электронный научно-технический журнал
ИНЖЕНЕРНЫЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51036. ISSN 2307-0595

Моделирование работы производственной системы с использованием аналитической теории сетей массового обслуживания

10, октябрь 2014

Матвеев С. Г., Балихин А. О.

УДК: 338.32

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана
matveevsg@yandex.ru

Введение

Поиск скрытых резервов производства для руководителей предприятий является одной из наиболее важных управленческих задач. В периоды роста спроса на выпускаемую предприятием продукцию, когда появляются возможности выхода на новые сегменты рынка, особо актуальными становятся задачи обоснования возможных вариантов увеличения объемов производства продукции, сокращения производственного цикла ее изготовления, сокращения объемов незавершенного производства.

Решение этих задач требует комплексного использования теоретических инструментов из различных областей знаний: технологии, организации и планирования производства, производственной логистики, математического моделирования. Подготовка вариантов управленческих решений с использованием таких сложных комплексных задач входит в сферу деятельности оперативного контроллинга на предприятии [1]. Одним из инструментов, который может использоваться для решения перечисленных задач, является математическое моделирование работы производственных систем (ПС) с использованием теории сетей массового обслуживания (СеМО).

Математический аппарат аналитической теории СеМО целесообразно использовать для описания работы многономенклатурных ПС. Это связано с тем, что временные характеристики материальных потоков на входе и внутри таких ПС, как правило, носят сложный стохастический характер. Такие потоки целесообразно описывать как пуассоновские или простейшие потоки событий [2]. Время выполнения операций в многономенклатурных ПС, во многих случаях, не может рассматриваться как детерминированная величина. Их целесообразно описывать как случайные величины. Погрешность моделирования с использованием теории СеМО, как правило, не превышает 5-7% и лежит в пределах точности исходных данных, которая может достигать нескольких десятков процентов.

Алгоритм разработки аналитической модели работы ПС с использованием теории сетей массового обслуживания включает четыре этапа.

Этап 1. Формирование исходных данных об интенсивности входящего в ПС потока объектов производства, определение технологических маршрутов выполнения технологических и транспортных операций, трудоемкости и станкоемкости работ на каждой рабочей позиции (РП).

Этап 2. Расчет интенсивностей материальных потоков между РП (фазами СеМО), построение матрицы и графа потоков между ними.

Этап 3. Проверочный расчет требуемого количества каналов (количества оборудования) на каждой РП и коэффициентов их загрузки.

Этап 4. Расчет основных показателей работы каждой РП и интегральных показателей работы всей ПС.

В качестве примера для разработки аналитической модели работы ПС был выбран участок ремонта колесных пар цеха № 6 ОАО «Московского локомотиворемонтного завода» (МЛРЗ). Основным направлением работ МЛРЗ является капитальный ремонт вагонов пригородных электропоездов для ОАО «Российские железные дороги». В 2012 году заводом было отремонтировано более 550 вагонов. Однако потенциальная потребность в ремонтах значительно выше. Руководством предприятия планируется в ближайшее время увеличение объемов ремонтных работ более чем в 1,5 раза. Это связано с развивающейся транспортной инфраструктурой Москвы и Московской области, а также с потенциальным освоением нового направления ремонтных работ - ремонтом вагонов Московского метрополитена, интенсивно развивающегося в последние годы.

Общие объемы выпуска заводом отремонтированного подвижного состава в значительной мере зависят от пропускной способности колесно-тележечного цеха № 6. Цех № 6 является одним из ключевых производственных подразделений МЛРЗ, поскольку в этом цехе производятся наиболее сложные и ответственные ремонтные работы. Основным направлением работ цеха является ремонт тележек и колесных пар. Цех имеет два основных участка - тележечный и колесный. На тележечном участке осуществляется дефектоскопия тележки и ее ремонт. Участок ремонта колесных пар характеризуется существенно более высокой трудоемкостью по сравнению с другими ремонтными работами на заводе. Поскольку исправность колесных пар является основой безопасного использования подвижного состава, к качеству ремонтных работ на этом участке предъявляются особо жесткие требования.

Таким образом, решение актуальной для МЛРЗ задачи увеличения объема работ по ремонту вагонов электропоездов в значительной мере зависит от возможности увеличения пропускной способности участка ремонта колесных пар (КП).

