

Оглавление.

Задание.

Введение.

1. Построение концептуальной модели.

1.1. Анализ задачи.

1.2. Формализация: обоснование применения Q-схем.

1.3. Предварительный расчет.

1.4. Описание переменных, констант, расчетных данных (выходных статистик).

2. Разработка моделирующего алгоритма: блок-схема обобщенного алгоритма имитации, блок-схемы частных алгоритмов имитации.

3. Разработка моделирующей программы, выполнение пробных экспериментов.

4. Планирование эксперимента. Проведение численных экспериментов.

5. Анализ результатов.

5.1. Моделирование улучшенного варианта системы.

5.2. Интерпретация результатов и рекомендации по реализации моделируемой системы.

Список используемой литературы.

В первом разделе рекомендуется привести компактную, но выразительную и достаточно точную схему процесса функционирования системы. На этой схеме следует показать маршруты движения перемещающихся в системе объектов (которые будут моделироваться транзактами), временные задержки этих объектов и места возможного возникновения очередей, добиться четкого представления о логике движения транзакта, обо всех взаимодействиях, возникающих в системе, и нанести на схему соответствующие численные значения заданных параметров. Желательно приблизительно определить соответствие между объектами системы и представляющими их объектами языка программирования.

Для формализации схемы процесса функционирования системы следует воспользоваться аппаратом Q-схем.

Полезно построить график (диаграмму) временного анализа смены состояний элементов моделируемой системы.

Рекомендуется выполнить приблизительное аналитическое исследование системы. Почти всегда можно приближенно или точно рассчитать коэффициенты загрузки ресурсов системы, оценить вероятности тех или иных событий, максимальные и минимальные возможные длительности определенных фаз моделируемого процесса и т.д.

Такой предварительный анализ позволяет понять, где могут возникнуть «узкие места» (обычно они возникают там, где высока загрузка ресурсов) и сформулировать гипотезу о возможных недостатках системы и способах их устранения.

Результативность предварительного анализа зависит от математической подготовки. Поэтому, прежде чем решать задачу проекта, полезно воспользоваться краткими сведениями из теории массового обслуживания, которые приведены в лекциях.

Также необходимо привести описание исходных данных и назначение переменных и постоянных величин, представление в формульном виде выражений, по которым вычисляются оценки искомых характеристик (выходных статистик).

Во втором разделе приводится подробное описание моделирующего алгоритма, в том числе блок-схема обобщенного алгоритма имитации с и блок-схемы частных алгоритмов имитации.

В третьем разделе приводится описание моделирующей программы с приложением программного кода.

Работа предполагает выполнение пробных экспериментов, подтверждающих работоспособность имитационной модели. Здесь могут применяться любые методы и подходы, распространенные в программировании. Соответственно в четвертом разделе приводится характеристика процедуры планирования эксперимента. Целью планирования является экспериментальное определение такого объема статистической выборки, который гарантирует достижение требуемой точности результатов. Также в данном разделе интерпретируются результаты имитационного эксперимента и проверяются гипотезы, сформулированные на этапе аналитического исследования. Предлагаются пути улучшения функционирования системы, усовершенствования ее организации.

Можно изменять параметры системы или ее структуру (организацию функционирования). Необходимо иметь в виду, что параметры внешней среды (такие, как интенсивность поступления заявок из внешней среды, их свойства и т.п.) мы, как правило, на практике менять не можем или весьма в этом ограничены. Изменение же параметров интересующей нас системы, таких как время обработки заявок, объем памяти, правила функционирования системы и т.д. мы можем достаточно свободно изменять, если система еще только проектируется. Поэтому рекомендуется проверить, что дает применение предложенного варианта усовершенствования системы. Для этого соответствующее изменение вносится в моделирующую программу и выполняется моделирование улучшенного варианта системы.

В пятом разделе необходимо дать интерпретацию полученным результатам.

### **Пример представления результатов курсовой работы**

**Постановка задачи:** Из литейного цеха на участок обработки и сборки поступают заготовки через  $20 \pm 5$  мин. Треть из них обрабатывается в течение 60 мин и поступает на комплектацию. Две трети заготовок обрабатывается за 30 мин перед комплектацией, которая требует наличия одной детали первого типа и двух деталей второго. После этого все три детали подаются на сборку, которая занимает  $60 \pm 2$  мин для первой детали и  $60 \pm 8$  мин для двух других, причем они участвуют в сборке одновременно. При наличии на выходе одновременно всех трех деталей изделие покидает участок.

Смоделировать работу участка в течение 100 ч. Определить места образования и характеристики возможных очередей.

### Построение концептуальной модели

Так как из условия задачи не совсем ясно собирается каждая деталь на отдельном участке сборки или оба вида деталей на одном участке, то будут рассмотрены оба варианта: с двумя участками сборки и с одним участком сборки. Структурная схема первого варианта приведена на рис. ПЗ.1, второго – на рис. ПЗ.2.



Рисунок ПЗ.1. Структурная схема модели с двумя участками



Рисунок ПЗ.2. Структурная схема модели с одним участком

Очереди возможны перед сортировкой деталей на первый и второй тип, и, очевидно, перед сборкой деталей.

Очередь формируется по правилу FIFO. В работе будет оцениваться средняя, максимальная длина очереди.

Для рассматриваемой задачи будем использовать алгоритм с изменяющимся шагом, то есть будем строить его по принципу  $\Delta t$ , так как его использование упрощает моделирование системы, и в тоже время, не сильно загружает компьютер, поскольку требуется относительно небольшое количество шагов.

Как известно для формализации процессов функционирования систем, которые по своей сути являются процессами обслуживания, в теории массового обслуживания разработан класс математических схем, которые принято называть системами массового обслуживания или  $Q$ -схемами.

Так как рассматриваемый процесс передачи пакетов по своей сути является процессом, то для его формализации воспользуемся аппаратом  $Q$ -схем.

Используя аналитический метод, базирующийся на теории массового обслуживания, невозможно получить в явном виде искомые характеристики без упрощения модели. Поэтому будем ориентироваться на использование имитационного подхода.

При имитационном моделировании реализующий модель алгоритм воспроизводит процесс функционирования рассматриваемой системы во времени, причем имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени, что позволяет по исходным данным получить сведения о состояниях процесса в определенные моменты времени, дающие возможность оценить характеристики системы.

Имитационные модели позволяют достаточно просто учитывать такие факторы, как наличие дискретных и непрерывных элементов, нелинейные характеристики элементов системы, многочисленные случайные воздействия и другие.

Построим  $Q$ -схемы рассматриваемой системы для варианта с двумя участками сборки (рис. ПЗ.3) и одним участком сборки (рис. ПЗ.4).

