \cdot 1050 \text{ кг/м}^3 = 4,20 \text{ кг}$$

10) Количество обрезков: $X_{\text{обр}} = \beta \cdot (X_{\text{лист}} - X_{\text{брак}}) + X_{\text{брак}}$

$$\beta = 0,49, X_{\text{лист}} = 508,70 \text{ кг}, X_{\text{брак}} = 4,20 \text{ кг}$$

$$X_{\text{обр}} = 0,49 \cdot (508,70 \text{ кг} - 4,20 \text{ кг}) + 4,20 \text{ кг} = 251,72 \text{ кг}$$

11) Масса листа полимера с учетом обрезков: $X_{\text{лист}} = K \cdot M + X_{\text{обр}}$

$$K = 6000 \text{ шт}, M = 0,0412 \text{ кг}, X_{\text{обр}} = 251,72 \text{ кг}$$

$$X_{\text{лист}} = 6000 \cdot 0,0412 \text{ кг} + 251,72 \text{ кг} = 499,00 \text{ кг}$$

Далее необходимо рассчитать время экструзии, необходимое для

выпуска листа из ПС в количестве $X_{\text{лист}}^{\text{ПС}} = 499,00$ кг. Расчёт проводится аналогично расчёту, приведённому выше на с. 84.

Расчёт времени экструзии для листа из ПС, необходимого для изготовления стаканов:

$$1) \text{ Длина заказанного листа полимера: } l = \frac{X_{\text{лист}}}{h \cdot w \cdot \rho}$$

$$X_{\text{лист}}^{\text{ПС}} = 499,00 \text{ кг, } h = 0,005 \text{ м, } w = 0,8 \text{ м, } \rho^{\text{ПС}} = 1050 \text{ кг/м}^3$$

$$l = \frac{499,00 \text{ кг}}{0,005 \text{ м} \cdot 0,8 \text{ м} \cdot 1050 \text{ кг/м}^3} = 118,81 \text{ м}$$

2) Расчёт кратности выпуска:

$$a = \text{Int} \left(\frac{w_{\text{экстр}} - 2w_{\text{обр}}^{\min}}{w} \right) \quad c = \begin{cases} 3 & \text{если } a > 3 \\ a & \text{если } a \leq 3 \end{cases}$$

$$w_{\text{экстр}} = 0,85 \text{ м, } w_{\text{обр}}^{\min} = 0,02 \text{ м, } w = 0,8 \text{ м}$$

$$a = \text{Int} \left(\frac{0,85 \text{ м} - 2 \cdot 0,02 \text{ м}}{0,8 \text{ м}} \right) = 1 \quad c = 1$$

3) Время экструзии:

$$t = \frac{\frac{l}{c} + l_{\text{брак}}}{v}$$

$$l_{\text{брак}} = 5 \text{ м, } v = 0,1 \text{ м/с}$$

$$t = \frac{\frac{118,81 \text{ м}}{1} + 5 \text{ м}}{0,1 \text{ м/с}} = 1238,09 \text{ с} = 20,63 \text{ мин}$$

Расчёт времени всех стадий для изготовления крышек с рисунком

Расчёт времени вырубki и количества полимера для крышек из ПП:

1) Только для крышек с рисунком необходим запас по браку.

Количество крышек, которые необходимо изготовить:

$$K = K_{\text{вых}} + K_{\text{брак}}$$

$$K = 3000 \text{ шт}, K_{\text{брак}} = 40 \text{ шт}$$

$$K = K_{\text{вых}} + K_{\text{брак}} = 3000 \text{ шт} + 40 \text{ шт} = 3040 \text{ шт}$$

2) Количество циклов формования:

$$c = \text{Int}\left(\frac{K}{K_l \cdot K_w} + 0,5\right)$$

$$K_l = 4 \text{ шт}, K_w = 8 \text{ шт}$$

$$c = \text{Int}\left(\frac{3040 \text{ шт}}{4 \text{ шт} \cdot 8 \text{ шт}} + 0,5\right) = 96$$

3) Время вырубki: $t = \frac{c}{v}$

$$v = 12 \text{ циклов/мин}$$

$$t = \frac{96}{12 \text{ циклов/мин}} = 8 \text{ мин}$$

4) Масса одного изделия:

$$M = h\rho \frac{\pi d^2}{4}$$

$$h = 0,003 \text{ м}, \rho^{\text{ПП}} = 910 \text{ кг/м}^3, d = 0,08 \text{ м}$$

$$M = 0,003 \text{ м} \cdot 910 \text{ кг/м}^3 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,08^2 \text{ м}^2}{4} = 0,0137 \text{ кг}$$

5) Коэффициент использования рабочей поверхности полимера:

$$\beta_{\text{раб}} = \frac{\pi d^2}{4ab}$$

$$a = 0,09 \text{ м}, b = 0,09 \text{ м}, d = 0,08 \text{ м}$$

$$\beta_{\text{раб}} = \frac{3,14 \cdot 0,08^2 \text{ м}^2}{4 \cdot 0,09 \text{ м} \cdot 0,09 \text{ м}} = 0,62$$

6) Коэффициент использования всего листа: $\beta = \beta_{\text{раб}} \frac{w_{\text{раб}}}{w}$

$$w_{\text{раб}} = 0,72 \text{ м}, w = 0,80 \text{ м}$$

$$\beta = 0,62 \cdot \frac{0,72 \text{ м}}{0,80 \text{ м}} = 0,56$$

7) Длина ленты полимера: $l = a \cdot K_l \cdot c + l_{\text{брак}}$

$$l_{\text{брак}} = 1 \text{ м}, K_l = 4 \text{ шт}, c = 96, a = 0,09 \text{ м}$$

$$l = 0,09 \cdot \text{м} \cdot 4 \cdot 96 + 1 \text{ м} = 35,56 \text{ м}$$

$$8) \text{ Масса ленты полимера: } X_{\text{лист}} = h \cdot w \cdot l \cdot \rho$$

$$h = 0,003 \text{ м}, \rho^{\text{ПП}} = 910 \text{ кг/м}^3, w = 0,80 \text{ м}$$

$$X_{\text{лист}} = 0,003 \text{ м} \cdot 0,80 \text{ м} \cdot 35,56 \text{ м} \cdot 910 \text{ кг/м}^3 = 77,66 \text{ кг}$$

$$9) \text{ Суммарная масса бракованных участков ленты полимера:}$$

$$X_{\text{брак}} = h \cdot w \cdot l_{\text{брак}} \cdot \rho$$

$$h = 0,003 \text{ м}, w = 0,80 \text{ м}, l_{\text{брак}} = 1 \text{ м}, \rho^{\text{ПП}} = 910 \text{ кг/м}^3$$

$$X_{\text{брак}} = 0,003 \text{ м} \cdot 0,80 \text{ м} \cdot 1 \text{ м} \cdot 910 \text{ кг/м}^3 = 2,18 \text{ кг}$$

$$10) \text{ Количество обрезков: } X_{\text{обр}} = \beta \cdot (X_{\text{лист}} - X_{\text{брак}}) + X_{\text{брак}}$$

$$\beta = 0,56, X_{\text{лист}} = 77,66 \text{ кг}, X_{\text{брак}} = 2,18 \text{ кг}$$

$$X_{\text{обр}} = 0,56 \cdot (77,66 \text{ кг} - 2,18 \text{ кг}) + 2,18 \text{ кг} = 44,32 \text{ кг}$$

$$11) \text{ Масса листа полимера с учетом обрезков: } X_{\text{лист}} = K \cdot M + X_{\text{обр}}$$

$$K = 3040 \text{ шт}, M = 0,0137 \text{ кг}, X_{\text{обр}} = 44,32 \text{ кг}$$

$$X_{\text{лист}} = 3040 \cdot 0,0137 \text{ кг} + 44,32 \text{ кг} = 86,01 \text{ кг}$$

Далее необходимо рассчитать время экструзии, необходимое для выпуска листа из ПП в количестве $X_{\text{лист}}^{\text{ПП}} = 86,01 \text{ кг}$. Расчёт проводится аналогично расчёту, приведённому выше на стр. 83.