Необходимо отметить, что временные характеристики материальных потоков на входе и внутри участка носят сложный стохастический характер, что, в частности, не позволяет использовать принципы поточного производства с жестким тактом выпуска продукции. Так, поскольку интервалы времени поступления КП на участок зависят от множе-

ства внешних заказчиков, множества внешних случайных факторов, то входной поток КП на участок можно рассматривать как сумму множества случайных потоков событий, которую можно описывать как простейший поток событий. Время выполнения операций по ремонту и перемещению КП внутри участка не может рассматриваться как детерминированная величина ввиду специфики ремонтных работ. Это время в значительной мере определяется степенью износа поступивших в ремонт КП. На практике время ремонта подавляющей части КП близко к среднему нормативному операционному времени и только для сравнительно небольшой части сильно изношенных КП значительно выше среднего значения. Для описания таких случайных величин целесообразно использовать показательный (экспоненциальный) закон распределения [3]. Все это обусловливает целесообразность использования математического аппарата аналитической теории СеМО для моделирования работы участка ремонта КП.

Этап 1. Формирование исходных данных об интенсивности потока объектов производства на входе в производственную систему

При формировании исходных данных для построения модели учитывалось, что ремонтируемый в настоящее время подвижной состав состоит из шести серий электропоездов, которые могут иметь 16 различных серий КП, которые будем обозначать индексом l. Каждый электропоезд, в свою очередь, состоит из двух типов вагонов: прицепных и моторных, имеющих также два типа КП: соответственно моторные и прицепные. Обозначим тип КП через r. В 2012 году объем поступления двух типов КП составил 2200 шт./год. Эта величина является интенсивностью входного потока в производственную систему, которую будем обозначать через λ. Данные о структуре ремонтируемых КП для различных серий электропоездов и интенсивностях входных потоков приведены в табл. 1.

Таблица 1.Серии ремонтируемых электропоездов, структура КП их количество

Серии электропоездов	**Серии КП**		**Интенсивности входного потока λ_l и λ_{lr}, шт./год**		
	Обозначение серий КП	**Индекс серии КП *l***	**λ_l**	**λ_{lr} при r=1 (моторные КП)**	**λ_{lr} при r=2 (прицепные КП)**
ЭД	ЭР2Т	1	220	110	110
	ЭР2Р	2	220	110	110
	ЭД	3	550	275	275
	С203	4	110	55	55
ЭР2Р	ЭР2Т	5	99	49	50
	ЭР2Р	6	99	49	50
	ЭД	7	220	110	110
	С203	8	22	11	11
ЭР2Т	ЭР2Т	9	99	49	50
	ЭР2Р	10	99	49	50
	ЭД	11	220	110	110
	С203	12	22	11	11
ЭР2	ЭР2	13	55	27	28
	С200	14	55	27	28
ЭМ2	ЭР2	15	55	27	28
	С200	16	55	27	28
Итого:			2200	1096	1104

Интенсивность входного потока рассчитывается по формуле:

$$\lambda = \sum_{l=1}^{16} \lambda_l = \sum_{l=1}^{16} \sum_{r=1}^{2} \lambda_{lr} \qquad (1)$$

Технология выполнения работ по ремонту моторных и прицепных КП значительно различается. Данные о последовательности выполнения технологических операций, принятые обозначения и индексация рабочих позиций (РП), на которых выполняются данные операции и среднее время выполнения ремонтных работ (τ_j на j-х РП) для моторных прицепных КП приведены соответственно в табл. 2 и 3.

План расположения оборудования на участке ремонта КП в колесно-тележечном ремонтном цехе № 6 МЛРЗ приведен на рис 1. На плане на площадях участка приведено обозначение РП, на которых выполняются основные технологические операции в соответствии с данными табл. 2 и 3.

Перемещение ремонтируемых КП между РП участка может осуществляться различными способами. Для разработки модели был выбран следующий вариант организации перемещения КП между РП:

- перемещение моторных и прицепных КП между РП 1-2-3-4-5 и моторных КП между РП 19-20-21 осуществляется без использования механизированных транспортных средств;
- перемещение моторных КП между РП 14-15-16 и прицепных КП между РП 24-25 осуществляется с использованием участковой кран-балки, которую будем обозначать как рабочую транспортную позицию РП 22. Среднее время выполнения краном одной транспортной операции кран-балкой составляет 2 мин.;
- перемещение моторных КП между РП 5-6-7-8-9-10-11-12-13-14 и между РП 16-17-18-19, а также прицепных КП между РП 5-24 осуществляется с использованием цеховых кранов, которые будем обозначать как рабочую транспортную позицию РП 23. Среднее время выполнения краном одной транспортной операции краном составляет 5 мин.