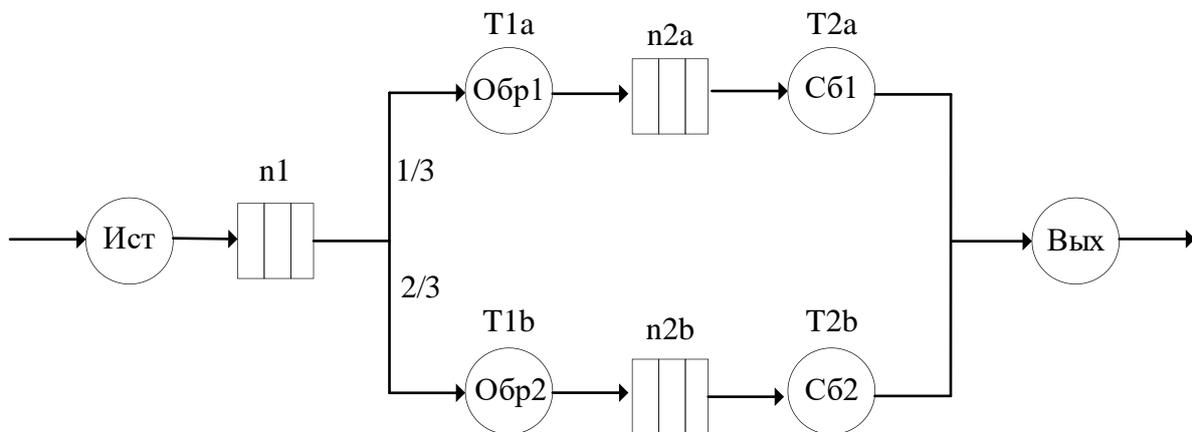


Рисунок ПЗ.3.  $Q$ -схемы системы с двумя участками

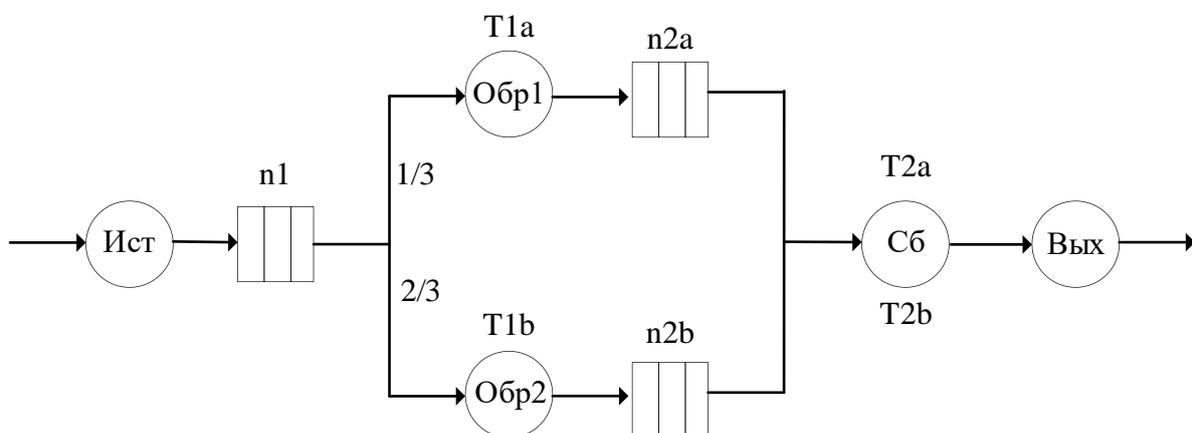


Рисунок ПЗ.4.  $Q$ -схемы системы с одним участком

Обозначения на схеме рис. ПЗ.3:

Ист – источник, генерирует поступление заготовок с периодом  $20 \pm 5$  мин.;

$n_1, n_2, n_3$  – накопитель, очереди поступивших на обработку/сборку заготовок/деталей;

Обр1, Обр2 – участки обработки заготовок;

Сб, Сб1, Сб2 – участки сборки деталей;

Вых – комплектовка и выпуск деталей (1 деталь первого типа и 2 детали второго типа);

$T_{1a}$  – время обработки детали первого типа равно 60 мин.;

$T_{1b}$  – время обработки детали второго типа равно 30 мин.;

$T_{2a}$  – время сборки детали первого типа равно  $60 \pm 2$  мин.;

$T_{2b}$  – время сборки деталей второго типа двух одновременно равно  $60 \pm 8$  мин.;

Рассматриваются следующие характеристики очереди:

– Максимальная длина очереди;

– Средняя длина очереди;

– Распределение длины очереди.

Также оценим выход готовых комплектов.

На вход поступает равномерный поток, то есть объект Ист является генератором непрерывной равномерной случайной величины  $\tau_i$  задающей интервал времени между поступлениями заготовок для деталей. Формула генератора Ист:  $\tau_i = 15 + (25 - 15) \cdot z_i$ , где  $z_i$  –  $i$ -е значение базовой случайной величины. Дисциплина обслуживания – FIFO, время обслуживания для участка обработки – постоянная величина:  $T_{1a} = 60$  мин,  $T_{1b} = 30$  мин. Время обслуживания для участка сборки подчиняется равномерному закону:  $T_{2a} = 58 + (62 - 58) \cdot z_i$ ,  $T_{2b} = 52 + (68 - 52) \cdot z_i$ .

Используемые переменные и константы:

$Z_{1a}, Z_{2a}, Z_{1b}, Z_{2b}$  – флаг занятости приборов сборки и комплектовки деталей первого и второго типов соответственно (принимает значение 0 или 1);

$T_{zag}$  – время поступления заготовки;

$T_n$  – минимальное время поступления заготовки (15 мин., т.к. 15... 25 мин.);

$T_m$  – время моделирования, мин (по заданию 100ч или 6000 мин.);

$T_{tek}$  – текущее системное время;

$T_{1a}, T_{1b}$  – время окончания обработки детали 1 и 2 типа соотв.;

$T_{det1}, T_{det2}$  – время окончания сборки детали 1 и 2 соотв.;

$n_1$  – текущая длина входной очереди (кол-во имеющихся заготовок);

$n_{2a}, n_{2b}$  – текущая длина очереди на сборку;

$n_{2a\_max}, n_{2b\_max}$  – максимальная длина очереди деталей 1 и 2 типа перед обработкой и сборкой соотв.;

$n_{3a}, n_{3b}$  – готовые детали собираемые на выпуск из цеха;

$n_{1\_1} - n_{1\_10}$  – количество раз образуется очередь длиной 1 – 10 заготовок;

$n_{sr}$  – средняя длина очереди поступающих заготовок;  
 $n_{max}$  – максимальная длина очереди поступающих заготовок;  
 $i$  – количество выпущенных комплектов.

