



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

Кафедра «Робототехнические системы»

Е. Р. Новичихина

Р. В. Новичихин

А. Р. Околов

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ
ПРОЕКТНЫХ ВАРИАНТОВ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Методическое пособие по курсовому проектированию
по дисциплине «Моделирование и исследование
робототехнических комплексов»

**Минск
БНТУ
2013**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Робототехнические системы»

Е. Р. Новичихина

Р. В. Новичихин

А. Р. Околов

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ
ПРОЕКТНЫХ ВАРИАНТОВ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Методическое пособие по курсовому проектированию
по дисциплине «Моделирование и исследование
робототехнических комплексов»
для студентов специальности 1-53 01 06 «Промышленные
роботы и робототехнические комплексы»

Минск
БНТУ
2013

УДК 004.92
ББК 32.973.26-018.2
Н73

Рецензенты:
Ю. Н. Петренко, А. Т. Кулаков

Новичихина, Е. Р.
Н73 Моделирование и исследование проектных вариантов робототехнических систем : методическое пособие по курсовому проектированию по дисциплине «Моделирование и исследование робототехнических комплексов» для студентов специальности 1-53 01 06 «Промышленные роботы и робототехнические комплексы» / Е. Р. Новичихина, Р. В. Новичихин, А. Р. Околов. – Минск : БНТУ, 2013. – 33 с.
ISBN 978-985-550-125-2.

Методическое пособие предназначено для выполнения курсового проекта, в задачи которого входит анализ, выбор и оптимизация проектных вариантов робототехнических систем (участков и линий).

В пособии рассматривается методика совместного применения различных математических моделей для обоснования проекта робототехнической системы. Методика поясняется примером выполнения основных разделов курсового проекта.

Помимо студентов пособие может быть использовано инженерами для реального проектирования.

УДК 004.92
ББК 32.973.26-018.2

ISBN 978-985-550-125-2

© Новичихина Е. Р., Новичихин Р. В.,
Околов А. Р., 2013
© Белорусский национальный
технический университет, 2013

ВВЕДЕНИЕ

«Цель моделирования не цифра, а понимание». Это известное выражение в полной мере относится к моделированию производственных систем на этапе их проектирования. Здесь модели выступают незаменимым инструментом для оценки различных вариантов и для обоснования принимаемых решений. При этом моделирование уточняет или изменяет, иногда кардинально, проект по первоначальному замыслу.

В качестве объекта анализа в данном пособии выступают робототехнические системы (РТС) в виде технологических участков или линий для станочной обработки деталей в машино- и приборостроении.

В пособии принята унифицированная схема анализа результатов моделирования, которая должна соблюдаться и в курсовом проекте:

Констатация выявленного факта или полученного значения;

Что означает новый факт или значение для проекта;

Предложение № __ по изменению проекта;

Ожидаемый эффект от внедрения предложения;

Проверка эффективности предложения;

Решение по предложению (принято, отклонено, принято предварительно и требует дополнительной проверки другими моделями).

Условные обозначения по тексту пособия

Обозначение	Что означает
РТС	Робототехническая система (участок или линия)
РП	Рабочая позиция (РТК, стенок или ручное рабочее место человека)
РТК	Робототехнический комплекс (частный случай РП)
ТНС	Транспортно-накопительная подсистема РТС
ТП	Технологический процесс
ИД	Исходные данные модели

1 ТЕМА КУРСОВОГО ПРОЕКТА И ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

1.1 Тема

Тема курсового проекта формулируется следующим образом: «Модельное обоснование проекта робототехнического участка (или линии) для механообработки деталей типа (указывается наименование детали-представителя по заданию)».

1.2 Цель и задачи

Цель курсового проекта – модельное обоснование проекта РТС.

Задачи курсового проекта:

- прогнозирование с помощью математического моделирования характеристик РТС по исходному проектному варианту;
- формирование предложений по улучшению исходного варианта РТС и оценка эффективности предлагаемых новых вариантов;
- выбор окончательного проектного варианта РТС и оптимизация его отдельных параметров.

1.3 Индивидуальные задания

Индивидуальное задание состоит из следующих компонентов:

- рабочий чертеж детали-представителя;
- типовой (групповой) ТП обработки;
- показатели назначения РТС (годовая программа выпуска, номенклатура изделий, средний размер партии запуска и пр.);
- состав и характеристики технологического оборудования;
- планировка исходного варианта РТС;
- организационная структура и порядок функционирования РТС по исходному варианту.

Все перечисленные исходные данные берутся из материалов курсового проекта по дисциплине «Технология роботизированного производства», выполненного данным студентом в предыдущем семестре.

2 СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Материалы проекта оформляются в виде расчетно-пояснительной записки, структура (оглавление) которой представлена в табл. 1. Графическая часть выполняется на листах формата А4 и подшивается к записке в качестве приложений.

Таблица 1

Содержание расчетно-пояснительной записки

	Титульный лист
	Бланк задания
	Оглавление
1.	Постановка задачи
	1.1. Проблема проектирования объекта 1.2. Задачи моделирования 1.3. Подготовка исходных данных 1.4. Анализ ИД, выводы и предложения
2.	Грубая прикидка результатов работы ртс методом Прямого счета
	2.1. Расчет параметров состояний РП с помощью временного баланса «Плановые работы / Ресурсы оборудования» 2.2. Расчет характеристик функционирования РТС с помощью параметров баланса по п. 2.1 2.3. Анализ результатов, выводы и предложения
3.	Исследование влияния проектных решений по вспомогательным подсистемам РТС на результаты ее работы методом теории массового обслуживания
	3.1. Моделирование работы станции комплектации 3.2. Моделирование работы транспортной подсистемы 3.3. Моделирование работы персонала (наладчиков и ремонтников) 3.4. Анализ результатов, выводы и предложения
4.	Исследование влияния проектных решений по рабочим позициям РТС на результаты ее работы
	4.1. Оценка работоспособности и эффективности алгоритма управления в РП с помощью аппарата сетей Петри (пакет моделирования ModPetriNets) 4.2. Обоснование дисциплины обслуживания станков РП общим роботом с помощью циклограмм

	<p>4.3. Уточнение вероятностей состояний РП с помощью уравнений Колмогорова для марковских случайных процессов (пакет моделирования PIMMS/S)</p> <p>4.4. Анализ результатов, выводы и предложения</p>
5.	Исследование влияния проектных решений на уровне РТС в целом на результаты ее работы методом имитационного моделирования в пакете GPSS
	<p>5.1. Моделирование заказов и технологических маршрутов</p> <p>5.2. Моделирование материальных потоков</p> <p>5.3. Анализ результатов, выводы и предложения</p>
6.	Исследование эффективности РТС методом статистического моделирования
	<p>6.1. Планирование и постановка имитационного эксперимента на модели по п. 5.2 для выявления влияния различных факторов на коэффициент использования оборудования РТС</p> <p>6.2. Получение регрессионных зависимостей для условий по п. 6.1 методом параметрического моделирования (статистический пакет STADIA)</p> <p>6.3. Определение вероятности выполнения годового плана РТС методом статистических испытаний Монте-Карло на модели по п. 5.2</p> <p>6.4. Анализ результатов, выводы и предложения</p>
7.	Оптимизация параметров РТС методом математического программирования
	<p>7.1. Оптимизация параметров РТС по целевой функции из теории производительности (пакет компьютерной математики MatLab)</p> <p>7.2. Анализ результатов, выводы и предложения</p>
8.	Завершающая проверка проекта
	<p>8.1. Обобщение результатов моделирования</p> <p>8.2. Формирование окончательного варианта проекта РТС по результатам моделирования</p> <p>8.3. Прогнозирование характеристик работы будущей РТС с уточненными ИД</p>
	Приложение А. Чертеж детали-представителя
	Приложение Б. Карты технологического процесса
	Приложение В. Тексты моделирующих программ
	Приложение Г. Планировка окончательного варианта проекта РТС

3 ПРИМЕРЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ К ОСНОВНЫМ РАЗДЕЛАМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

3.1 Пример раздела «Подготовка исходных данных»

Систематизация имеющихся данных.