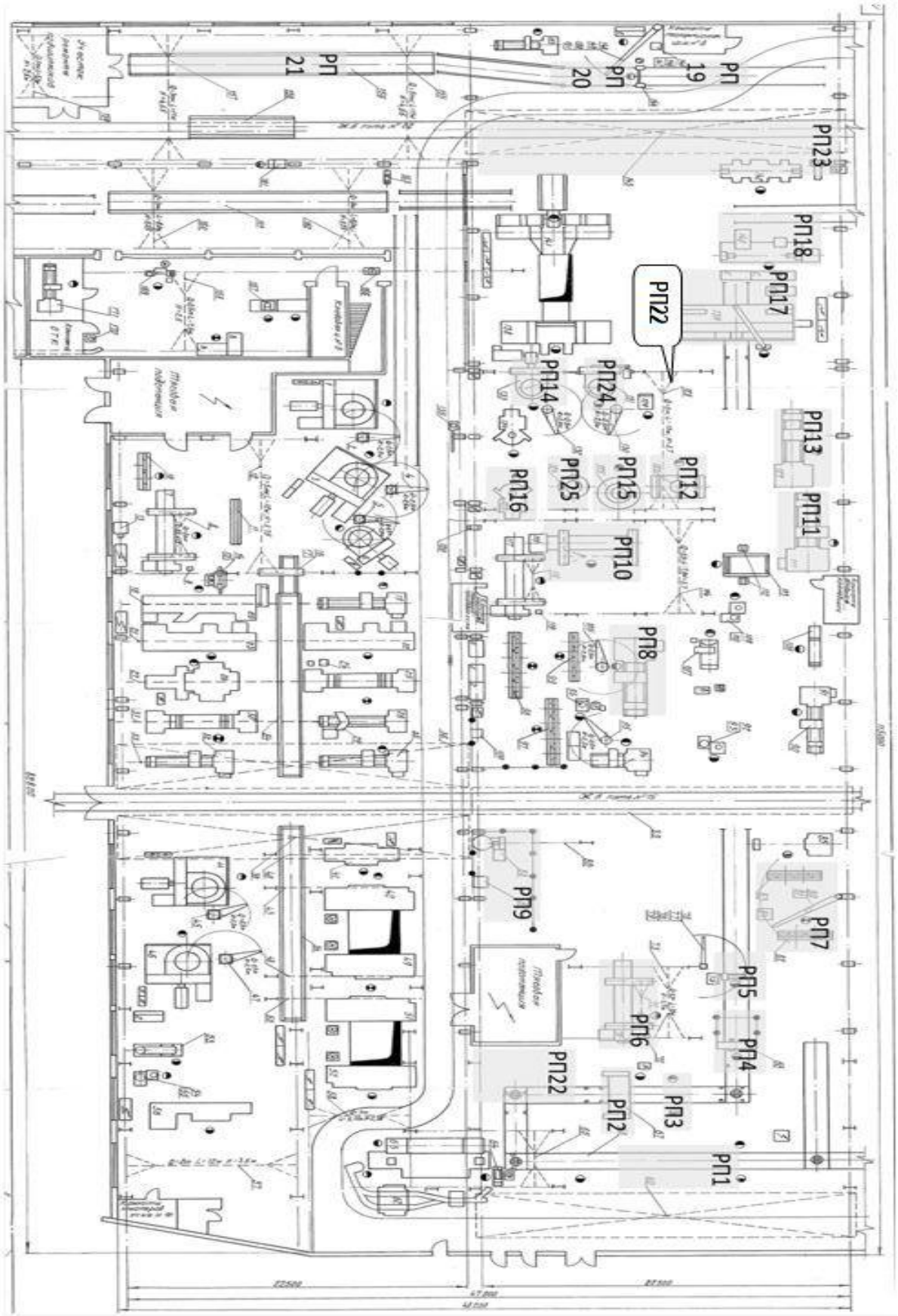

Рис. 1. План расположения оборудования в колесно-тележечном ремонтном цехе № 6 МЛРЗ