Средняя длина очереди будет оцениваться после 100 ч моделирования, как отношение суммы зафиксированных длин очередей в каждом цикле к числу циклов.

Функция распределения вероятностей длины очереди будет строиться следующим образом:

1. Вычислены вероятности длин очередей, принимающих значения, равные  $1, 2, \dots, n_{max}$ , где  $n_{max}$  – максимальное значение длины очереди, зафиксированное на всем времени имитационного моделирования.
2. Построить распределение найденных вероятностей.

### **Разработка моделирующего алгоритма**

Согласно выбранному методу моделирования, необходимо организовать основной цикл, отсчитывающий время (принят минимальный квант времени равный 1 мин), который завершается по достижении 6000 (100 ч). Далее генерируем поступление заготовок с периодом  $20 \pm 5$  мин. Далее проверяем наличие заготовки, если имеется, то ищем свободный участок обработки и отправляем заготовку на него. Если свободного участка нет, то есть оба участка заняты, то заготовка остается в очереди. Проверяем момент окончания обработки, если готово, то освобождаем соответствующий участок и передаем полученную деталь в очередь на сборку. Далее проверяем, свободен ли участок сборки и наличие деталей готовых на сборку, при выполнении обоих условий, передаем детали на сборку и занимаем соотв. участок на заданное время. Для варианта с одним сборочным участком, также проверяем, каких готовых после обработки деталей больше, для балансировки выходного комплекта. В отсутствии такой проверки происходит перекос, т.к. первых деталей требуется вдвое меньше, чем вторых. Проверяем окончание сборки, если готово, то освобождаем участок сборки и передаем деталь(и) на комплектовку, где требуется 1 деталь первого типа и 2 детали второго. При наборе нужного количества, весь комплект покидает конвейер. Также в процессе работы набирается статистика по максимальным очередям, распределение длины входной очереди, количество готовых комплектов.

По завершении основного цикла, рассчитывается средняя длина входной очереди, и выводятся результаты моделирования.

На рис. ПЗ.5 – ПЗ.10 приведены блок-схемы общего и частных моделирующих алгоритмов