Сведем вместе, сгруппируем и классифицируем имеющуюся информацию.

Объект моделирования – РТС на стадии проектирования.

Тип РТС – гибкий автоматизированный участок на базе РТК.

Планировка РТС в исходном варианте представлена на рис. 1.

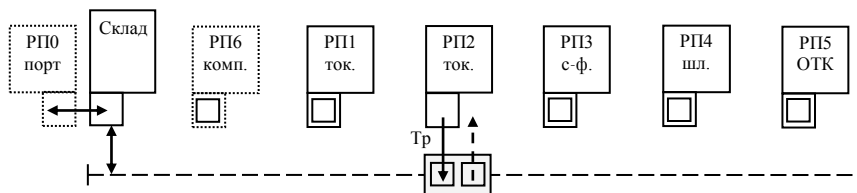


Рис. 1. Планировка ПС по исходному проектному варианту

Показатели назначения РТС – приведены в табл. 2.

Таблица 2

ИД по показателям назначения РТС

№	Параметр ИД	Обозначение	Значение	Ед.
1	Годовая программа выпуска	N	50 000	шт.
2	Номенклатура обрабатываемых деталей	H	50	типов
3	Средний размер партии запуска	Q	250	шт.
4	Средний размер транспортной партии	Q_T	25	шт.
5	Годовой фонд рабочего времени оборудования	T_ϕ	4 000	ч
6	Нормативный коэффициент загрузки оборудования	$[K_3]$	0,85	–

Тип обрабатываемых деталей – тела вращения.

Вид ТП – типовой. Выдержки из ТП для модельного представления приведены в табл. 3.

Таблица 3

ИД по ТП РТС

№	Параметр ИД	Обозначение	Значение	Ед.
1	Среднее машинное время на операциях:			мин
	№1 (токарная)	$t_{\text{маш1}}$	2,5	
	№2 (токарная)	$t_{\text{маш2}}$	1,5	
	№3 (сверлильно-фрезерная)	$t_{\text{маш3}}$	3	
	№4 (шлифовальная)	$t_{\text{маш4}}$	4	
№5 (контрольная)	$t_{\text{маш5}}$	1		
2	Вероятность присутствия в маршруте детали операций:			%
	№1	$P_{\text{оп1}}$	100	
	№2	$P_{\text{оп2}}$	100	
	№3	$P_{\text{оп3}}$	90	
	№4	$P_{\text{оп4}}$	95	
№5	$P_{\text{оп5}}$	100		

Тип ТНС – централизованная (все грузопотоки через центральный склад без прямой связи между РП).

Склад – стеллажный, двухпролетный, многоярусный, с кран-штабелером.

Локальные накопители – на РП отсутствуют, а вернее, накопитель в виде пристаночного стола имеет единственную ячейку под паллету. Фактическим накопителем деталей является сама паллета.

Тип транспортной подсистемы – с независимой доставкой грузов, charterная. Представляет собой напольную самоходную автоматическую тележку с двумя транспортными ячейками (транспортное обслуживание по доставке заготовок и удалению готовых деталей осуществляется за 1 рейс).

Тип транспортной оснастки внутри РТС – групповая, позиционирующая и ориентирующая. Представляет собой паллету с индивидуальными ячейками под детали (отверстия, штыри, призмы).

Тип транспортной оснастки для внешних связей РТС с заготовительным производством и сборкой – групповая, в навал. Представ-

ляет собой стандартизованную заводскую тару (металлический ящик).

Тип подсистемы загрузки – индивидуальная, позиционная. Представляет собой роботы на каждой РП для поштучной установки-снятия деталей из паллеты без потери ориентации.

Информация по техническим средствам РТС представлена в табл. 4.

Таблица 4

ИД по техническим средствам РТС

1	Количество РП общее из них: РП №0 (порт внешний) РП №1 (токарный РТК) РП №2 (токарный РТК) РП №3 (сверлильно-фрезерный РТК) РП №4 (шлифовальный РТК) РП №5 (пост ОТК) РП №6 (станция комплектации паллет)	$W_{РП}$ $W_{РП0}$ $W_{РП1}$ $W_{РП2}$ $W_{РП3}$ $W_{РП4}$ $W_{РП5}$ $W_{РП6}$	7 1 1 1 1 1 1 1	шт.
2	Количество технологических средств общее из них: в РП №0 (рабочих мест человека) в РП №1 (станков) в РП №2 (станков) в РП №3 (станков) в РП №4 (станков) в РП №5 (рабочих мест человека, КИМ) в РП №6 (рабочих мест человека)	$W_{ТС}$ $W_{ТС0}$ $W_{ТС1}$ $W_{ТС2}$ $W_{ТС3}$ $W_{ТС4}$ $W_{ТС5}$ $W_{ТС6}$	6 1 1 1 1 1 1 1	шт.
3	Количество транспортных средств (тележек)	$W_{ТР}$	1	шт.
4	Емкость тележки	$V_{ТР}$	2	ячеек
5	Емкость центрального накопителя (склада)	$V_{скл}$	100*	ячеек
6	Емкость локального накопителя (пристаночного стола)	$V_{нак}$	1	ячеек
7	Емкость тары (ящика)	$V_{ящ}$	25*	дет.
8	Емкость паллеты	$V_{пал}$	25*	дет.

Примечание: * – значения появляются и вносятся в таблицу после выполнения последующих этапов курсового проекта.

Особенности диспетчирования в РТС:

– стыковка и перекрытие операционных партий не используется;

- предварительный вызов транспортной тележки не используется;
- предварительная комплектация паллет в нерабочую смену не используется;
- дисциплина всех видов обслуживания по типу «первый пришел – первый обслуживается», приоритеты не используются;
- организация грузопотоков представлена на рис. 2.

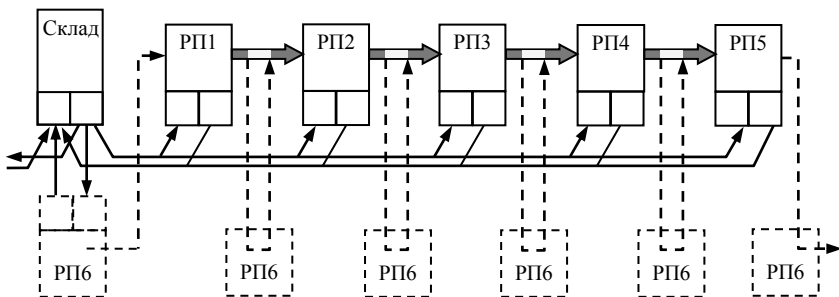


Рис. 2. Схема ПК:

- ➡ – технологический маршрут основных операций (техпроцесс);
- ➡ – то же с учетом вспомогательных операций;
- – транспортный маршрут (материальные потоки)

Задание значений для недостающих ИД.

По недостающим ИД принимаются среднестатистические значения. Если статистики нет, то значения рассчитываются грубо. В крайнем случае, задаются произвольными реалистичными значениями с учетом их уточнения в последующем.

Параметр $V_{\text{ящ}}$ можно рассчитать, имея следующие данные: геометрический объем ящика (рассчитывается по габаритам выбранного типоразмера из стандарта ISO для евротары и согласованного с размерами ячейки склада); объем одной заготовки; коэффициент плотности укладки (в нашем случае с засыпкой в навал – 0,5); максимально допустимый вес заполненной тары (в нашем случае с возможностью ручного манипулирования – не более 25 кг).

Параметр $V_{\text{нак}}$ выбирается с учетом его кратности параметрам $V_{\text{пал}}$ и Q_T (в нашем случае $V_{\text{нак}} = V_{\text{пал}} = Q_T = 25$ дет).

Параметр $V_{\text{скл}}$ можно принять укрупнено из условия:

$$V_{\text{скл}} \geq W_{\text{одн}} W_{\text{оп}} Q / Q_T = 2 \cdot 5 \cdot 250 / 25 = 100 \text{ ячеек,}$$

где $W_{\text{одн}}$ – принятое среднее количество партий, находящихся в обработке одновременно.