Расчёт времени экструзии для листа из ПП, необходимого для изготовления крышек:

$$1) \text{ Длина заказанного листа полимера: } l = \frac{X_{\text{лист}}}{h \cdot w \cdot \rho}$$

$$X_{\text{лист}}^{\text{ПП}} = 86,01 \text{ кг}, h = 0,003 \text{ м}, w = 0,8 \text{ м}, \rho^{\text{ПП}} = 910 \text{ кг/м}^3$$

$$l = \frac{86,01 \text{ кг}}{0,003 \text{ м} \cdot 0,8 \text{ м} \cdot 910 \text{ кг/м}^3} = 39,38 \text{ м}$$

$$2) \text{ Расчёт кратности выпуска:}$$

$$a = \text{Int} \left(\frac{w_{\text{экстр}} - 2w_{\text{обр}}^{\min}}{w} \right) \quad c = \begin{cases} 3 & \text{если } a > 3 \\ a & \text{если } a \leq 3 \end{cases}$$

$$w_{\text{экстр}} = 0,85 \text{ м}, \quad w_{\text{обр}}^{\min} = 0,02 \text{ м}, \quad w = 0,8 \text{ м}$$

$$a = \text{Int} \left(\frac{0,85 \text{ м} - 2 \cdot 0,02 \text{ м}}{0,8 \text{ м}} \right) = 1 \quad c = 1$$

3) Время экструзии:

$$t = \frac{\frac{l}{c} + l_{\text{брак}}}{v}$$

$$l_{\text{брак}} = 5 \text{ м}, \quad v = 0,1 \text{ м/с}$$

$$t = \frac{\frac{39,38 \text{ м}}{1} + 5 \text{ м}}{0,1 \text{ м/с}} = 443,83 \text{ с} = 7,40 \text{ мин}$$

Расчёт времени покраски крышек из ПП:

1) Количество циклов аппарата покраски:

$$c = \text{Round} \left(\frac{K}{K_w^{\text{крас}}} + 0,5 \right)$$

$$K_w^{\text{крас}} = 4 \text{ шт}, \quad K = 3040 \text{ шт}$$

$$c = \text{Int} \left(\frac{3040}{4} + 0,5 \right) = 761$$

2) Время использования аппарата покраски:

$$t = \frac{c}{v_{\text{крас}}}$$

$$v_{\text{крас}} = 100 \text{ циклов/мин}$$

$$t = \frac{761}{100 \text{ циклов/мин}} = 7,61 \text{ мин}$$

Расчёт времени вырубки и количества полимера для крышек из ПС:

1) Количество крышек, которые необходимо изготовить:

$$K = K_{\text{вых}} + K_{\text{брак}}$$

$$K = 2000 \text{ шт}, K_{\text{брак}} = 40 \text{ шт}$$

$$K = K_{\text{вых}} + K_{\text{брак}} = 2000 \text{ шт} + 40 \text{ шт} = 2040 \text{ шт}$$

2) Количество циклов формования:

$$c = \text{Int} \left(\frac{K}{K_l \cdot K_w} + 0,5 \right)$$

$$K_l = 4 \text{ шт}, K_w = 8 \text{ шт}$$

$$c = \text{Int} \left(\frac{2040 \text{ шт}}{4 \text{ шт} \cdot 8 \text{ шт}} + 0,5 \right) = 64$$

3) Время вырубки: $t = \frac{c}{v}$

$$v = 12 \text{ циклов/мин}$$

$$t = \frac{64}{12 \text{ циклов/мин}} = 5,33 \text{ мин}$$

4) Масса одного изделия:

$$M = h\rho \frac{\pi d^2}{4}$$

$$h = 0,003 \text{ м}, \rho^{\text{ПС}} = 1050 \text{ кг/м}^3, d = 0,08 \text{ м}$$

$$M = 0,003 \text{ м} \cdot 1050 \text{ кг/м}^3 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,08^2 \text{ м}^2}{4} = 0,0158 \text{ кг}$$

5) Коэффициент использования рабочей поверхности полимера:

$$\beta_{\text{раб}} = \frac{\pi d^2}{4ab}$$

$$a = 0,09 \text{ м}, b = 0,09 \text{ м}, d = 0,08 \text{ м}$$

$$\beta_{\text{раб}} = \frac{3,14 \cdot 0,08^2 \text{ м}^2}{4 \cdot 0,09 \text{ м} \cdot 0,09 \text{ м}} = 0,62$$

6) Коэффициент использования всего листа:

$$\beta = \beta_{\text{раб}} \frac{w_{\text{раб}}}{w}$$

$$w_{\text{раб}} = 0,72 \text{ м}, w = 0,80 \text{ м}$$

$$\beta = 0,62 \cdot \frac{0,72 \text{ м}}{0,80 \text{ м}} = 0,56$$

7) Длина ленты полимера: $l = a \cdot K_l \cdot c + l_{\text{брак}}$

$$l_{\text{брак}} = 1 \text{ м}, K_l = 4 \text{ шт}, c = 64, a = 0,09 \text{ м}$$

$$l = 0,09 \text{ м} \cdot 4 \cdot 64 + 1 \text{ м} = 24,04 \text{ м}$$

8) Масса ленты полимера: $X_{\text{лист}} = h \cdot w \cdot l \cdot \rho$

$$h = 0,003 \text{ м}, \rho^{\text{ПС}} = 1050 \text{ кг/м}^3, w = 0,80 \text{ м}$$

$$X_{\text{лист}} = 0,003 \text{ м} \cdot 0,80 \text{ м} \cdot 24,04 \text{ м} \cdot 1050 \text{ кг/м}^3 = 60,58 \text{ кг}$$

9) Суммарная масса бракованных участков ленты полимера:

$$X_{\text{брак}} = h \cdot w \cdot l_{\text{брак}} \cdot \rho$$

$$h = 0,003 \text{ м}, w = 0,80 \text{ м}, l_{\text{брак}} = 1 \text{ м}, \rho^{\text{ПС}} = 1050 \text{ кг/м}^3$$

$$X_{\text{брак}} = 0,003 \text{ м} \cdot 0,80 \text{ м} \cdot 1 \text{ м} \cdot 1050 \text{ кг/м}^3 = 2,52 \text{ кг}$$

10) Количество обрезков: $X_{\text{обр}} = \beta \cdot (X_{\text{лист}} - X_{\text{брак}}) + X_{\text{брак}}$

$$\beta = 0,56, X_{\text{лист}} = 60,58 \text{ кг}, X_{\text{брак}} = 2,52 \text{ кг}$$

$$X_{\text{обр}} = 0,56 \cdot (60,58 \text{ кг} - 2,52 \text{ кг}) + 2,52 \text{ кг} = 34,93 \text{ кг}$$

11) Масса листа полимера с учетом обрезков: $X_{\text{лист}} = K \cdot M + X_{\text{обр}}$

$$K = 2040 \text{ шт}, M = 0,0158 \text{ кг}, X_{\text{обр}} = 34,93 \text{ кг}$$

$$X_{\text{лист}} = 2040 \cdot 0,0158 \text{ кг} + 34,93 \text{ кг} = 66,58 \text{ кг}$$

Далее необходимо рассчитать время экструзии, необходимое для выпуска листа из ПС в количестве $X_{\text{лист}}^{\text{ПС}} = 66,58 \text{ кг}$. Расчёт проводится аналогично расчёту, приведённому выше на стр. 84.