Таблица 2. Данные о последовательности выполнения технологических операций, принятые обозначения для РП и среднее время выполнения ремонтных работ для моторных КП

Индекс рабочей позиции *j*	Обозначение рабочей позиции	Технологические операции	Среднее время работ τ_j, мин.	Используемое оборудование, инструмент, вспомогательные материалы
1	РП1	Демонтаж буксового узла	10	Гайковерт
2	РП2	Мойка	15	Моечная машина
3	РП3	Снятие колец	5	Универсальный индукционный нагреватель
4	РП4	Зачистка средней части оси	10	Наждачный круг
5	РП5	Проверка состояния	10	Магнитно-порошковая дефектоскопия. Порошок марки ПЖ6ВМ
6	РП6	Расперссовка	30	Расперессовочный пресс
7	РП7	Демонтаж опорного узла	60	Ручной слесарный инструмент
8	РП8	Ревизия призонных болтов	30	Молоток
9	РП9	Монтаж опорного узла	90	Ручной слесарный инструмент
10	РП10	Запрессовка	15	Запрессовочный пресс
11	РП11	Вырезка бандажного кольца	90	Станок ДИП-500
12	РП12	Съем бандажей	50	Индукционное горно
13	РП13	Проточка обода	20	Станок ДИП-500
14	РП14	Проточка бандажа	45	Станок МФ3
15	РП15	Насадка бандажей	50	Завальцовочный пресс, индукционное горно
16	РП16	Завальцовка бандажа	25	Завальцовочный пресс
17	РП17	Обточка бандажей	10	Колесно-токарный станок КЗТС
18	РП18	Шлифовка шеек	7	Станок ДИП-500
19	РП19	Приемка	20	
20	РП20	Проверка состояния	10	Магнитно-порошковая дефектоскопия. Порошок марки ПЖ6ВМ
21	РП21	Монтаж буксового узла	10	Гайковерт

Таблица 3. Данные о последовательности выполнения технологических операций, принятые обозначения для РП и среднее время выполнения ремонтных работ для прицепных КП

Индекс рабочей пози-ции *j*	Обозна-чение рабочей пози-ции	Технологические операции	Среднее время работ τ_j, мин.	Используемое оборудование, инструмент, вспомогательные материалы
1	РП1	Демонтаж буксового узла	10	Гайковерт
2	РП2	Мойка	15	Моечная машина
3	РП3	Снятие колец	5	Универсальный индукционный нагреватель
4	РП4	Зачистка средней части оси	10	Наждачный круг
5	РП5	Проверка состояния	10	Магнитно-порошковая дефектоскопия. Порошок марки ПЖ6ВМ
24	РП24	Обточка подступичной части шейки	15	Станок Рофамет
25	РП25	Установка нового колеса	5	Ручной слесарный инструмент

Этап 2. Расчет интенсивностей материальных потоков внутри участка, построение матрицы потоков между рабочими позициями

Данные о структуре ремонтируемых КП, интенсивностях λ, λ_l, λ_{lr} входного потока КП разных типов (табл. 1), данных о последовательности выполнения технологических операций (табл. 2 и 3), принятом варианте организации перемещения позволяют провести расчет интенсивностей материальных потоков между РП λ_{ij}, λ_{rij} и интенсивностей материальных потоков, поступающих в j-ую РП λ_j:,

$$\lambda_{ij} = \sum_{l=1}^{16} \lambda_{lij} = \sum_{l=1}^{16} \sum_{r=1}^{2} \lambda_{lrij}, \qquad \lambda_{rij} = \sum_{l=1}^{16} \lambda_{lrij}, \qquad \lambda_j = \sum_{l=1}^{16} \sum_{r=1}^{2} \sum_{i=1}^{25} \lambda_{lrij}, \tag{2}$$

где i - индекс РП, из которой выходит поток, j - индекс РП, в которую поток входит, λ_{lrij} – интенсивность потока КП l-ой серии, r-ого типа, выходящего из i-ой РП и входящего в j-ую РП. В результате формируется матрица интенсивностей потоков Λ на участке:

$$\Lambda = \left\| \lambda_{ij} \right\|. \tag{3}$$

Результаты расчета параметров матрицы Λ интенсивностей материальных потоков между РП на участке приведены в табл. 4.