Более точно $V_{\text{скл}}$ рассчитывается с учетом следующих компонентов:

1) Страховой запас заготовок на 1 неделю автономной работы РТС: $(50000 \text{ деталей} / 50 \text{ недель}) / 25 \text{ заготовок} = 40$ ящиков (ячеек склада под запас заготовок);

2) Межоперационный задел полуфабрикатов в скомплектованных паллетах на целую партию: $(10 \text{ паллет на операционную партию}) \times (5 \text{ операций}) = 50$ паллет (ячеек склада под задел полуфабрикатов). Это соответствует 1 смене автономной работы для каждой РП. Трудоемкость подготовки всего задела: $50 \text{ паллет} \times 6 \text{ мин} = 300 \text{ мин} = 5 \text{ ч}$;

3) Оперативный (текущий) фонд задействованных паллет: $(1 \text{ в локальном накопителе} + 1 \text{ в оперативном накопителе}) \times 5 \text{ РП} = 10$ паллет (ячеек склада под операционные партии запуска).

Общее требуемое количество ячеек в складе: $40 + 50 + 10 = 100$, что совпало с результатом укрупненного расчета.

Расчет производных ИД.

Помимо первичных ИД при моделировании понадобятся и производные от них.

Определим характеристики, усредненные по ТП и оборудованию РТС (табл. 5).

Параметр $t_{\text{маш}}$ рассчитан следующим образом:

$$t_{\text{маш}} = \sum t_{\text{маш}}^{(i)} / W_{\text{оп}} = (2,5 + 1,5 + 3 + 4 + 1) / 5 = 2,4 \text{ мин,}$$

где $t_{\text{маш}}^{(i)}$ – машинное время i -й операции в ТП.

Таблица 5

Усредненные исходные данные

№	Параметр ИД	Обозначение	Значение	Ед.
1	Среднее количество операций в маршруте ТП	$W_{оп}$	4,7	оп.
2	Среднее по ТП машинное время обработки (время работы по управляющей программе)	$t_{маш}$	2,4	мин
3	Средний по РТС такт машинной обработки детали на одной РП	$\tau_{маш}$	2,4	мин
4	Среднее по ТП подготовительно-заключительное время (переналадка)	$t''_{п.з}$	120	мин
5	Среднее по ТП время установки-снятия детали	$t_{ус}$	0,2	мин
6	Среднее время цикла транспорта (доставка и вывоз транспортной партии)	$t'_{ц.тр}$	2	мин
7	Среднее время комплектации паллеты (сборка, наладка и заполнение)	$t'_{ком}$	6	мин
8	Среднее время цикла кран-штабелера склада (приемка или выдача груз)	$t'_{кш}$	1	мин
9	Среднее время наработки РП на отказ	$T''_{н.о}$	100	ч
10	Среднее время восстановления работоспособности РП (ремонт)	$T'''_{рем}$	5	ч

Примечание: отсутствие верхнего индекса при символе t означает, что соответствующий параметр относится к отдельной детали; верхний индекс «'» – к транспортной партии; «''» – к операционной партии; «'''» – ко всей программе выпуска.

Параметр $\tau_{маш}$ рассчитан следующим образом:

$$\begin{aligned} \tau_{маш} &= [\sum(t_{маш(j)} / W_{ст(j)})] / W_{РП} = \\ &= [2,5/1+1,5/1+3/1+4/1+1/1] / 5 = 2,4 \text{ мин,} \end{aligned}$$

где $t_{маш(j)}$ – машинное время операции на j -й РП по ТП;

$W_{ст(j)}$ – количество параллельно работающих технологических средств (станков, КИМ) в j -й РП.

Параметры $t_{маш}$ и $\tau_{маш}$ в общем случае могут отличаться.

Определим характеристики, которые можно рассчитать из нескольких первичных данных по очевидным зависимостям (табл. 6).

Таблица 6

Подготовительные расчеты

№	Наименование параметра	Обозначение	Значение	Ед.	Расчетная формула
1	Годовая серия деталей одного наименования средняя	N_i	1000	шт.	$N / H = 50000 / 50$
2	Годовая программа выпуска в пересчете на ящики готовой продукции	$N_{\text{ящ}}$	2000	ящиков	$N / V_{\text{ящ}} = 50000 / 25$
3	Годовая программа выпуска в пересчете на паллеты	$N_{\text{пал}}$	10000	паллет	$N / V_{\text{пал}} W_{\text{оп}} = 50000/25 \times 5$
4	Количество партий в годовой программе	W_0	200	партий	$N / Q = 50000 / 250$
5	Размер партии запуска в пересчете на паллеты средний	$Q_{\text{пал}}$	10	паллет	$Q / V_{\text{пал}} = 250/25$
6	Коэффициент повторяемости запусков одного наименования средний	$K_{\text{повт}}$	4	–	$W_0 / H = 200 / 50$, что соответствует периодичности 1 раз в квартал
7	Периодичность поступления партий в РТС средняя	$T_{\text{пост}}$	20 1200 2,5 4	ч мин смен раз/нед	$T_{\text{ф}} / W_0 = 4000 / 200$,
8	Такт выпуска деталей требуемый	$t_{\text{в}}$	4,8	мин	$T_{\text{ф}} 60 / N = 4000 \cdot 60 / 50000$
9	Штучно-калькуляционное время требуемое	$[t_{\text{шт.к}}]$	4,08	мин	$t_{\text{в}} [K_3] = 4,8 \cdot 0,85$
10	Штучное время требуемое	$[t_{\text{шт}}]$	3,47	мин	$t_{\text{шт.к}} [D_{\text{шт}}] = 4,08 \cdot 0,85$, где $[D_{\text{шт}}]$ – среднестатистическая доля $t_{\text{шт}}$ в $t_{\text{шт.к}}$ для ГАУ
11	Машинное время на операцию требуемое	$[t_{\text{маш}}]$	2,08	мин	$t_{\text{шт}} [D_{\text{маш}}] = 3,47 \cdot 0,6$, где $[D_{\text{маш}}]$ – среднестатистическая доля $t_{\text{маш}}$ в $t_{\text{шт}}$ для ГАУ
12	Коэффициент закрепления операций	$K_{3,0}$	16,6	–	$H \cdot W_{\text{оп}} \cdot K_{\text{повт}} / 12 / W_{\text{РП}} = 50 \cdot 5 \cdot 4 / 12 / 5$
13	Коэффициент готовности РП средний	$K_{\text{Г}}$	0,952	–	$T_{\text{н.о}} / (T_{\text{н.о}} + T_{\text{в.р}})$

Анализ ИД, выводы и предложения.

Констатация: $t_{\text{маш}} = \tau_{\text{маш}} = 2,4 \geq [t_{\text{маш}}] = 2,08$ мин.

Это означает, что исходный вариант РТС по производительности не справляется с плановой программой выпуска. Лимитирующей является РП №4 (РТК шлифования), у которой $\tau_{\text{маш}4} = 4$ мин. Здесь не хватает производительности почти вдвое.

Предложение №1: увеличить число станков в РП №4 до 2.

Ожидаемый эффект: устранение проектной ошибки и доведение производительности до приемлемой.

Проверка: при $W_{\text{ТС}4} = 2$ шт. имеем $\tau_{\text{маш}4} = 2$ мин и $\tau_{\text{маш}} = [2,5/1+1,5/1+3/1+4/2+1/1] / 5 = 2$ мин.

Теперь РТС номинально справляется с планом по усредненной для РП производительности.

Решение: предложение №1 принимается.

Констатация: $t_{\text{маш}3} = 3$ мин $\geq [t_{\text{маш}}] = 2,08$ мин.

Это означает, что теперь лимитирующей становится РП №3 (сверлильно-фрезерный РТК). Она продолжает не справляться.

Предложение №2: увеличить число станков в РП №3 до 2.

Проверка: при $W_{\text{ТС}3} = 2$ шт. имеем $\tau_{\text{маш}3} = 1,5$ мин $\leq [t_{\text{маш}}] = 2,08$ мин.