Расчёт времени экструзии для листа из ПС, необходимого для изготовления крышек:

11) Длина заказанного листа полимера:

$$l = \frac{X_{\text{лист}}}{h \cdot w \cdot \rho}$$

$$X_{\text{лист}}^{\text{ПП}} = 66,58 \text{ кг}, h = 0,003 \text{ м}, w = 0,8 \text{ м}, \rho^{\text{ПС}} = 1050 \text{ кг/м}^3$$

$$l = \frac{66,58 \text{ кг}}{0,003 \text{ м} \cdot 0,8 \text{ м} \cdot 1050 \text{ кг/м}^3} = 26,42 \text{ м}$$

2) Расчёт кратности выпуска:

$$a = \text{Int} \left(\frac{w_{\text{экстр}} - 2w_{\text{обр}}^{\min}}{w} \right) \quad c = \begin{cases} 3 & \text{если } a > 3 \\ a & \text{если } a \leq 3 \end{cases}$$

$$w_{\text{экстр}} = 0,85 \text{ м}, \quad w_{\text{обр}}^{\min} = 0,02 \text{ м}, \quad w = 0,8 \text{ м}$$

$$a = \text{Int} \left(\frac{0,85 \text{ м} - 2 \cdot 0,02 \text{ м}}{0,8 \text{ м}} \right) = 1 \quad c = 1$$

3) Время экструзии:

$$t = \frac{\frac{l}{c} + l_{\text{брак}}}{v}$$

$$l_{\text{брак}} = 5 \text{ м}, \quad v = 0,1 \text{ м/с}$$

$$t = \frac{\frac{26,42 \text{ м}}{1} + 5 \text{ м}}{0,1 \text{ м/с}} = 314,21 \text{ с} = 5,24 \text{ мин}$$

Расчёт времени покраски крышек из ПС:

1) Количество циклов аппарата покраски:

$$c = \text{Int} \left(\frac{K}{K_w^{\text{крас}}} + 0,5 \right)$$

$$K_w^{\text{крас}} = 4 \text{ шт}, \quad K = 2040 \text{ шт}$$

$$c = \text{Int} \left(\frac{2040}{4} + 0,5 \right) = 511$$

2) Время использования аппарата покраски:

$$t = \frac{c}{v_{\text{крас}}}$$

$$v_{\text{крас}} = 100 \text{ циклов/мин}$$

$$t = \frac{511}{100 \text{ циклов/мин}} = 5,11 \text{ мин}$$

Времена стадий для каждого из продуктов, полученные в результате ручного расчёта, представлены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

**Времена стадий для каждого из продуктов, полученные
в результате ручного расчёта – $t_{i,j}$, ч**

i -й продукт	j -я стадия			
	экструзия, мин	вырубка, мин	вытяжка, мин	покраска, мин
1. Лист ПП	47	—	—	—
2. Лист ПС	41	—	—	—
3. Крышки ПП	8	8	—	—
4. Крышки ПС	6	6	—	—
5. Стаканы ПП	18	—	70	—
6. Стаканы ПС	21	—	84	—
7. Крышки ПП с рисунком	8	8	—	8
8. Крышки ПС с рисунком	6	6	—	6

2.4.2. Ручной расчёт оптимального расписания выпуска продуктов методом ветвей и границ и построение дерева варианта решений для работы 2

Для поиска оптимальной последовательности выпуска продуктов из пластических масс используется метод ветвей и границ. Времена переналадок (O_{N_p} , где N_p – номер переналадки) заданы в табл. 2.4, а последовательность элементарных операций для разных типов переналадок и их длительность ($\theta = o_n$, где n – номер операции) представлены в табл. 2.3.

В ручном расчёте принимаются следующие обозначения и допущения:

- номера аппаратов: 1 – экструзия, 2 – вырубка, 3 – вытяжка, 4 – покраска;

- номера продуктов (i): приведены в задании на работу 2;
- время для транспорта сырья от аппарата к аппарату $t_{tr} = 20$ мин;
- в расчёте принимается допущение о том, что при включении любого из остановленных аппаратов их настройки соответствуют параметрам продукции, которую на них собираются выпускать;
- в производстве участвуют два параллельно работающих экструдера, один экструдер работает на выпуск продукции из ПП, другой – из ПС; а на стадиях вырубки, вытяжки и покраски работают по одному аппарату.

1. Рассчитаем время выпуска каждого продукта в отдельности на всех аппаратах.

Продукция из ПП

1) Крышки из ПП с рисунком

Будем считать, что экструдер включён, готов к работе и задержек в поставках сырья нет:

$$T_{7,1} = t_{7,1} = 8 \text{ мин}$$

Далее лист ПП отправляется в аппарат вырубки, который необходимо включить и прогреть:

$$\begin{aligned} T_{7,2} &= \max\{(t_{tr} + T_{7,1}), o_{2.3}\} + (O_{203} - o_{2.3}) + t_{7,2} = \\ &= \max\{(20 + 8), 10\} + (34 - 10) + 8 = 60 \text{ мин} \end{aligned}$$

Изготовленные крышки из ПП отправляются на покраску:

$$T_{7,4} = \max\{(t_{tr} + T_{7,2}), O_{400}\} + t_{7,4} = \max\{(20 + 60), 10\} + 8 = 88 \text{ мин}$$

2) Крышки из ПП

$$T_{3,1} = t_{3,1} = 8 \text{ мин}$$

$$\begin{aligned} T_{3,2} &= \max\{(t_{tr} + T_{3,1}), o_{2.3}\} + (O_{203} - o_{2.3}) + t_{3,2} = \\ &= \max\{(20 + 8), 10\} + (34 - 10) + 8 = 60 \text{ мин} \end{aligned}$$

3) Лист ПП

$$T_{1,1} = t_{1,1} = 47 \text{ мин}$$

4) Стаканы из ПП

$$T_{5,1} = t_{5,1} = 18 \text{ мин}$$

Далее лист ПП отправляется в аппарат вытяжки, который необходимо включить и прогреть:

$$\begin{aligned} T_{5,3} &= \max\{(t_{tr} + T_{5,1}), o_{3.5}\} + (O_{300} - o_{3.5}) + t_{5,3} = \\ &= \max\{(20 + 18), 10\} + (32 - 10) + 70 = 130 \text{ мин} \end{aligned}$$