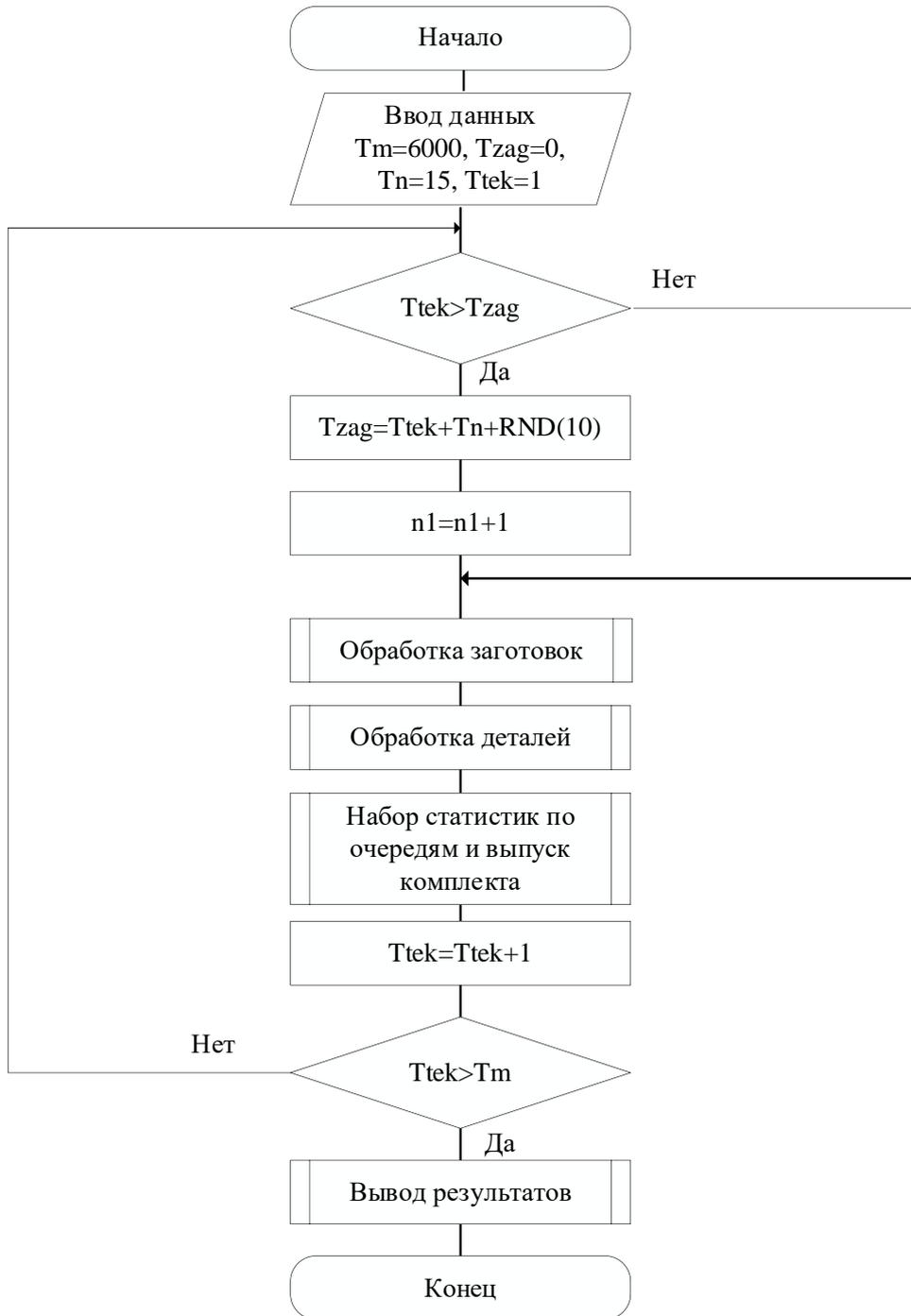


Рисунок П.3.5. Блок-схема обобщенного алгоритма имитации

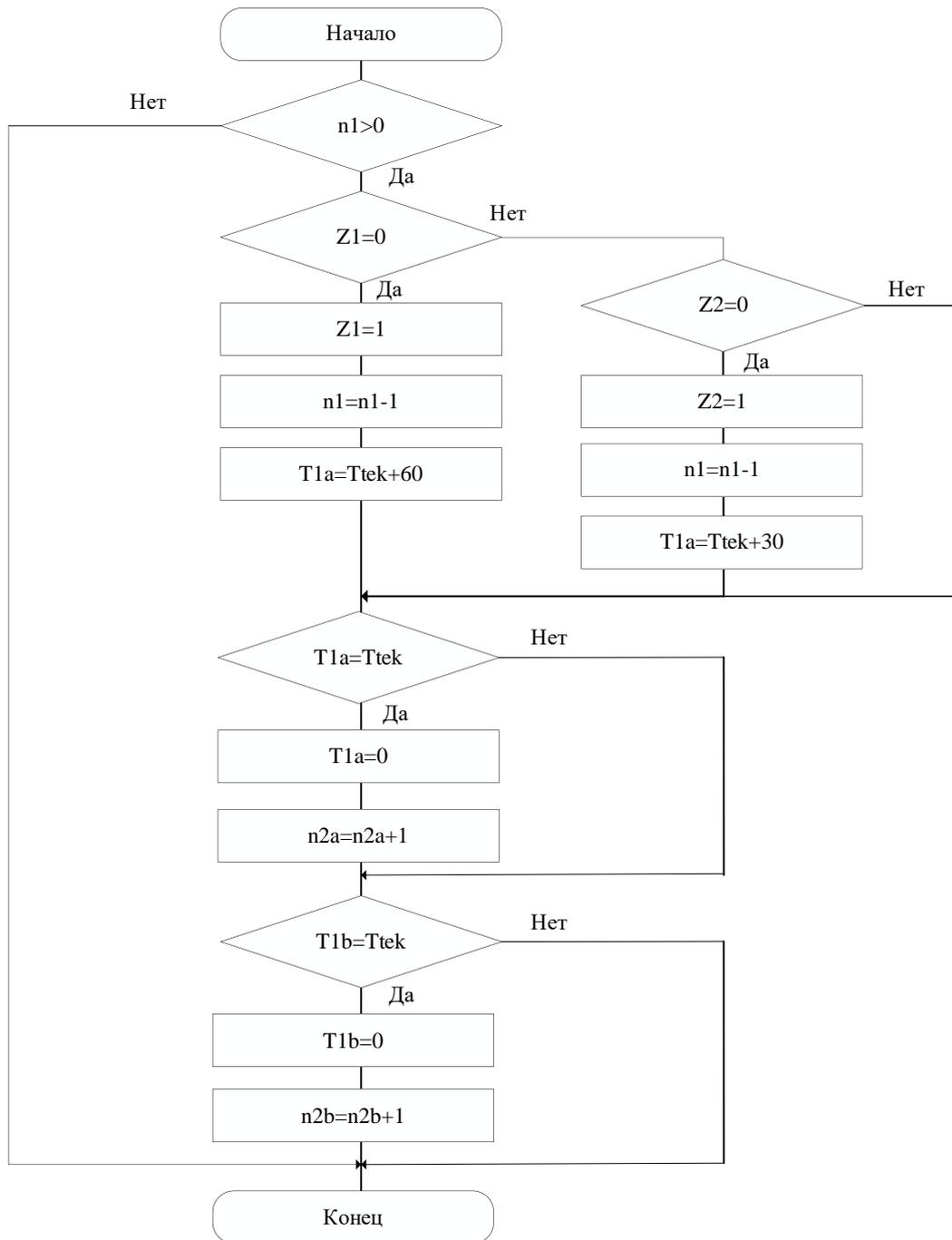


Рисунок ПЗ.6. Блок-схема частного алгоритма обработки заготовок

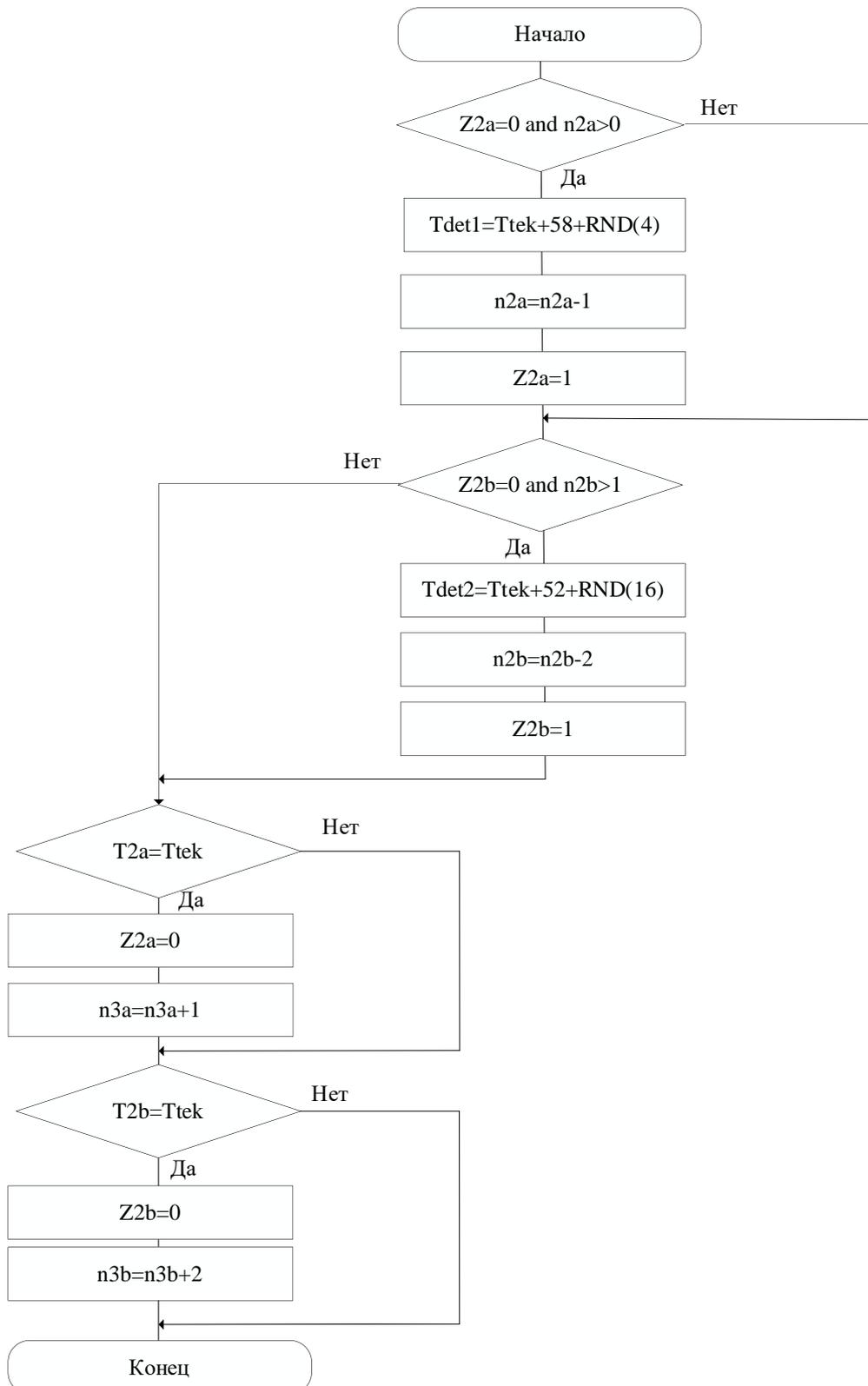


Рисунок ПЗ.7. Блок-схема частного алгоритма сборки деталей (вариант с двумя сборочными участками)