Теперь РТС справляется с планом и по лимитирующей РП №3.

Однако заметим, что РП №3 не справляется, но не так явно, как РП №4. Кроме того, параметр $[t_{\text{маш}}]$ был найден по грубым среднестатистическим зависимостям. Для нашей РТС он может оказаться большим и не критичным. Поэтому пока не будем увеличивать количество станков в РП №3. Увеличение количества станков является кардинальной мерой, но она и самая дорогостоящая. Оставим ее на крайний случай, если выяснится, что проблема подтвердилась на более точных моделях и не решается менее затратными способами.

Решение: рассмотрение предложения №2 пока откладывается до подтверждения наличия проблемы более точными моделями.

Констатация: $\tau_{\text{маш}5,6} = (t_{\text{ком}} / Q_T + t_{\text{маш}5}) = (6/25 + 1) = 1,24 < [t_{\text{маш}}] = 2,08$ мин.

Это означает, что РП, использующие ручной труд, по отдельности и вместе взятые, недоиспользуются по времени.

Предложение №3: объединим РП №6 и №5 в одну РП №5 с выполнением 1 человеком функций контролера и комплектовщика.

Ожидаемый эффект: сокращение занимаемых площадей, количества занятых рабочих и транспортных рейсов.

Решение: предложение №3 предварительно принимается с учетом дальнейшей проверки.

Констатация: коэффициент использования транспортной тележки составляет $K_{и.тел} = (t_{ц.тр} + 2t_{кш}) 2 N_{палл} 60 / T_{\phi} = (2 + 2)2 \times 2000 \times 60 / 4000 = 0,33$.

Это означает, что тележка справляется со своей работой с трехкратным запасом по времени. Очевидно, она будет справляться и в случае, если обслуживание РП по доставке и удалению паллет осуществлять за два отдельных рейса. При этом вторую транспортную позицию на тележке можно будет убрать.

Предложение №4: применить однопозиционную тележку вместо двухпозиционной.

Ожидаемый эффект: сокращение капитальных затрат на тележку за счет применения более дешевой модели.

Проверка: с учетом скорости тележки 1 м/с и среднего пути транспортирования 30 м значение $t_{ц.тр}$ увеличится на 0,5 мин и использование тележки составит $K_{и.тел} = 0,37$, что вполне достаточно.

Решение: предложение №4 принимается.

Измененная планировка РТС показана на рис. 3.

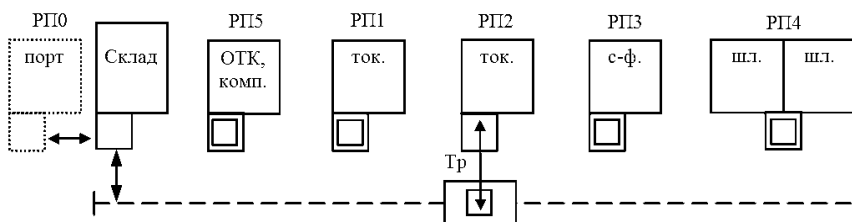


Рис. 3. Планировка РТС по измененному варианту

3.2 Пример раздела «Грубая прикидка результатов методом прямого счета»

Расчет параметров состояний РП с помощью временного баланса «Плановые работы / Ресурсы оборудования».

Составим годовой временной баланс (2.1) для одной РП с усредненными характеристиками:

$$T_{\Phi} = \langle \{[(\tau_{\text{маш}} + t_{\text{ус}} + t_{\text{изм}} + t_{\text{нак}} + t_{\text{т.обсл}} + t_{\text{о.обсл}} + t_{\text{отд}}) Q_{\text{T}} + t'_{\text{тр}} + t'_{\text{снх}}] Q / Q_{\text{T}} + t''_{\text{рем}} + t''_{\text{орг}} + t''_{\text{о.р}} \rangle W_{\text{O}} / 60. \quad (1)$$

Параметры баланса $t_{\text{т.обсл}}$, $t_{\text{о.обсл}}$ и $t_{\text{отд}}$ берутся из техпроцесса или рассчитывается по приближенным среднестатистическим зависимостям:

$$\begin{aligned} t_{\text{т.обсл}} &= 0,03 \quad t_{\text{маш}} = 0,06 \text{ мин;} \\ t_{\text{о.обсл}} &= 0,1 \quad t_{\text{маш}} = 0,2 \text{ мин;} \\ t_{\text{отд}} &= 0,05 \quad t_{\text{маш}} \text{ (для автоматизированных систем } t_{\text{отд}} = 0). \end{aligned}$$

Параметр $t'_{\text{тр}}$ рассчитывается с учетом ожидания приемки-выдачи на складе:

$$t'_{\text{тр}} = t_{\text{ц.тр}} + 2t_{\text{кш}} = 2 + 2 \cdot 1 = 4 \text{ мин.}$$

Параметр $t''_{\text{пер}}$ соответствует величине $t_{\text{п.з}}$ из техпроцесса.

Параметр $t''_{\text{рем}}$ (среднее время ремонта оборудования РП, приведенное к периоду обработки партии) рассчитывается следующим образом:

$$t''_{\text{рем}} = (t_{\text{маш}} Q) T_{\text{в.р}} / T_{\text{н.о}} = 2 \cdot 250 \cdot 5 / 100 = 25 \text{ мин.}$$

Параметр $t''_{\text{орг}}$ рассчитывается по приближенной среднестатистической зависимости:

$$t''_{\text{орг}} = 0,05 t_{\text{маш}} Q = 0,05 \cdot 2 \cdot 250 = 25 \text{ мин.}$$

Подставив имеющиеся значения в формулу 1, получим:

$$T_{\Phi} = \langle \{[(2 + 0,2 + 0 + 0 + 0,06 + 0,2 + 0)25 + 4 + 0] \times \langle 250 / 25 + 120 \rangle + 25 + 25 + t''_{\text{о.р}} \rangle \cdot 200 / 60 = 2750 + 3,333 t''_{\text{о.р}}. \quad (2)$$

Отсюда среднее время простоя РП из-за отсутствия работы, приходящееся на одну партию составит:

$$t''_{o,p} = (T_{\phi} - 2750) / 3,333 = 375 \text{ мин.}$$

Подставив в (2) полученное значение $t''_{o,p}$ и осуществив умножения, получим:

$$T_{\phi} = \{[(1667+167+0+0+50+167+0)+133+0]+400\}+83+83+1250 = 4000 \text{ ч.} \quad (3)$$

Используя выражения (2.1) и (2.3), рассчитываем и заносим в табл. 7 коэффициенты пребывания РП в различных состояниях. Примеры расчета: $K_{\text{маш}} = 1667/4000 = 0,417$, $K_{\text{ус}} = 167/4000 = 0,042$ и т.д. Коэффициент загрузки РП работой:

$$K_z = 1 - K_{o,p} = 1 - 0,313 = 0,687.$$

Аналогичным образом составляем и рассчитываем баланс для лимитирующей РП №3. Результаты заносим также в табл. 7.