Продукция из ПС

1) Крышки из ПС с рисунком

Будем считать, что экструдер включён, готов к работе и задержек в поставках сырья нет:

$$T_{8,1} = t_{8,1} = 6 \text{ мин}$$

Далее лист ПС отправляется в аппарат вырубки, который необходимо включить и прогреть:

$$\begin{aligned} T_{8,2} &= \max\{(t_{tr} + T_{8,1}), o_{2.3}\} + (O_{203} - o_{2.3}) + t_{8,2} = \\ &= \max\{(20 + 6), 10\} + (34 - 10) + 6 = 56 \text{ мин} \end{aligned}$$

Изготовленные крышки из ПС отправляются на покраску:

$$T_{8,4} = \max\{(t_{tr} + T_{8,2}), O_{400}\} + t_{8,4} = \max\{(20 + 56), 10\} + 6 = 82 \text{ мин}$$

2) Крышки из ПС

$$T_{4,1} = t_{4,1} = 6 \text{ мин}$$

$$\begin{aligned} T_{4,2} &= \max\{(t_{tr} + T_{4,1}), o_{2.3}\} + (O_{203} - o_{2.3}) + t_{4,2} = \\ &= \max\{(20 + 6), 10\} + (34 - 10) + 6 = 56 \text{ мин} \end{aligned}$$

3) Лист ПС

$$T_{2,1} = t_{2,1} = 41 \text{ мин}$$

4) Стаканы из ПС

$$T_{6,1} = t_{6,1} = 21 \text{ мин}$$

Далее лист ПС отправляется в аппарат вытяжки, который необходимо включить и прогреть:

$$\begin{aligned} T_{6,3} &= \max\{(t_{tr} + T_{6,1}), o_{3.5}\} + (O_{300} - o_{3.5}) + t_{6,3} = \\ &= \max\{(20 + 21), 10\} + (32 - 10) + 84 = 147 \text{ мин} \end{aligned}$$

2. Выбираем наиболее перспективную ветвь. Сравниваем время экструзии для всех продуктов из ПС и ПП.

При выпуске крышек из ПС без рисунка и крышек из ПС с рисунком экструдер, работающий на ПС, освободится раньше, чем при выпуске листа ПС и стаканов из ПС. Выбираем первым продуктом, выпускающимся на экструдере, работающем на ПС, крышки из ПС без рисунка, так как время их выработки меньше, чем время выработки крышек из ПС с рисунком.

Рассуждая таким образом, первым продуктом, выпускающимся на экструдере, работающем на ПП, выберем крышки из ПП без рисунка.

3. Начинаем ветвление от зафиксированного первого продукта в последовательности выпуска. Рассчитаем время выпуска каждого следующего продукта последовательности с учётом уже выпущенного первого продукта.

Для экструдера, работающего на ПС

Первый продукт – крышки из ПС ($T_{4,1} = 6$ мин).

4-8

$$T_{8,1} = (T_{4,1} + O_{108}) + t_{8,1} = (6 + 10) + 6 = 22 \text{ мин}$$

4-6

$$T_{6,1} = (T_{4,1} + O_{109}) + t_{6,1} = (6 + 14) + 21 = 41 \text{ мин}$$

4-2

$$T_{2,1} = (T_{4,1} + O_{109}) + t_{2,1} = (6 + 14) + 41 = 61 \text{ мин}$$

Перспективной ветвью является ветвь 4-8, т.е. второй продукт в последовательности выпуска на экструдере, работающем на ПС – это крышки из ПС с рисунком.

Продолжаем ветвление от зафиксированного второго продукта.

4-8-6

$$T_{6,1} = (T_{8,1} + O_{109}) + t_{6,1} = (22 + 14) + 21 = 57 \text{ мин}$$

4-8-2

$$T_{2,1} = (T_{8,1} + O_{109}) + t_{2,1} = (22 + 14) + 41 = 77 \text{ мин}$$

Перспективной ветвью является ветвь 4-8-6, т.е. третий продукт в последовательности выпуска на экструдере, работающем на ПС – это стаканы из ПС.

Определяем время выпуска последнего четвёртого продукта, листа ПС, на экструдере, работающем на ПС.

4-8-6-2

$$T_{2,1} = (T_{6,1} + O_{108}) + t_{2,1} = (57 + 10) + 41 = 108 \text{ мин.}$$

Для экструдера, работающего на ПП

Первый продукт – крышки ПП ($T_{3,1} = 8$ мин).

3-7

$$T_{7,1} = (T_{3,1} + O_{108}) + t_{7,1} = (8 + 10) + 8 = 26 \text{ мин}$$

3-5

$$T_{5,1} = (T_{3,1} + O_{109}) + t_{5,1} = (8 + 14) + 18 = 40 \text{ мин}$$

3-1

$$T_{1,1} = (T_{3,1} + O_{109}) + t_{1,1} = (8 + 14) + 47 = 69 \text{ мин}$$

Перспективной ветвью является ветвь 3-7, т.е. второй продукт в последовательности выпуска на экструдере, работающем на ПП – это крышки из ПП с рисунком.

Продолжаем ветвление от зафиксированного второго продукта.

3-7-5

$$T_{5,1} = (T_{7,1} + O_{109}) + t_{5,1} = (26 + 14) + 18 = 58 \text{ мин}$$

3-7-1

$$T_{1,1} = (T_{7,1} + O_{109}) + t_{1,1} = (26 + 14) + 47 = 87 \text{ мин}$$

Перспективной ветвью является ветвь 3-7-5, т.е. третий продукт в последовательности выпуска на экструдере, работающем на ПП – это стаканы из ПП.

Определяем время выпуска последнего четвертого продукта, листа ПП, на экструдере, работающем на ПП.

3-7-5-1

$$T_{1,1} = (T_{5,1} + O_{108}) + t_{1,1} = (58 + 10) + 47 = 115 \text{ мин.}$$

Аппарат вырубки

Определим последовательность выпуска продуктов на аппарате вырубки. Поскольку лист ПС для крышек из ПС с рисунком и без рисунка выработается на экструдере быстрее, чем лист ПП для крышек из ПП с рисунком и без рисунка, выберем крышки из ПС без рисунка первым продуктом, который будет произведен на аппарате вырубки, $T_{4,2} = 56$ мин.

Начинаем ветвление.

4-8

$$\begin{aligned} T_{8,2} &= \max\{(T_{8,1} + t_{tr}), (T_{4,2} + O_{207})\} + t_{8,2} = \\ &= \max\{(22 + 20), (56 + 25)\} + 6 = 87 \text{ мин} \end{aligned}$$

4-3

$$\begin{aligned} T_{3,2} &= \max\{(T_{3,1} + t_{tr}), (T_{4,2} + O_{207})\} + t_{3,2} = \\ &= \max\{(8 + 20), (56 + 25)\} + 8 = 89 \text{ мин} \end{aligned}$$

4-7

$$\begin{aligned} T_{7,2} &= \max\{(T_{7,1} + t_{tr}), (T_{4,2} + O_{207})\} + t_{7,2} = \\ &= \max\{(26 + 20), (56 + 25)\} + 8 = 89 \text{ мин} \end{aligned}$$

Вторым продуктом, производимым на аппарате вырубки, выбираем крышки из ПС с рисунком.