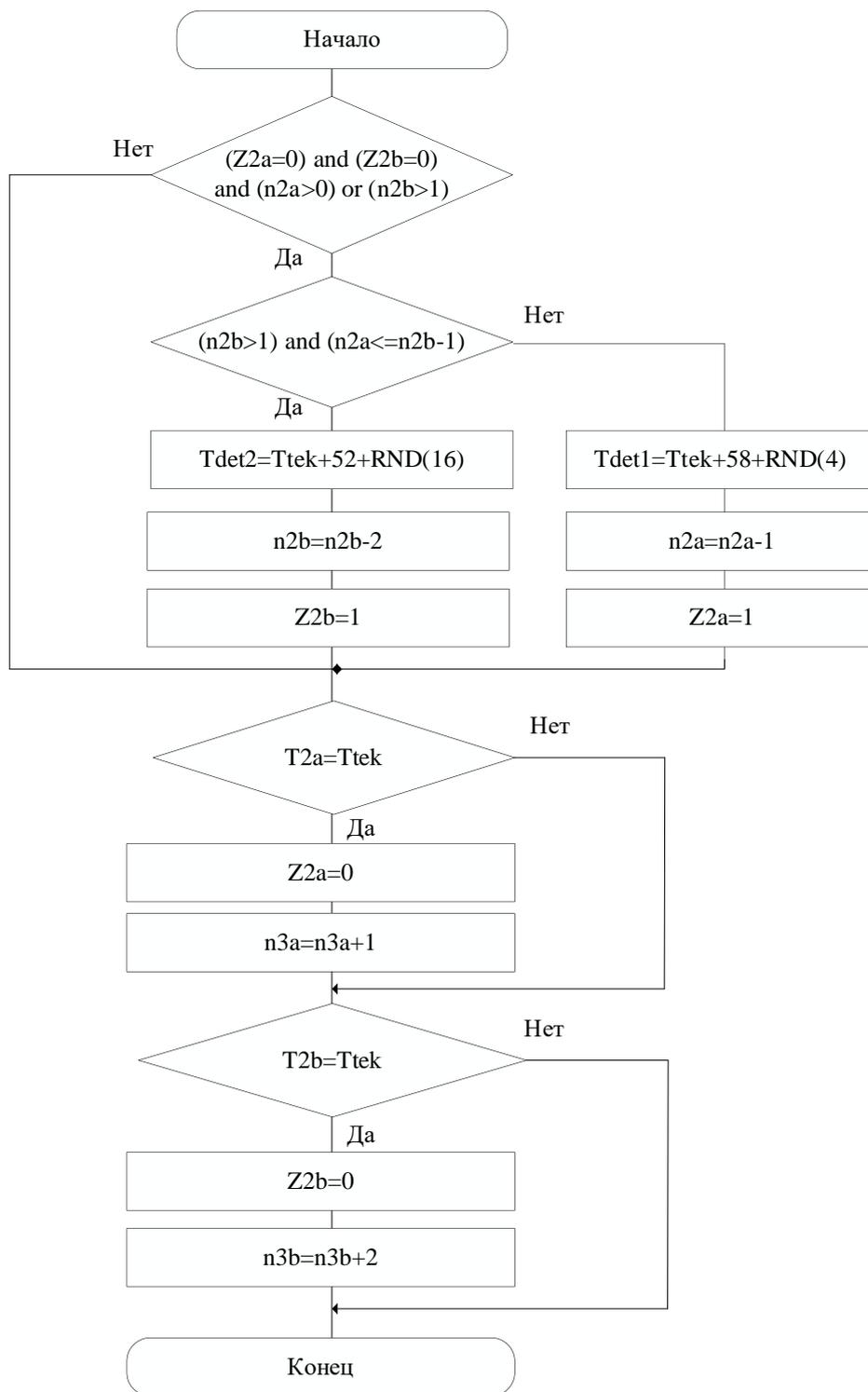


Рисунок ПЗ.8. Блок-схема частного алгоритма сборки деталей (вариант с одним сборочным участком)