Таблица 7

Долевые (K_i) и удельные (C_i) коэффициенты пребывания средней и лимитирующей РП в различных состояниях

№ сост. (j)	T_i , мин			T_i , ч		K_i			C_i	
	обоз.	ср.	лим.	ср.	лим.	обоз.	ср.	лим.	ср.	лим.
1	$t_{\text{маш}}$	2	3	1667	2500	$K_{\text{маш}}$	0,417	0,625	1	1
2	$t_{\text{ус}}$	0,2	0,2	167	167	$K_{\text{ус}}$	0,042	0,042	0,1	0,067
3	$t_{\text{изм}}$	0	0	0	0	$K_{\text{изм}}$	0	0	0	0
4	$t_{\text{нак}}$	0	0	0	0	$K_{\text{нак}}$	0	0	0	0
5	$t'_{\text{тр}}$	4	4	133	133	$K_{\text{тр}}$	0,033	0,033	0,08	0,053
6	$t'_{\text{снх}}$	0	0	0	0	$K_{\text{снх}}$	0	0	0	0
7	$t_{\text{т.о}}$	0,06	0,09	50	75	$K_{\text{т.о}}$	0,013	0,019	0,03	0,03
8	$t_{\text{о.о}}$	0,2	0,3	167	250	$K_{\text{о.о}}$	0,042	0,063	0,1	0,1
9	$t_{\text{отд}}$	0	0	0	0	$K_{\text{отд}}$	0	0	0	0
10	$t''_{\text{пер}}$	120	120	400	400	$K_{\text{пер}}$	0,100	0,100	0,24	0,16
11	$t''_{\text{рем}}$	25	37,5	83	125	$K_{\text{рем}}$	0,021	0,031	0,05	0,05
12	$t''_{\text{орг}}$	25	37,5	83	125	$K_{\text{орг}}$	0,021	0,031	0,05	0,05
13	$t''_{o,p}$	375	67,6	1250	225	$K_{o,p}$	0,313	0,056	0,75	0,09

Расчет характеристик функционирования РТС с помощью параметров баланса.

Располагая значениями K_i , можно рассчитать основные характеристики функционирования для РТС в целом.

Техническая (цикловая) производительность РТС:

$$U_{\text{техн}} = (1 / \tau_{\text{маш.лим}}) \cdot 60 = (1 / 3) \cdot 60 = 20 \text{ шт./ч},$$

где $\tau_{\text{маш.лим}}$ – среднее машинное время обработки на лимитирующей РП с учетом количества параллельных технологических средств (станков) в ней (мин).

Фактическая производительность РТС:

$$U_{\text{факт}} = U_{\text{техн}} K_{\text{маш.лим}} = 20 \cdot 0,625 = 12,5 \text{ шт./ч}.$$

Потенциальная годовая выработка:

$$N_{\text{макс}} = U_{\text{техн}} T_{\text{ф}} = 20 \cdot 4000 = 80000 \text{ шт}.$$

Средняя длительность производственного цикла полной обработки партии деталей (время выполнения заказа):

$$T_{\text{ц}} = \{ \{ [\tau_{\text{маш}} (1 + K_{\text{пр}} / K_{\text{маш}}) Q] / W_{\text{дубл}} + T_{\text{ож.зап}} \} W_{\text{оп}} (1 - K_{\text{свм}} K_{\text{прк}}) / 60 = \\ = \{ [(2 (1 + 0,271/0,417) 250) / 1,2 + 60] 5(1 - 0 \cdot 0) \} / 60 = 62,29 \text{ ч} \approx 8 \text{ смен},$$

где $K_{\text{пр}}$ – средний доленой коэффициент простоя РП при наличии работы;

$W_{\text{дубл}}$ – средняя кратность дублирования РП при диспетчировании (количество параллельных РП на одну операцию);

$T_{\text{ож.зап}}$ – среднее время нахождения операционной партии в ожидании запуска (мин);

$W_{\text{оп}}$ – среднее количество операций в технологическом маршруте;

$K_{\text{свм}} = W_{\text{п.оп}} / W_{\text{оп}}$ – коэффициент совмещения операций;

$W_{\text{п.оп}}$ – среднее количество последовательных пар совмещенных операций в технологическом маршруте;

$K_{\text{прк}} = Q_{\text{ост}} / Q$ – коэффициент перекрываемости операций;

$Q_{\text{ост}}$ – среднее количество деталей, оставшихся необработанными в партии текущей операции на момент, когда начинается обработка на следующей операции.

Среднее количество партий (заказов), находящихся в РТС одновременно:

$$W_{\text{одн}} = T_{\text{ц}} W_0 / T_{\text{ф}} = 62,29 \cdot 200 / 4000 = 3,11 \approx 3 \text{ партии.}$$

Полученные результаты сводим в табл. 8.

Таблица 8

Основные характеристики функционирования РТС
по результатам ПСЧ

№	Наименование параметра	Обозначение	Ед.	Значение
1	Годовая программа выпуска заданная	N	шт.	50000
2	Годовая программа выпуска потенциальная	$N_{\text{макс}}$	шт.	80000
3	Номенклатура обрабатываемых деталей	H	наим.	50
4	Производительность фактическая	$U_{\text{факт}}$	шт./ч	12,5
5	Производительность техническая (цикловая)	$U_{\text{техн}}$	шт./ч	20
6	Длительность произв. цикла партии	$T_{\text{ц}}$	ч	62,29
7	Длительность произв. цикла операц. партии	$T_{\text{ц,оп}}$	ч	13,75
8	Ср. количество наименований одновременно	$W_{\text{одн}}$	наим.	3
9	К-т использования средний	$K_{\text{и}}$	–	0,417
10	К-т простоя средний	$K_{\text{пр}}$	–	0,270
11	К-т отсутствия работы средний	$K_{\text{о,р}}$	–	0,313
13	К-т загрузки средний	$K_{\text{з}}$	–	0,687
14	К-т загрузки лимитирующей РП	$K_{\text{з,лим}}$	–	0,944
15	К-т использования лимитирующей РП	$K_{\text{и,лим}}$	–	0,625

Анализ результатов, выводы и предложения.

Констатация: $K_{\text{з}} = 0,687 < 1$; $K_{\text{з,лим}} = 0,944 < 1$.

Это означает, что и средняя и лимитирующая РП укладываются в отведенный фонд времени. Однако, по лимитирующей РП №3 запас времени составляет всего 5,6%, что соизмеримо с погрешностью расчетов, вызванных усреднением и укрупнением характеристик. Кроме того, результаты не учитывают фактор случайности событий и величин, а также возможность возникновения дополнительных простоев в очередях.

Вывод: проектный вариант РТС номинально справляется с плановой программой выпуска, но требуется дальнейшее моделирование неучтенных факторов.

Решение: в этой части проект пока доработок не требует.

Констатация: $K_3 = 0,687 < [K_3] = 0,85$.

Это означает, что РТС загружена работой в целом недостаточно (меньше норматива).

Нужно рассмотреть возможность сокращения количества оборудования. В нашем случае такая возможность отсутствует – РТС небольшая и на каждой операции используется всего по 1 станку. Остается другой нижеследующий вариант.

Предложение №5: догрузить РТС другими деталями до значения $N_{\text{новая}} = N/K_3 [K_3] = 50000/0,687 \times 0,85 \approx 62000$ шт., с учетом, что в ТП дополнительных деталей должны отсутствовать операции, требующие лимитирующей РП №3.

Проверка: будем считать, что это предложение с заказчиком РТС обсуждалось, но дозагрузить систему нечем, и программу выпуска придется оставить прежней.

Решение: предложение №5 отклоняется.

3.3 Пример раздела «Моделирование вспомогательных подсистем РТС методом теории массового обслуживания»

В курсовом проекте необходимо рассмотреть несколько вспомогательных подсистем обслуживания РТС: станция комплектации паллет; ТНС; персонал (наладчики, ремонтники, грузчики). В примере ограничимся рассмотрением только первой подсистемы.

Моделирование работы станции комплектации паллет.

Идентификация метода:

- прибор – станция комплектации паллет в составе РП №5;
- заявки – РП №1–№5 выполнения основных технологических операций (4 РТК и пост ОТК в составе РП №5) и вспомогательная РП №0 (порт склада), всего 6 объектов-источников;
- характер обслуживания – сборка и наладка самой паллеты, заполнение паллеты деталями или их межоперационная переориентация;
- класс системы массового обслуживания – замкнутая, одноканальная, однофазная, дисциплина очереди «первый пришел – первый обслужился» (без приоритетов).

На рис. 4 представлена схема соответствующей системы массового обслуживания.