Продолжаем ветвление.

4-8-3

$$T_{3,2} = \max\{(T_{3,1} + t_{tr}), (T_{8,2} + O_{207})\} + t_{3,2} = \\ = \max\{(8 + 20), (87 + 25)\} + 8 = 120 \text{ мин}$$

4-8-7

$$T_{7,2} = \max\{(T_{7,1} + t_{tr}), (T_{8,2} + O_{207})\} + t_{7,2} = \\ = \max\{(26 + 20), (87 + 25)\} + 8 = 120 \text{ мин}$$

Времена вырубки для крышек из ПП без рисунка и с рисунком одинаковы, выберем третьим продуктом на аппарате вырубки крышки из ПП без рисунка.

Определим время вырубки для последнего продукта в последовательности выпуска на данном аппарате.

4-8-3-7

$$T_{7,2} = \max\{(T_{7,1} + t_{tr}), (T_{3,2} + O_{207})\} + t_{7,2} = \\ = \max\{(26 + 20), (120 + 25)\} + 8 = 153 \text{ мин.}$$

Аппарат вытяжки

Теперь определим последовательность выпуска продуктов на аппарате вытяжки. Поскольку лист ПС для стаканов из ПС выработается на экструдере быстрее ($T_{6,1} = 57$ мин), чем лист ПП для стаканов из ПП ($T_{5,1} = 58$ мин), выберем стаканы из ПС первым продуктом, который будет произведен на аппарате вытяжки.

Рассчитаем время вытяжки стаканов из ПС.

$$T_{6,3} = \max\{(T_{6,1} + t_{tr}), o_{3.5}\} + (O_{300} - o_{3.5}) + t_{6,3} = \\ = \max\{(57 + 20), 10\} + (32 - 10) + 84 = 183 \text{ мин}$$

Рассчитаем время вытяжки для стаканов из ПП.

6-5

$$T_{5,3} = \max\{(T_{5,1} + t_{tr}), (T_{6,3} + O_{304})\} + t_{5,3} = \\ = \max\{(58 + 20), (183 + 23)\} + 70 = 276 \text{ мин.}$$

Аппарат покраски

Определим последовательность выпуска продуктов на аппарате покраски. Первым продуктом, готовым к покраске, окажутся крышки из

ПС с рисунком, так как их время вырубki ($T_{8,2} = 87$ мин) меньше, чем время вырубki крышек из ПП с рисунком ($T_{7,2} = 153$ мин). В данном расчёте номер клише с рисунком является одинаковым для крышек из ПП и ПС.

Рассчитаем время покраски крышек из ПС с рисунком.

$$T_{8,4} = \max\{(T_{8,2} + t_{tr}), O_{400}\} + t_{8,4} = \max\{(87 + 20), 10\} + 6 = 113 \text{ мин.}$$

Рассчитаем время покраски крышек из ПП с рисунком.

8-7

$$T_{7,4} = \max\{(T_{7,2} + t_{tr}), (T_{8,4} + O_{402})\} + t_{7,4} = \\ = \max\{(153 + 20), (113 + 0)\} + 8 = 181 \text{ мин.}$$

Подведем итоги ручного расчёта оптимального расписания выпуска продукции из пластических масс.

Экструдер, работающий на ПС: $4 \rightarrow 8 \rightarrow 6 \rightarrow 2$

Крышки из ПС $\rightarrow$ Крышки из ПС с рисунком $\rightarrow$ Стаканы из ПС $\rightarrow$ Лист ПС

6 мин $\rightarrow$ 22 мин $\rightarrow$ 57 мин $\rightarrow$ 108 мин

Экструдер, работающий на ПП: $3 \rightarrow 7 \rightarrow 5 \rightarrow 1$

Крышки из ПП $\rightarrow$ Крышки из ПП с рисунком $\rightarrow$ Стаканы из ПП $\rightarrow$ Лист ПП

8 мин $\rightarrow$ 26 мин $\rightarrow$ 58 мин $\rightarrow$ 115 мин

Аппарат вырубki: $4 \rightarrow 8 \rightarrow 3 \rightarrow 7$

Крышки из ПС $\rightarrow$ Крышки из ПС с рисунком $\rightarrow$ Крышки из ПП $\rightarrow$ Крышки из ПП с рисунком

56 мин $\rightarrow$ 87 мин $\rightarrow$ 120 мин $\rightarrow$ 153 мин

Аппарат вытяжки: $6 \rightarrow 5$

Стаканы из ПС $\rightarrow$ Стаканы из ПП

183 мин $\rightarrow$ 276 мин

Аппарат покраски: $8 \rightarrow 7$

Крышки из ПС с рисунком $\rightarrow$ Крышки из ПП с рисунком

113 мин $\rightarrow$ 181 мин

Расчётное время выпуска изделий составит:

Лист ПП {115, 0, 0, 0}

Лист ПС {108, 0, 0, 0}

Крышки из ПП {8, 120, 0, 0}

Крышки из ПС {6, 56, 0, 0}

Стаканы из ПП {58, 0, 276, 0}

Стаканы из ПС {57, 0, 183, 0}

Крышки из ПП с рисунком {26, 153, 0, 181}

Крышки из ПС с рисунком {8, 87, 0, 113}

Общая длительность выпуска продуктов: $T = 276$ мин.

2.4.3. Определение оптимального расписания выпуска продуктов с использованием программы «Расчёт расписания работы оборудования многостадийного производства изделий из пластических масс»

Для выполнения расчёта запускаем файл *Project1.exe*. При запуске программы появляется рабочее окно с вкладкой «Заказы», в котором необходимо задать изделия, которые необходимо изготовить, и их параметры.

1. На первом шаге поочередно вводим все 8 продуктов, которые необходимо произвести по заданию на работу 2, вместе с их характеристиками (рис. 2.16). Из выпадающего списка выбираем тип продукта, а затем вводим его параметры. На рис. 2.17 представлены исходные данные для всех продуктов.

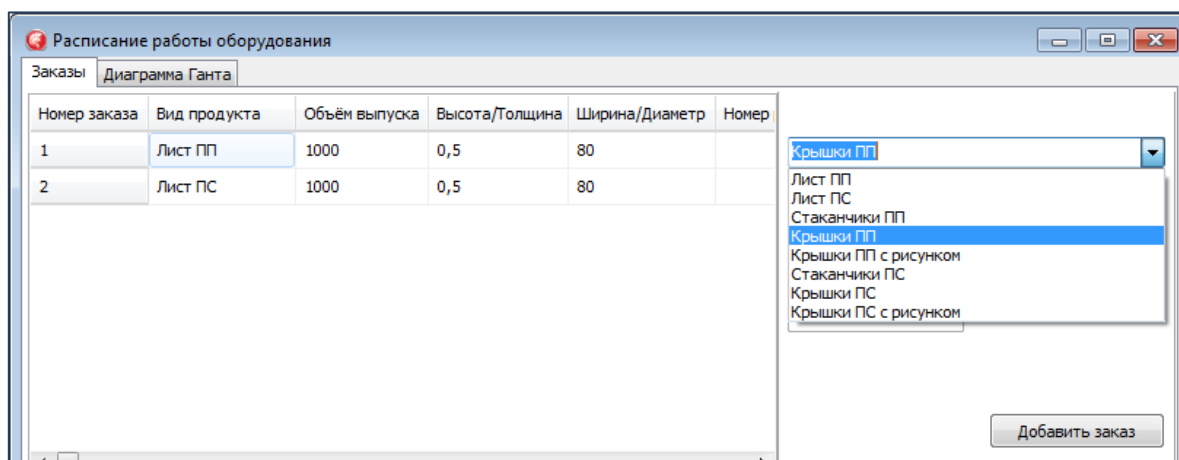


Рис. 2.16. Вкладка «Заказы», ввод данных по заказам на выпуск продуктов

2. На втором шаге нажимаем кнопку «Рассчитать последовательность»

выпуска», появляются результаты промежуточного и конечного расчётов (рис. 2.18).