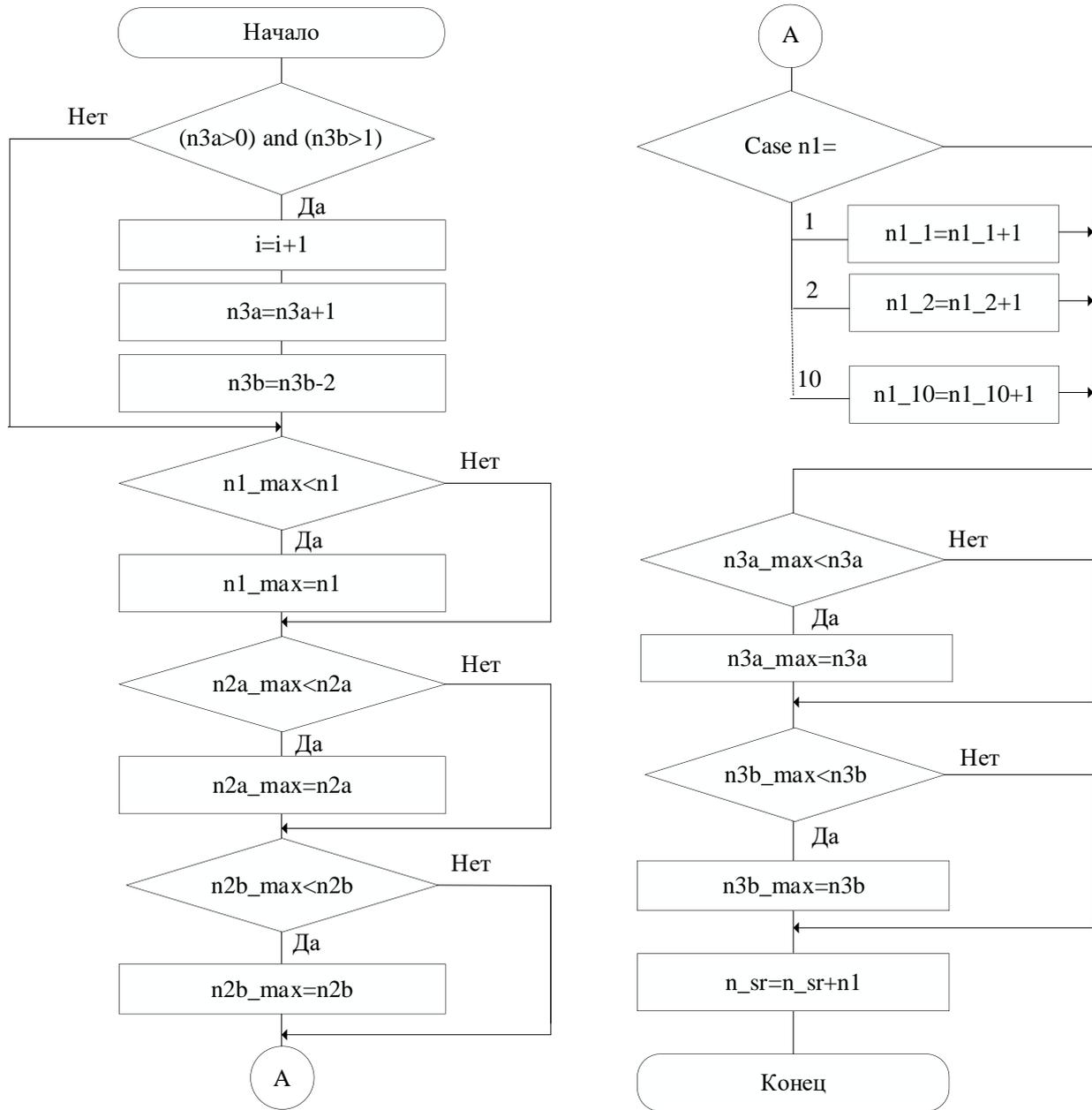
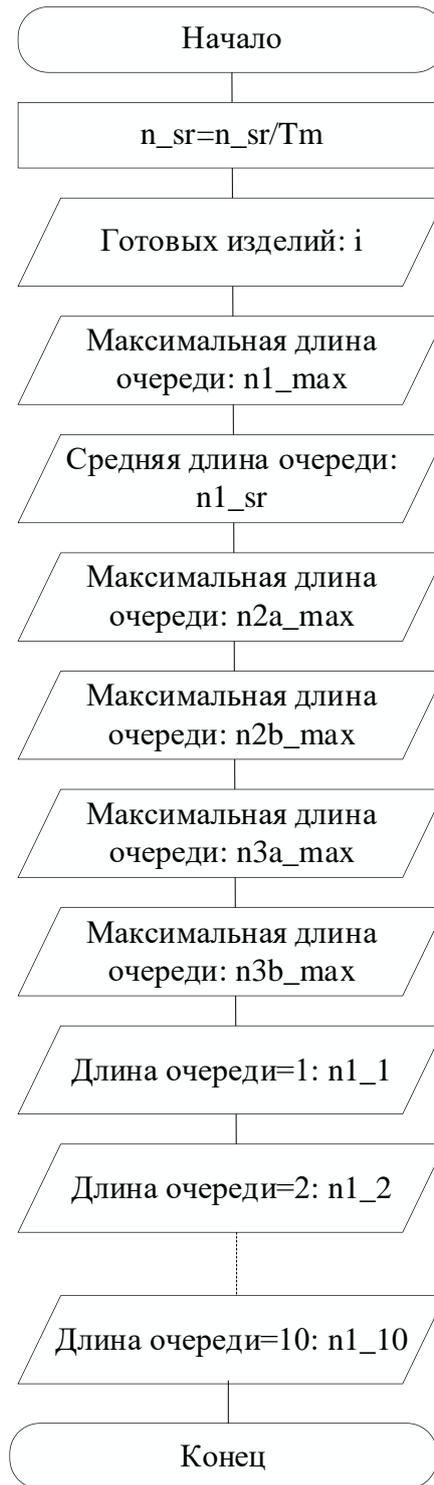


Рисунок ПЗ.9. Блок-схема частного алгоритма сбора статистик по очередям и выпуск комплекта



*Рисунок ПЗ.10. Блок-схема частного алгоритма вывода результатов*

### **Проведение численного эксперимента**

В табл. ПЗ.1 приведены результаты 10-ти запусков моделирующей программы вариант с двумя участками сборки.

*Результаты запусков имитационной модели с двумя участками сборки*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i	93	93	94	93	94	93	94	93	93	92
n1_max	2	2	3	2	4	3	3	3	2	2
n1_sr	0,346	0,481	0,863	0,391	1,226	0,611	0,826	0,486	0,395	0,399
n2a_m	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
n2b_m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
n3a_m	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2
n3b_m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n1_1	1905	2383	3438	2161	1665	2377	2501	2092	2128	1935
n1_2	86	253	863	94	1404	633	997	405	122	229
n1_3	0	0	6	0	772	8	154	4	0	0
n1_4	0	0	0	0	142	0	0	0	0	0
n1_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

где: i – количество выпущенных комплектов;

n1\_max – максимальная длина очереди заготовок;

n1\_sr – средняя длина очереди заготовок;

n2a\_m – максимальная длина очереди на сборку деталей типа 1;

n2b\_m – максимальная длина очереди на сборку деталей типа 2;

n3a\_m – максимальная длина очереди на комплектовку деталей типа 1;

n3b\_m – максимальная длина очереди на комплектовку деталей типа 2;

n1\_1...n1\_10 – распределение длины входной очереди (то есть сколько раз очередь была длиной от 1 до 10 соотв.).

В табл. ПЗ.2 приведены результаты 5-ти запусков моделирующей программы вариант с одним участком сборки.

*Таблица ПЗ.2*
*Результаты запусков имитационной модели с одним участком сборки*

	1	2	3	4	5
i	34	34	34	34	33
n1_max	2	2	3	3	2
n1_sr	0,39	0,41	0,57	0,77	0,70
n2a_m	62	61	60	63	64
n2b_m	63	62	61	63	66
n3a_m	1	1	1	1	1
n3b_m	58	58	58	60	60
n1_1	2162	2101	1774	3028	3259
n1_2	94	166	777	769	477
n1_3	0	0	23	28	0
n1_4	0	0	0	0	0

Анализ результатов моделирования табл. ПЗ.2 позволяет сделать вывод о том, что вариант с одним участком сборки неприемлемым, так как значительно возрастают очереди на участок сборки, существенно уменьшился выпуск готовых комплектов (со средних 94 до 34 комплектов за весь период). При этом входная очередь осталась практически без изменений. Таким образом, для сохранения выпуска комплектов, необходимо иметь два участка сборки или существенно уменьшить время, затрачиваемое на сборку, что вряд ли возможно.