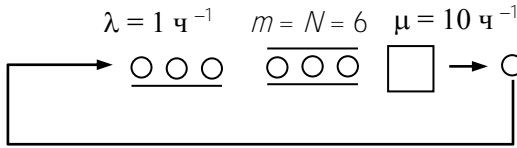


Рис. 4. Схема системы массового обслуживания

Рассчитаем показатели этой системы:

$$P_0 = \left[1 + N \cdot \rho + \sum_{k=2}^N \frac{M!}{(N-k)!} \cdot \rho^k \right]^{-1} = 0,4845,$$

$$P_k = \frac{M!}{(N-k)!} \cdot \rho^k \cdot P_0,$$

$$P_1 = 0,2907, P_2 = 0,1454, P_3 = 0,0581, \\ P_4 = 0,0174, P_5 = 0,0035, P_6 = 0,0004,$$

$$L_{\text{ож}} = \sum_{k=2}^N (k-1) \cdot P_k = 0,3290,$$

$$W = \frac{L_{\text{ож}}}{\lambda \cdot (N - L_{\text{ож}})} = 0,058 \text{ ч} \approx 3,5 \text{ мин},$$

$$K_3 = \sum_{k=1}^N P_k = 0,5155,$$

где N – число объектов, выставяющих заявки;

m – число мест ожидания;

k – число выставленных заявок (в очереди и обслуживании);

$\lambda = 1 / T_{\text{пост}} = 60 / [(t_{\text{маш}} + t_{\text{ус}}) Q_{\Gamma} + (t_{\text{тр}} + 2t_{\text{кш}})] = 60 / [(2+0,2)25 + (2+2 \times 1)] = 1 \text{ ч}^{-1}$ – интенсивность поступления заявок;

$\mu = 1 / t'_{\text{ком}} = 60 / (t_{\text{наладки}} + t_{\text{заполнения}}) Q_{\Gamma} = 60 / (5 + 0,04 \times 25) = 10 \text{ ч}^{-1}$ – интенсивность обслуживания;

ρ – загрузка ($\rho = \lambda / \mu = 0,1$);

P_0 – вероятность простоя прибора;

P_k – вероятность нахождения в системе k заявок (в очереди и в обслуживании);

$L_{ож}$ – среднее число заявок в очереди;

W – среднее время пребывания заявки в очереди;

K_3 – коэффициент загрузки прибора.

Анализ результатов, выводы и предложения.

Констатация: РП №5 в части работ по комплектации паллет используется приблизительно на 52%.

Отметим, что в теории массового обслуживания коэффициент K_3 трактуется иначе, чем одноименный показатель в технологии машиностроения. В нашей интерпретации он соответствует не загрузке, а использованию, т.е. параметру $K_{и}$. Однако полученный результат $K_{и} = 0,5155$ превосходит максимально возможный для РТС по показателям назначения $K_{ком} = t_{ком} (N_{нал} + N_{шт}) / 60 / T_{ф} = 6(10000+2000)/60/4000 = 0,3$. Это произошло потому, что мы рассмотрели в модели ТМО самый неблагоприятный случай, когда все РП работают одновременно и постоянно. В реальных условиях такое может быть лишь эпизодически, и полученные результаты соответствуют пиковому режиму работы РТС. Более реалистичная средняя интенсивность поступления заявок будет существенно ниже

$$\lambda = 1 / T_{пост} 60 = 1 / t_{маш} / Q_T K_{маш} 60 = 60/2/25 \times 0,417 \approx 0,5 \text{ ч}^{-1}.$$

В этом случае модель дает среднюю длину очереди $L_{ож} = 0,082$, среднее время пребывания в ней $W = 1,66$ мин и $K_3 = 0,29$.

Еще примерно на 21% РП №5 задействована в части выполнения основных технологических операций по контролю качества деталей:

$$K_{маш5} = K_{маш} t_{маш5} / t_{маш} = 0,417 \times 1/2 = 0,209.$$

Таким образом, общее использование РП №5 по времени работы составит на продолжительных периодах в среднем 50%, на краткосрочных – максимум 73%.

Это означает, что объединенная РП №5 силами 1 человека с работой справляется как в обычном режиме, так и в режиме пиковой нагрузки.

Решение: ранее сделанное предложение №3 продолжает оставаться в силе, но требует проверки точной имитационной моделью.

Констатация: каждая паллета от основных РП простаивает в очереди к станции комплектации в среднем 1,66 минуты.

Это равносильно увеличению среднего времени транспортного обслуживания с 4 до 5,66 минут. Поправка к соответствующему коэффициенту составит:

$$\Delta K_{\text{тр}} = K_{\text{тр}} \Delta t_{\text{тр}} / t_{\text{тр}} = 0,033 \times 1,66 / 4 = + 0,014.$$

Такое увеличение может быть компенсировано в балансе $\Sigma K = 1 = \text{const}$ только уменьшением на эту же величину компонента $K_{\text{o,p}}$ до величины $K_{\text{o,p}} = 0,313 - 0,014 = 0,299$. Это значение не входит в рекомендуемый для РТС типа ГАУ диапазон $0,05 \leq [K_{\text{o,p}}] \leq 0,15$ по верхнему пределу. Однако, как отмечалось в обсуждении предложения №4, дозагрузка РТС работой в нашем случае невозможна, поэтому завышенный резерв времени для средней РП системы следует признать приемлемым. Для лимитирующей же РП №3 резерв составит всего $K_{\text{o,p,лим}} = 0,056 - 0,014 = 0,042$. Значение не входит в рекомендуемый диапазон, но уже по нижнему пределу.

Это означает, что простои в очереди к станции комплектации для всех РП приемлемы, за исключением лимитирующей РП №3.

Предложение №6: осуществлять фасовку поступающих в РТС заготовок на транспортные партии прямо в порту при перегрузке из заводской тары в тару склада. При этом с комплектовщика РП №5 данная функция снимается, что равносильно уменьшению объектов обслуживания к станции комплектации с 6 до 5.

Ожидаемый эффект: сокращение времени простоев всех РП, включая РП №3, в очереди к станции комплектации за счет снижения суммарной интенсивности поступления заявок.

Проверка: показатели системы с уменьшенным числом объектов с 6 до 5: $L_{\text{ож}} = 0,05$, $W = 1,24$ мин. Теперь $K_{\text{o,p,лим}} = 0,046$, что несколько улучшает положение, но недостаточно.

Решение: предложение №6 принимается с учетом, что проблема полностью не снята и потребуются дополнительные решения.

3.4 Пример раздела «Моделирование материальных потоков»

Под материальными потоками подразумеваются движение предметов производства (заготовок, межоперационных полуфабрикатов и готовых деталей) через РП и накопители в соответствии с технологическими маршрутами и алгоритмом диспетчирования.

На предыдущих этапах курсового проекта моделировалась работа ТНС аналитическим методом теории массового обслуживания. На данном этапе предстоит уточнить и детализировать результаты. Так дополнительно будет учитываться: группирование предметов производства в партии запуска, операционные и транспортные партии; типовой ТП; емкость локальных накопителей; алгоритм диспетчирования; индивидуальная производительность и надежность РП; вероятностный характер событий и величин. Соответственно, результаты моделирования будут идентифицированы для каждой РП и каждой партии.