Расписание работы оборудования

Заказы | Диаграмма Ганта

Номер заказа	Вид продукта	Объём выпуска	Высота/Толщина	Ширина/Диаметр	Номер
1	Лист ПП	1000	0,5	80	
2	Лист ПС	1000	0,5	80	
3	Крышки ПП	3000	0,3	8	
4	Крышки ПС	2000	0,3	8	
5	Стаканчики ПП	5000	0,5	10	
6	Стаканчики ПС	6000	0,5	10	
7	Крышки ПП с рисун	3000	0,3	8	1
8	Крышки ПС с рисун	2000	0,3	8	1

Крышки ПП

К - количество, шт Нн - высота, см

d - диаметр, см

8

Добавить заказ

Open

Номер заказа

Удалить заказ

Расчитать последовательность выпуска

Приветствую!

Рис. 2.17. Вкладка «Заказы», введённые исходные данные для всех продуктов

Расписание работы оборудования

Заказы | Диаграмма Ганта

Номер заказа	Вид продукта	Объём выпуска	Высота/Толщина	Ширина/Диаметр	Номер
1	Лист ПП	1000	0,5	80	
2	Лист ПС	1000	0,5	80	
3	Крышки ПП	3000	0,3	8	
4	Крышки ПС	2000	0,3	8	
5	Стаканчики ПП	5000	0,5	10	
6	Стаканчики ПС	6000	0,5	10	
7	Крышки ПП с рисун	3000	0,3	8	1

Крышки ПП

К - количество, шт Нн - высота, см

d - диаметр, см

8

Добавить заказ

Open

Номер заказа

Удалить заказ

Расчитать последовательность выпуска

Время выполнения первого заказа в последовательности

1: {47, 0, 0, 0} Окончание: 47

2: {41, 0, 0, 0} Окончание: 41

3: {8, 38, 0, 0} Окончание: 38

4: {6, 36, 0, 0} Окончание: 36

5: {18, 0, 100, 0} Окончание: 100

6: {21, 0, 114, 0} Окончание: 114

7: {8, 38, 0, 46} Окончание: 46

8: {6, 36, 0, 42} Окончание: 42

В качестве перспективной выбрана ветвь заказа № 4

4: {6, 36, 0, 0}

Выполним перебор остальных последовательностей

Рис. 2.18. Вкладка «Заказы», результаты расчёта оптимальной последовательности выпуска продуктов

В результате программного расчёта в качестве оптимальной выбрана последовательность заказов: {4, 2, 1, 3, 7, 5, 6, 8}.

Проанализируем полученные результаты. Продукты выпускаются в следующей последовательности:

1) экструзия

– первый экструдер: крышки из ПС (4) → крышки из ПП (3) → крышки из ПС с рисунком (8);

– второй экструдер: лист ПС (2) → крышки из ПП с рисунком (7) → стаканы из ПС (6);

– третий экструдер: лист ПП (1) → стаканы из ПП (5);

2) вырубка

– аппарат вырубки: крышки из ПС (4) → крышки из ПП (3) → крышки из ПП с рисунком (7) → крышки из ПС с рисунком (8);

3) вытяжка

– первый аппарат вытяжки: стаканы из ПП (5);

– второй аппарат вытяжки: стаканы из ПС (6);

4) покраска

– аппарат покраски: → крышки из ПП с рисунком (7) → крышки из ПС с рисунком (8).

Согласно расчётам по программе время выпуска изделий составит, мин:

1) Лист ПП {47, 0, 0, 0}

2) Лист ПС {41, 0, 0, 0}

3) Крышки из ПП {82, 131, 0, 0}

4) Крышки из ПС {6, 36, 0, 0}

5) Стаканы из ПП {133, 0, 203, 0}

6) Стаканы из ПС {206, 0, 290, 0}

7) Крышки из ПП с рисунком {117, 173, 0, 181}

8) Крышки из ПС с рисунком {449, 506, 0, 512}

Общая длительностью выпуска продуктов: $T = 512$ мин.

3. На третьем шаге переходим на вкладку «Диаграмма Гантта» и видим, что для оптимальной последовательности выпуска изделий из пластических масс построена диаграмма Гантта (рис. 2.19).

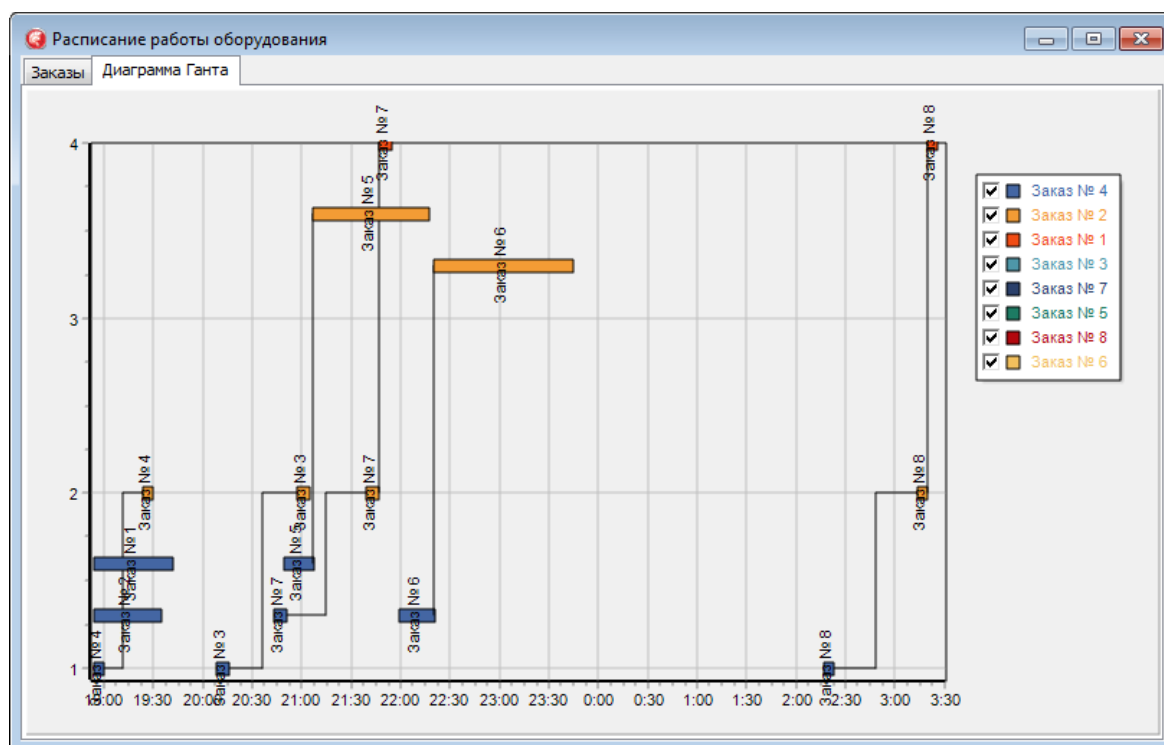


Рис. 2.19. Вкладка «Диаграмма Гантта» для оптимальной последовательности выпуска продуктов

2.4.4. Сравнение результатов ручного и программного расчётов по работе 2

Проанализируем результаты, полученные при ручном расчёте и с помощью программного приложения.