В табл. ПЗ.3 приведены результаты 10-ти запусков моделирующей программы вариант с двумя участками сборки, при этом уменьшено среднее время поступления заготовок на 1 мин. (т.е.  $19 \pm 5$  мин.).

*Таблица ПЗ.3*

*Результаты запусков имитационной модели с двумя участками сборки*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i	95	95	94	95	95	95	94	94	95	95
n1_max	10	6	8	9	11	9	10	10	12	6
n1_sr	5,33	2,96	4,02	5,55	4,51	3,76	4,86	4,53	6,94	2,31
n2a_m	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
n2b_m	2	3	2	2	3	3	3	3	2	2
n3a_m	2	3	2	2	2	3	3	3	2	3
n3b_m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n1_1	284	756	721	548	637	894	797	616	241	1731
n1_2	387	972	991	609	813	938	799	662	427	1404
n1_3	543	1272	433	422	387	621	552	549	330	580
n1_4	623	1862	387	366	493	664	376	1104	364	948
n1_5	699	711	1020	201	1027	641	313	822	305	711
n1_6	1026	43	1405	497	676	912	411	304	325	40
n1_7	1248	0	704	1246	383	299	808	303	699	0
n1_8	753	0	15	1661	125	380	1126	719	590	0
n1_9	249	0	0	312	331	164	476	564	867	0
n1_10	16	0	0	0	454	0	63	32	1087	0

В табл. ПЗ.4 приведены результаты 5-ти запусков моделирующей программы вариант с двумя участками сборки и времени моделирования увеличенным до 1000 ч. (по заданию 100 ч.) (заготовки поступают с периодом  $20 \pm 5$  мин.).

*Таблица ПЗ.4*

*Результаты запусков имитационной модели с одним участком сборки*

	1	2	3	4	5
i	948	949	952	949	954
n1_max	4	4	3	3	5

n1_sr	0,61	0,64	0,67	0,54	0,86
n2a_m	1	1	1	1	1
n2b_m	3	2	3	3	3
n3a_m	13	12	11	11	14
n3b_m	0	0	0	0	0
n1_1	24837	23581	24324	24139	24172
n1_2	5054	5983	7315	3801	7891
n1_3	584	854	465	200	1993
n1_4	20	27	0	0	1103
n1_5	0	0	0	0	207

Из анализа результатов моделирования табл. ПЗ.4 очевидно, что средняя входная очередь осталась примерно такая же, как для времени моделирования за 100ч. Это говорит о хорошей стабильности системы.

### Анализ и интерпретация результатов

Из таблицы 1 видно, что наибольшая очередь образуется перед участком обработки. Средний выпуск комплектовок составляет 93 набора. В среднем входная очередь – 0,6 заготовок. Наибольшая очередь достигает 4. Данные результаты означают, что в полученной модели несколько не догружены участки сборки. На рис. ПЗ.11 приведен график распределения входной очереди.

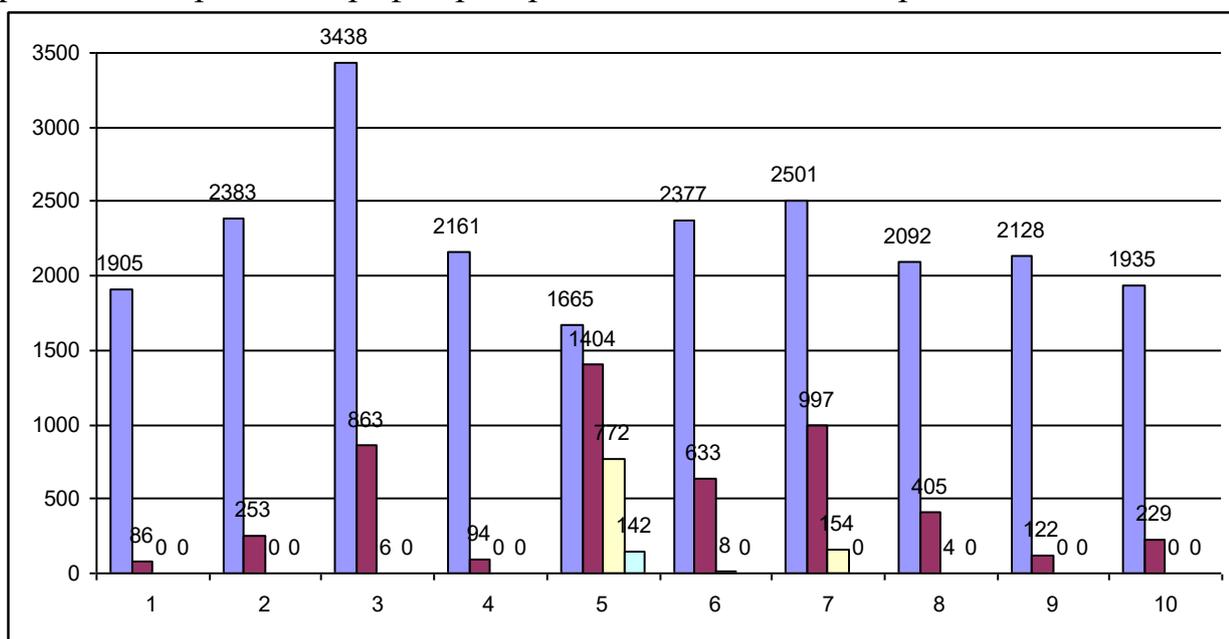


Рисунок ПЗ.11. Распределение входной очереди

Наиболее часто очередь на входе небольшая, то есть заготовки не простаивают, что хорошо сказывается на конечном результате.

Для эксперимента, было уменьшено среднее время поступления заготовок на участок обработки, результаты показаны в таблице 3. Отсюда видно, что входная очередь значительно выросла (средняя очередь увеличилась с 0,6 до 4,5), при этом средний выход итоговых комплектовок увеличился незначительно (с 94 до 95

комплектов за 100 ч). Очевидно, при моделировании на более длительный промежуток времени, например, 1000 ч, входная очередь еще более возрастет, что является не выгодным, т.к. будет происходить перепроизводство заготовок, т.е. их некуда будет девать. Поэтому чаще поставлять заготовки не имеет смысла из-за недостаточной производительности последующих участков. На графике рис. ПЗ.12 изображено распределение входной очереди при времени поступления заготовок  $19 \pm 5$  мин.