Пример текста моделирующей программы для нашего случая приведен ниже. Модель реализована на языке имитационного моделирования общего назначения GPSS.

```
*****
*                               Симулятор ТНС
* Тип СМО:комбинированная
* Приборы: кран-штабелер склада для разомкнутой СМО1;
*           тележка в паре с кран-штабелером для замкнутой СМО2
* Заявки: заказы для СМО1; РП0-РП5 для СМО2
*****
*=====Исходные данные
*-----Описание структуры
Sklad      STORAGE      100
Nak0_zag   STORAGE      2
Nak0_det   STORAGE      2
Nak1       STORAGE      1
Nak2       STORAGE      1
Nak3       STORAGE      1
Nak4       STORAGE      1
Nak5       STORAGE      1
*-----Показ-ли назн.
T_mod      EQU          240000
NNN        EQU          50000
QQQ        EQU          250
*-----Характеристики оборудования
t_Tr_min   EQU          0.75
t_Tr       EQU          0.25
t_Kran     EQU          1
Q_tr       EQU          25
```

```

Q_jas      EQU          10
*-----Время машинное tмаш
T_1        EQU          2.5
T_2        EQU          1.5
T_3        EQU          3
T_4        EQU          2
T_5_1      EQU          1
T_5_2      EQU          0.24
*-----Кз РП по балансу ПСЧ
K_1        EQU          0.680
K_2        EQU          0.598
K_3        EQU          0.762
K_4        EQU          0.650
K_5_1      EQU          0.529
K_5_2      EQU          0.702
K_0        EQU          0.005
*-----Показатели надежности РП
t_otk3     EQU          6000
t_rem3     EQU          300
;-----Подготовительные расчеты
N_zakaz    FVARIABLE    NNN\QQQ+1
N_zajav    FVARIABLE    NNN\Q_tr+1
T_post1    FVARIABLE    T_1#Q_tr/K_1
T_post2    FVARIABLE    T_2#Q_tr/K_2
T_post3    FVARIABLE    T_3#Q_tr/K_3
T_post4    FVARIABLE    T_4#Q_tr/K_4
T_post5_1  FVARIABLE    T_5_1#Q_tr/K_5_1
T_post5_2  FVARIABLE    T_5_2#Q_tr/K_5_2
*-----Начальное состояние
INITIAL    X$N_zajav0,0
INITIAL    X$N_zajav1,0
INITIAL    X$N_zajav2,0
INITIAL    X$N_zajav3,0
INITIAL    X$N_zajav4,0
INITIAL    X$N_zajav5_1,0
INITIAL    X$N_zajav5_2,0

INITIAL    X$T_nar3,0
INITIAL    X$Tt_otk3,t_otk3
*-----Изм.базы генерации
N_G        EQU          1
*=====Сегмент остановки моделирования
*-----Задание вр.моделирования
GENERATE    T_mod
*-----Расчет производных рез. после моделирования
* SAVEVALUE K_ocer3, (SR$Nak3/1000)
*-----Окончание моделирования
TERMINATE  1
START      1
*=====Сегмент основной
*-----РП0 (порт склада внешний)
GENERATE    (Exponential(N_G,0,960)),0,1,V$N_zakaz,10
SPLIT      (Q_jas-1),Met0

```

```

Met0      SEIZE      Gruzcik
          ADVANCE    (T_0#Q_tr)
          RELEASE    Gruzcik
          ENTER      Nak0_zag
          QUEUE      Ocer_TNS
          SEIZE      Kran
          DEPART     Ocer_TNS
          ADVANCE    t_Kran
          LEAVE      Nak0_zag
          ENTER      Sklad
          RELEASE    Kran
          SAVEVALUE  N_zajav0+,1
          TEST NE    X$N_zajav0,(V$N_zajav#2),Stop0
          GATHER     Q_jas
          QUEUE      Ocer_TNS
          SEIZE      Kran
          DEPART     Ocer_TNS
          ADVANCE    t_Kran
          LEAVE      Sklad
          ENTER      Nak0_det
          RELEASE    Kran
          SEIZE      Gruzcik
          ADVANCE    (T_0#Q_tr)
          RELEASE    Gruzcik
          LEAVE      Nak0_det
          SAVEVALUE  N_zajav0+,1
          TEST NE    X$N_zajav0,(V$N_zajav#2),Stop0
          ASSEMBLE   Q_jas
          TERMINATE
Stop0     SAVEVALUE  T_stop0,AC1
          TERMINATE
*-----PI1 (rok)
          GENERATE   ,,1,1
Metka1    ADVANCE    (Exponential(N_G,0,V$T_post1))
          ENTER      Nak1
          QUEUE      Ocer_TNS
          SEIZE      Telegka
          SEIZE      Kran
          DEPART     Ocer_TNS
          ADVANCE    ((Exponential(N_G,t_Tr_min,t_Tr))#2)
          ADVANCE    (t_Kran#2)
          LEAVE      Nak1
          RELEASE    Telegka
          RELEASE    Kran
          SAVEVALUE  N_zajav1+,1
          TEST NE    X$N_zajav1,V$N_zajav,Stop1
          SPLIT      1,Metka1
          TERMINATE
Stop1     SAVEVALUE  T_stop1,AC1
          TERMINATE
*-----PI2 (rok)
          GENERATE   ,,1,1
Metka2    ADVANCE    (Exponential(N_G,0,V$T_post2))

```

```

ENTER          Nak2
QUEUE         Ocer_TNS
SEIZE        Telegka
SEIZE        Kran
DEPART       Ocer_TNS
ADVANCE      ((Exponential(N_G,t_Tr_min,t_Tr))#2)
ADVANCE      (t_Kran#2)
LEAVE        Nak2
RELEASE      Telegka
RELEASE      Kran
SAVEVALUE    N_zajav2+,1
TEST NE     X$N_zajav2,V$N_zajav,Stop2
SPLIT       1,Metka2
TERMINATE
Stop2        SAVEVALUE    T_stop2,AC1
TERMINATE
*-----ПП3(св-фрез)- ЛИМИТИРУЮЩАЯ
GENERATE     ,,1,1,
SAVEVALUE    T_post3,V$T_post3
Metka3       ADVANCE      (Exponential(N_G,0,V$T_post3))
*-----Отказы
SAVEVALUE    T_nar3+,(T_3#Q_tr)
TEST GE     X$T_nar3,X$Tt_otk3,Met3
SEIZE       Remontnik
ADVANCE     (Exponential(N_G,0,t_rem3))
RELEASE     Remontnik
SAVEVALUE    T_nar3,0
SAVEVALUE    Tt_otk3,(Exponential(N_G,0,t_otk3)
*-----
Met3         ENTER        Nak3
QUEUE       Ocer_TNS
SEIZE      Telegka
SEIZE      Kran
DEPART     Ocer_TNS
ADVANCE    ((Exponential(N_G,t_Tr_min,t_Tr))#2)
ADVANCE    (t_Kran#2)
LEAVE     Nak3
RELEASE   Telegka
RELEASE   Kran
*-----Проверка на выполнение программы
SAVEVALUE  N_zajav3+,1
TEST E     X$N_zajav3,V$N_zajav,Cik13
SAVEVALUE  T_stop3,AC1
TERMINATE
*-----Замыкание потока
Cik13       SPLIT       1,Metka
TERMINATE
*-----ПП4(2 шлиф)- С ХАРКТЕРИСТИКАМИ СРЕДНЕЙ РП
GENERATE   ,,1,1,
Metka4     ADVANCE    (Exponential(N_G,0,V$T_post4))
ENTER      Nak4
QUEUE     Ocer_TNS
SEIZE     Telegka

```

```

SEIZE      Kran
DEPART    Ocer_TNS
ADVANCE   ((Exponential(N_G,t_Tr_min,t_Tr))#2)
ADVANCE   (t_Kran#2)
LEAVE     Nak4
RELEASE   Telegka
RELEASE   Kran
SAVEVALUE N_zajav4+,1
TEST NE   X$N_zajav4,V$N_zajav,Stop4
SPLIT     1,Metka4
TERMINATE
Stop4     SAVEVALUE   T_stop4,AC1
          TERMINATE

*-----П15_1(пост ОТК)
          GENERATE    ,, ,1,1
Metka5_1  ADVANCE     ((Exponential(N_G,0,V$T_post5_1))
          ENTER      Nak5
          QUEUE      Ocer_TNS
          SEIZE      Telegka
          SEIZE      Kran
          DEPART    Ocer_TNS
          ADVANCE   ((Exponential(N_G,t_Tr_min,t_Tr))#2)
          ADVANCE   (t_Kran#2)
          LEAVE     Nak5
          RELEASE   Telegka
          RELEASE   Kran

          SAVEVALUE  N_zajav5_1+,1
          TEST NE   X$N_zajav5_1,V$N_zajav,Stop5_1
          SPLIT     1,Metka5_1
          TERMINATE
Stop5_1   SAVEVALUE   T_stop5_1,AC1
          TERMINATE

*-----П15_2(станция компл.паллет)
          GENERATE    ,, ,1,1
          SAVEVALUE  T_post5_2,V$T_post5_2
Metka5_2  ADVANCE     ((Exponential(N_G,0,V$T_post5_2))
          ENTER      Nak5
          QUEUE      Ocer_TNS
          SEIZE      Telegka
          SEIZE      Kran
          DEPART    Ocer_TNS
          ADVANCE   ((Exponential(N_G,t_Tr_min,t_Tr))#2)
          ADVANCE   (t_Kran#2)
          LEAVE     Nak5
          RELEASE   Telegka
          RELEASE   Kran
          SAVEVALUE  N_zajav5_2+,1
          TEST NE   X$N_zajav5_2,(V$N_zajav#5),Stop5_2
          SPLIT     1,Metka5_2
          TERMINATE
Stop5_2   SAVEVALUE   T_stop5_2,AC1
          TERMINATE

```

По результатам моделирования принимаются, отвергаются или конкретизируются ранее выдвинутые предложения или делаются и проверяются новые. Пример одного из проектных решений для нашего случая приводится ниже.