Получить одинаковое время выпуска и одинаковую последовательность выпуска продуктов по результатам двух расчётов мы не могли, так как изначально допущения при ручном расчёте не совпадали с допущениями в машинном расчёте.

В машинном расчёте на стадии экструзии работают три экструдера, которые могут работать и на ПС и на ПП. В ручном расчёте на стадии экструзии параллельно работают два экструдера, один экструдер настроен на выпуск продукции из ПП, другой – на выпуск продукции из ПС. На практике переналадки экструдеров с материала на материал не применяются, так как такая переналадка является очень трудоёмкой и требует значительных временных затрат.

В машинном расчёте на стадии вытяжки работают три параллельных

аппарата, в ручном расчёте – только один аппарат. В реальном производстве три параллельно работающих аппарата запускают только в том случае, если объем выпускаемой продукции достаточно велик, так как экономически нецелесообразно производить очень маленькие партии продукции на параллельных экструдерах, затраты на эксплуатацию трех аппаратов достаточно высоки.

Машинный расчёт показал нам, что даже на трех параллельно работающих экструдерах на разных полимерных материалах и трех аппаратах вытяжки общее время выпуска всех изделий составило 512 мин, тогда как в ручном расчёте всего 181 мин при одинаковых исходных параметрах выпускаемой продукции.

С целью наглядной иллюстрации полученных результатов на рис. 2.20 и 2.21 представлены диаграммы Гантта для оптимальной последовательности выпуска продуктов при ручном и машинном расчётах, соответственно.

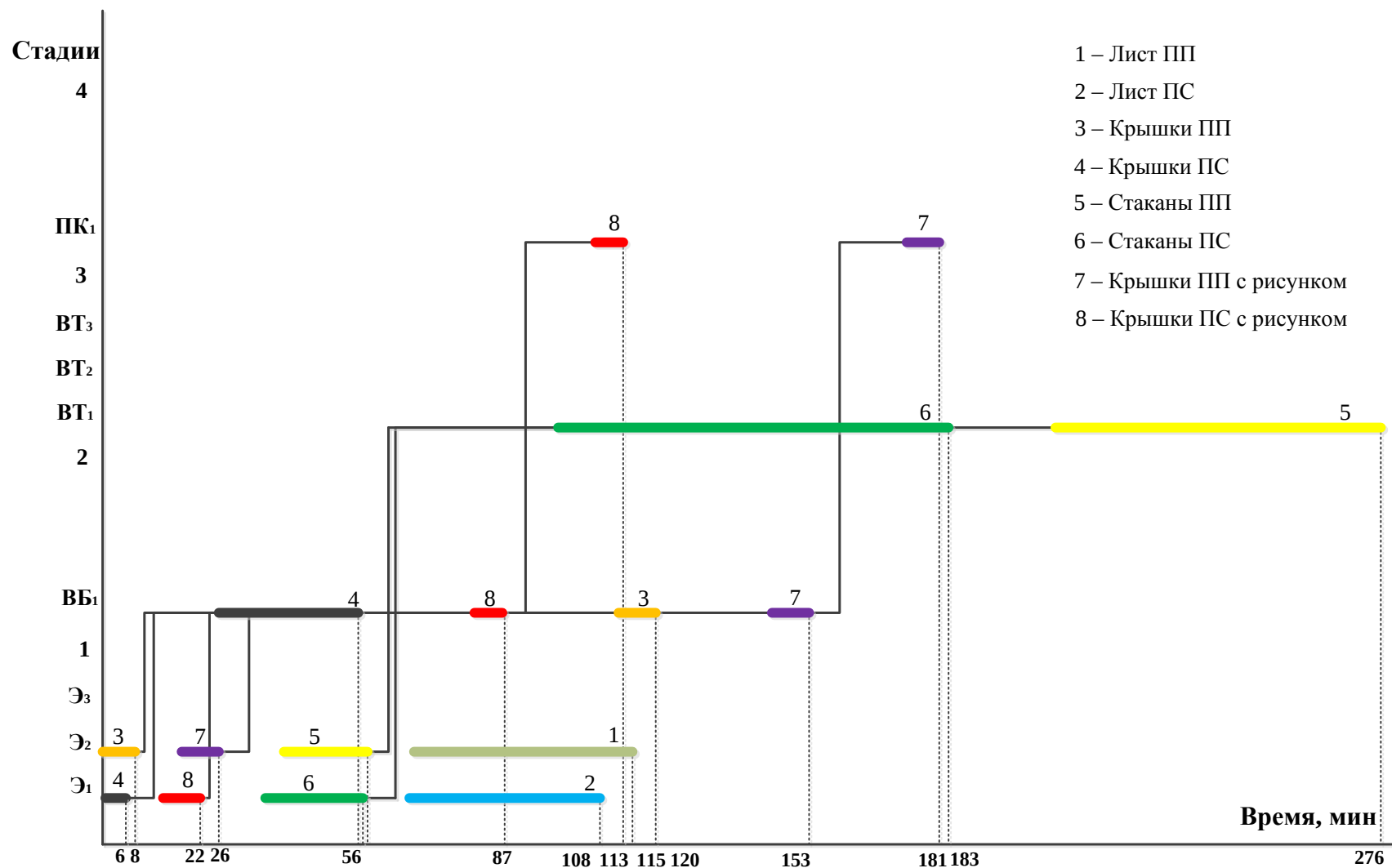


Рис. 2.20. Диаграмма Ганта для оптимальной последовательности выпуска продуктов, полученной при ручном расчёте (Э – экструдер; ВБ – аппарат вырубki (для крышек); ВТ – аппарат вытяжки (для стаканчиков); ПК – аппарат покраски) (стадии производства: 1 – экструзия, 2 – вырубка, 3 – вытяжка, 4 – покраска)