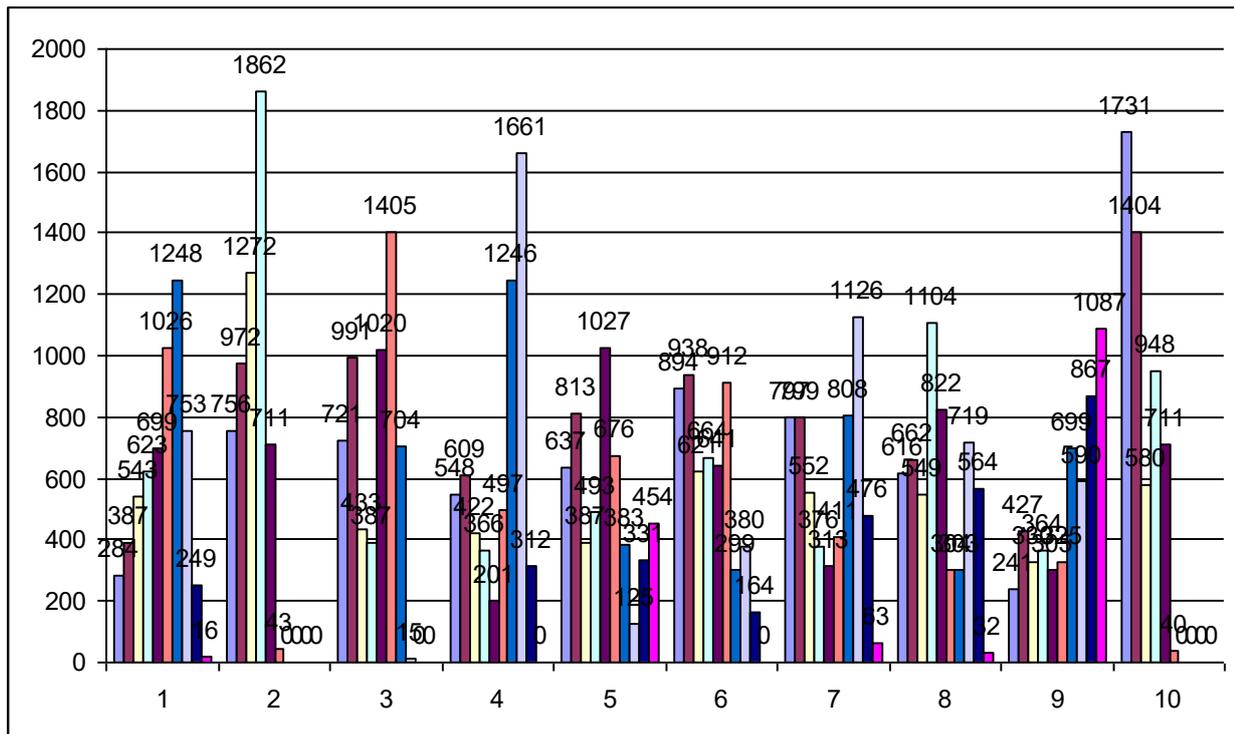


Рисунок ПЗ.12. Распределение входной очереди

На рис. ПЗ.13 приведен график распределения средней длины входной очереди

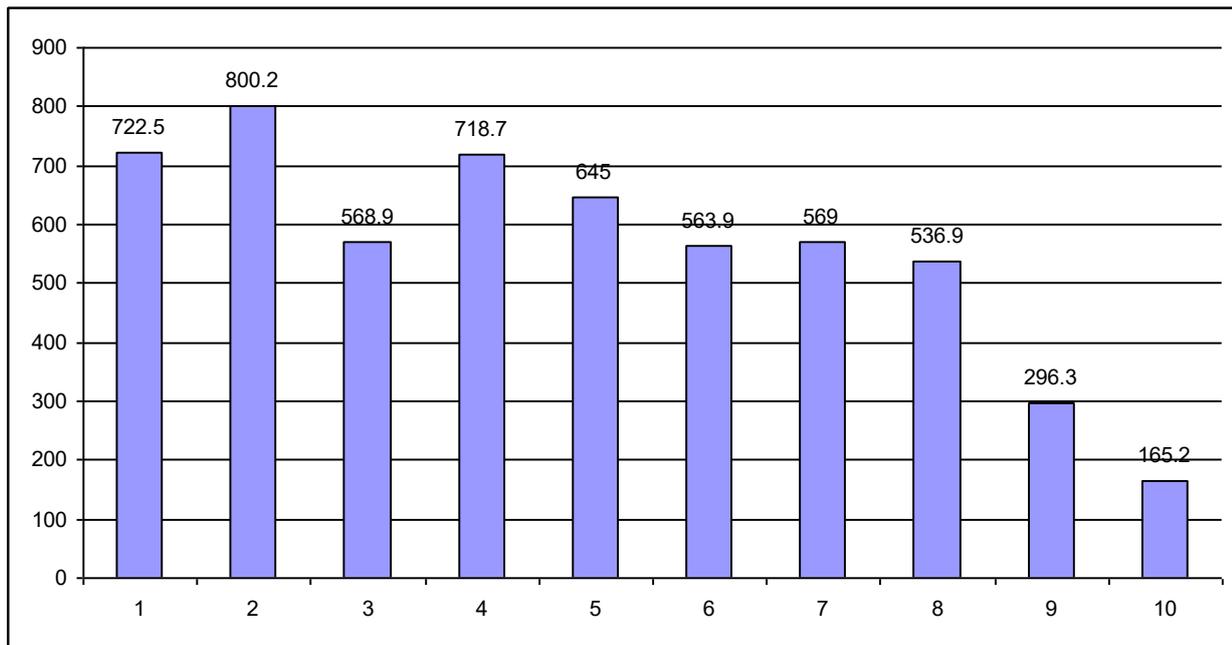


Рисунок ПЗ.13. Распределение средней длины входной очереди

По графику рис. ПЗ.13 видно, что входная очередь содержит до 10 и более заготовок, то есть очередь постоянно растет и при большем времени моделирования произойдет перевыполнение заготовок.

### Рекомендации по реализации моделируемой системы

Из результатов моделирования видно, что по условию задачи начальные параметры заданы наиболее оптимально, поскольку увеличение средней частоты поступления заготовок лишь на одну минуту приводит к значительному возрастанию очереди на входе, при этом выход готовых комплектов увеличивается незначительно. Уменьшать еще на 1 мин. среднее время поступления заготовок не имеет смысла ввиду еще большего увеличения входной очереди. Более длительное время моделирования, увеличенное с 100 ч до 1000 ч незначительно влияет на результат (то есть длины очередей, с соответствующим увеличением выхода), что говорит о хорошей сбалансированности системы.

Вариант с одним сборочным участком не годится из-за образования значительных очередей на входе в этот участок, при этом выпуск готовых комплектов значительно меньше, чем для варианта с двумя сборочными участками.