Решение: предложение №3 в части объединения РП принимается, а в части совмещения функций одним человеком отклоняется.

3.5. Рекомендации к разделу «Обобщение результатов моделирования»

Обобщение результатов осуществляем путем уточнения параметров временного баланса и связанных с ними расчетных характеристик РТС из раздела «Грубая прикидка результатов работы РТС методом прямого счета». При этом табл. 7 дополняется столбцами для окончательного варианта РТС, а табл. 8 – еще и строками с новыми выявленными характеристиками.

Обратим внимание, что результаты работы РТС по первоначальному и окончательному вариантам проекта могут мало отличаться. Может сложиться впечатление, что моделирование было бесполезным, раз оно не повлияло на результаты. Это совершенно не так. Результаты и не могут сильно отличаться, потому что они отражают одни и те же показатели назначения РТС и одни и те же ИД. Результаты похожи, но фактически *относятся к двум разным РТС*. Причем изначальный вариант РТС показывает удовлетворительные результаты лишь номинально, а на деле, может их и не обеспечить. В то время как модельно обоснованный вариант эти результаты гарантирует, при этом моделирование может сказать с какой именно вероятностью.

3.6 Рекомендации к разделу «Формирование окончательного варианта проекта РТС по результатам моделирования»

В пособии приведены примеры только части разделов курсового проекта. В других разделах должны рассматриваться и оцениваться различные проектные предложения, направленные на устранение

выявленных ошибок и повышение эффективности РТС. Например, для нашего примера это могут быть следующие предложения.

Предложение №7: на РП №4 применить загрузку двух шлифовальных станков одним роботом.

Ожидаемый эффект: уменьшение капитальных затрат за счет сокращения количества роботов и занимаемых площадей.

Предложение №8: применить двухрядную планировку РТС взамен однорядной.

Ожидаемый эффект: сокращение загрузки транспортной тележки за счет уменьшения пути и времени транспортирования.

Предложение №9: ввести на всех РП пристаночные локальные накопители в виде двухпозиционных поворотных столов емкостью на 2 паллеты. Аналогично для РП №0 входную и выходную ветки оформить в виде рольгангов емкостью (длиной) на 2 паллеты.

Ожидаемый эффект: полное устранение простоев РП, связанных с транспортным обслуживанием за счет совмещения времени работы РП и ТНС.

Предложение №10: применить в алгоритме диспетчирования стыковку и перекрытие операционных партий.

Ожидаемый эффект: сокращение длительности производственного цикла полной обработки партии деталей (времени выполнения заказа). Сопутствующий негативный эффект – появление дополнительных простоев из-за десинхронизации операций.

Предложение №11: уменьшить машинное время обработки на лимитирующей РП №3 за счет ужесточения режимов резания.

Ожидаемый эффект: сокращение загрузки лимитирующей РП до приемлемого уровня. Сопутствующий негативный эффект – дополнительные затраты на инструмент.

Пример оформления планировки РТС по окончательному варианту проекта представлен на рис. 5.(в курсовом проекте помещается в приложение).

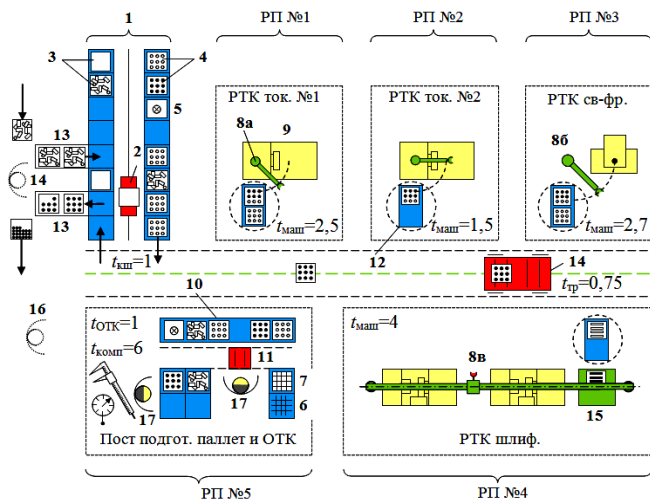


Рис. 5. Планировка роботизированного участка станочной обработки деталей типа тел вращения:

1 – автоматический ярусный стеллажный склад; 2 – кран-штабелер склада; 3 – транспортная оснастка (ящик) пустая или с заготовками; 4 – транспортная оснастка (паллета) с заготовками, межоперационными полуфабрикатами или деталями; 5 – универсальный поддон паллеты; 6 – сменный вкладыш-адаптер паллеты; 7 – снаряженная пустая паллета; 8 – робот загрузки-выгрузки (а – встроенный, б – приставной, в – порталный); 9 – станок; 10 – оперативный накопитель (стеллаж); 11 – распределительная каретка накопителя; 12 – локальный накопитель (поворотный стол); 13 – приемывающий накопитель (рольганги); 14 – автоматическая транспортная тележка; 15 – подающий тактовый стол; 16 – обслуживающий персонал (наладчик, ремонтник, транспортный рабочий); 17 – оперативный персонал (комплектовщик, контролер)

ЛИТЕРАТУРА

- Новичихин, Р. В. Моделирование производственных систем обработки деталей в машино- и приборостроении / Р. В. Новичихин, Е. Р. Новичихина. – Минск : БНТУ, 2010. – 309 с.
- Новичихина, Е. Р. Моделирование производственных систем в среде PIMMS : методическое пособие / Е. Р. Новичихина, П. П. Шардыко. – Минск : БНТУ, 2008. – 24 с.
- Новичихина, Е. Р. Имитационное моделирование систем в среде GPSS : методическое пособие / Е. Р. Новичихина, Р. В. Новичихин. – Минск : БНТУ, 2010. – 42 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 ТЕМА КУРСОВОГО ПРОЕКТА И ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ	4
1.1 Тема	4
1.2 Цель и задачи	4
1.3 Индивидуальные задания	4
2 СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	5
3 ПРИМЕРЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ К ОСНОВНЫМ РАЗДЕЛАМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	7
3.1 Пример раздела «Подготовка исходных данных»	7
3.2 Пример раздела «Грубая прикидка результатов методом прямого счета»	16
3.3 Пример раздела «Моделирование работы станции комплектации»	20
3.4 Пример раздела «Моделирование вспомогательных подсистем РТС методом теории массового обслуживания»	24
3.5 Рекомендации к разделу «Обобщение результатов моделирования»	29
3.6 Рекомендации к разделу «Формирование окончательного варианта проекта РТС по результатам моделирования»	29
Литература	31

Учебное издание

НОВИЧИХИНА Елена Романовна
НОВИЧИХИН Роман Васильевич
ОКОЛОВ Андрей Ромуальдович

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ
ПРОЕКТНЫХ ВАРИАНТОВ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Методическое пособие по курсовому проектированию
по дисциплине «Моделирование и исследование
робототехнических комплексов»
для студентов специальности 1-53 01 06 «Промышленные
роботы и робототехнические комплексы»

Технический редактор *О. В. Песенько*

Подписано в печать 30.04.2013. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 1,92. Уч.-изд. л. 1,50. Тираж 100. Заказ 1388.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.