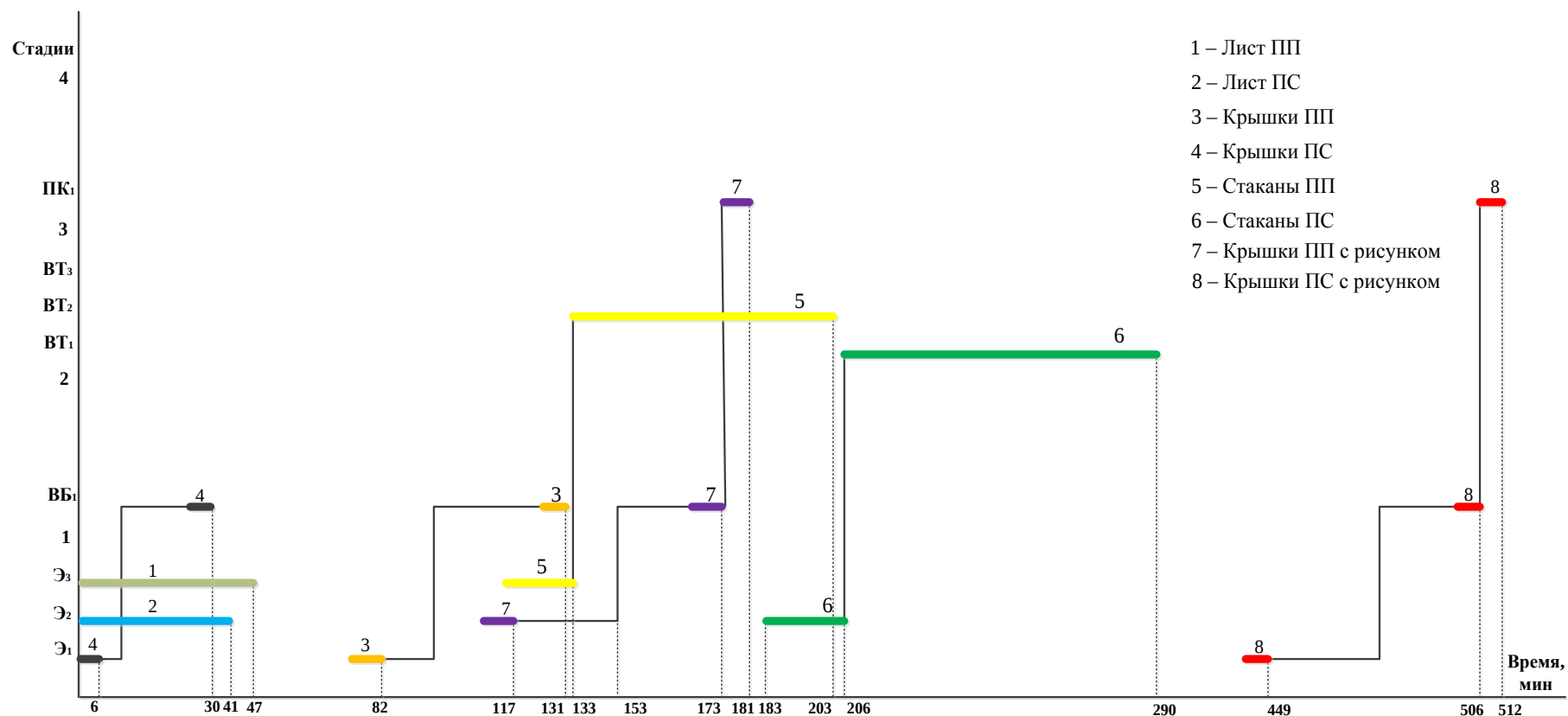


Рис. 2.21. Диаграмма Ганта для оптимальной последовательности выпуска продуктов, полученной при машинном расчёте (Э – экструдер; ВБ – аппарат вырубки (для крышек); ВТ – аппарат вытяжки (для стаканчиков); ПК – аппарат покраски) (стадии производства: 1 – экструзия, 2 – вырубка, 3 – вытяжка, 4 – покраска)

2.5. Требования к отчёту по работе 2

Отчёт по работе должен содержать:

1. Наименование и цель работы.
2. Краткие теоретические положения, касающиеся составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств с последовательными аппаратами:
 - задача Джонсона с m аппаратами;
 - модель с учётом различия моментов поступления исходных материалов в производство и затрат на переналадку аппарата с выпуска одного продукта на другой.
3. Краткие теоретические положения, касающиеся составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств с параллельными аппаратами [4, 5]:
 - модель с идентичными аппаратами;
 - модели с неидентичными аппаратами с учетом затрат на переналадку и серийность выпуска продуктов.
4. Модели для составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств с различными маршрутами выпуска продуктов.
5. Краткий обзор численных методов решения задач теории расписаний (метод локального поиска, метод ветвей и границ, статистический метод локального поиска, метод Монте-Карло).
6. Краткое описание технологического процесса производства изделий из пластических масс.
7. Описание работы с программным приложением для расчёта расписания работы оборудования многостадийного производства изделий из пластических масс.
8. Ручной расчёт оптимальной последовательности выпуска продуктов для многостадийного производства изделий из пластических масс.
9. Выводы по результатам исследования с обоснованием полученных решений.
10. Список использованной литературы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современной рыночной экономике на многих предприятиях идёт процесс развития и внедрения компьютерно-интегрированных систем автоматизированного управления. Их деятельность, направлена на повышение эффективности работы предприятий, осуществляющих многоассортиментный выпуск продукции в условиях неопределённости спроса на продукцию и нестабильности поставок сырья. Оптимальное календарное планирование на производстве играет важную роль. Современные специалисты в этой области должны владеть знаниями и инструментами, которые позволят повысить эффективность и прибыльность предприятия за счёт составления оптимальных планов работы оборудования и выпуска продукции.

В данном лабораторном практикуме рассматриваются задачи по составлению оптимального расписания многопродуктовых многостадийных периодических совмещённой и гибкой ХТС, а также задача по составлению оптимального расписания работы конкретного производства изделий из пластических масс с последовательным и параллельным расположением аппаратов.

Решение этих задач с использованием специализированных программных приложений позволяет получить знания и навыки, необходимые студентам для выполнения лабораторных работ, учебных научно-исследовательских работ, курсовых проектов и выпускных квалификационных работ, связанных с решением задач технико-экономического и оптимального календарного планирования многоассортиментных химических производств.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ермаков С. М.* Метод Монте-Карло и смежные вопросы: 2-е изд., доп. – М. : Наука, 1975. – 471 с.
2. *Соболь И. М.* Метод Монте-Карло: 3-е изд., доп. – М. : Наука, 1978. – 64 с.
3. *Перов В. Л., Егоров А. Ф., Фам Куанг Баг* Календарное планирование в многопродуктовых периодических химических производствах: учеб. пособие. – М. : МХТИ им. Д. И. Менделеева, 1992. – 40 с.
4. Обеспечение и методы оптимизации надежности химических и нефтехимических производств / В. В. Кафаров, В. П. Мешалкин, Г. Грун, В. Нойманн. – М. : Химия, 1987. – 272 с.
5. *Макаров В. В.* Формирование и оптимизация расписания работы многопродуктовых химико-технологических систем: учеб. пособие. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2009. – 52 с.

Учебное издание

ЕГОРОВ Александр Федорович
САВИЦКАЯ Татьяна Вадимовна
ЛЁВУШКИНА Светлана Анатольевна

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПИСАНИЯ РАБОТЫ МНОГОПРОДУКТОВЫХ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Лабораторный практикум

Редактор Н. А. Заходякина

Подписано в печать 09.02.2017 г. Формат 60×84 1/16.

Усл. печ. л. 6,85.

Уч.-изд. л. 6,23. Тираж 100 экз. Заказ

Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева

Издательский центр

Адрес университета и издательского центра:

125047 Москва, Миусская пл., 9