Этап 3. Проверочный расчет требуемого количества оборудования и коэффициентов их загрузки

Расчет величин n_j - требуемого количества каналов (количества оборудования) на каждой РП осуществляется по формуле:

$$n_j = \left[\frac{\sum_{i=1}^{25} \lambda_{ij} \cdot (\tau_j / 60)}{\Phi_j} + 1 \right], \tag{4}$$

где $[\cdot]$ - функция целой части числа; Φ_j – эффективный годовой фонд времени работы j-ой РП, ч/год.

Коэффициенты загрузки $k_{зj}$ для j-й РП определяются по формуле:

$$k_{зj} = \frac{\sum_{i=1}^{25} \lambda_{ij} \cdot (\tau_j / 60)}{n_j \cdot \Phi_j}. \tag{5}$$

Этап 4. Расчет основных показателей работы оборудования и интегральных показателей работы всего участка с использованием результатов моделирования

Результаты расчета параметров интенсивностей материальных потоков по формулам (1) и (2), матрицы Λ по формуле (3), табл. 4, и расчета требуемого количества оборудования по формулам (4) и (5) являются основой для построения схемы СеМО, моделирующей работу участка. На рис. 2 приведена данная схема, в которой вершины графа – это системы массового обслуживания (СМО), сформированные на основе РП участка. Направленные ребра графа - это потоки КП между РП. Цифры на ребрах графа соответствуют величинам

интенсивностей потоков между РП с размерностью шт./год. Каждая j-ая РП на схеме представлена отдельной фазой СеМО.

При построении модели СеМО для описания работы участка была использована теорема разбиения Джексона. Условия применения этой теоремы для моделирования работы исследуемой производственной системы следующие:

- все входящие потоки поступающих на участок КП являются пуассоновскими (простейшими), то есть стационарными, ординарными и без последействия;
- все длительности τ_j выполнения работ по ремонту и перемещению КП на j-ом РП внутри участка имеют показательное распределение;
- дисциплина выбора заявок (в нашем случае – КП) из очереди на каждой РП не зависит от длительности ремонта и маршрута перемещения КП;
- все маршруты перехода КП между РП управляются матрицей интенсивностей потоков Λ.

Анализ характеристик участка ремонта КП позволил сделать вывод, что эти четыре условия можно считать выполнимыми. Это позволяет провести декомпозицию СеМО и представить ее состоящей из 25 независимо функционирующих узлов (фаз обслуживания), каждый из которых можно исследовать как самостоятельную независимую систему массового обслуживания (СМО). Проведя декомпозицию СеМО участка ремонта КП по составляющим ее СМО (в данном случае это составляющие ее РП), получаем возможность рассматривать каждую РП как n_j-канальную СМО с неограниченной очередью.

Таблица 4. Матрица Λ интенсивностей материальных потоков между РП на участке, шт./год

λ_{ij}		Вход	Номер j-ой РП, в которую материальный поток входит																									λ_i
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Выход	0	0	2200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2200
Номер j-ой РП, из которой материальный поток выходит	1	0	0	2200																								2200
	2	0		0	2200																							2200
	3	0			0	2200																						2200
	4	0				0	2200																					2200
	5	0					0																		2200			2200
	6	0						0																	1096			1096
	7	0							0																1096			1096
	8	0								0															1096			1096
	9	0									0														1096			1096
	10	0										0													1096			1096
	11	0											0												1096			1096
	12	0												0											1096			1096
	13	0													0										1096			1096
	14	0														0								1096				1096
	15	0															0							1096				1096
	16	0																0							1096			1096
	17	0																	0						1096			1096
	18	0																		0					1096			1096
	19	0																			0	1096						1096
	20	0																				0	1096					1096
	21	0																					0		1096			1096
	22	0															1096	1096						0			1104	3296
	23	2200						1096	1096	1096	1096	1096	1096	1096	1096	1096			1096	1096	1096				0	1104		16456
	24	0																						1104		0		1104
	25	0																							1104		0	1104
λ_j		2200	2200	2200	2200	2200	2200	1096	1096	1096	1096	1096	1096	1096	1096	1096	1096	1096	1096	1096	1096	1096	1096	3296	16456	1104	1104	

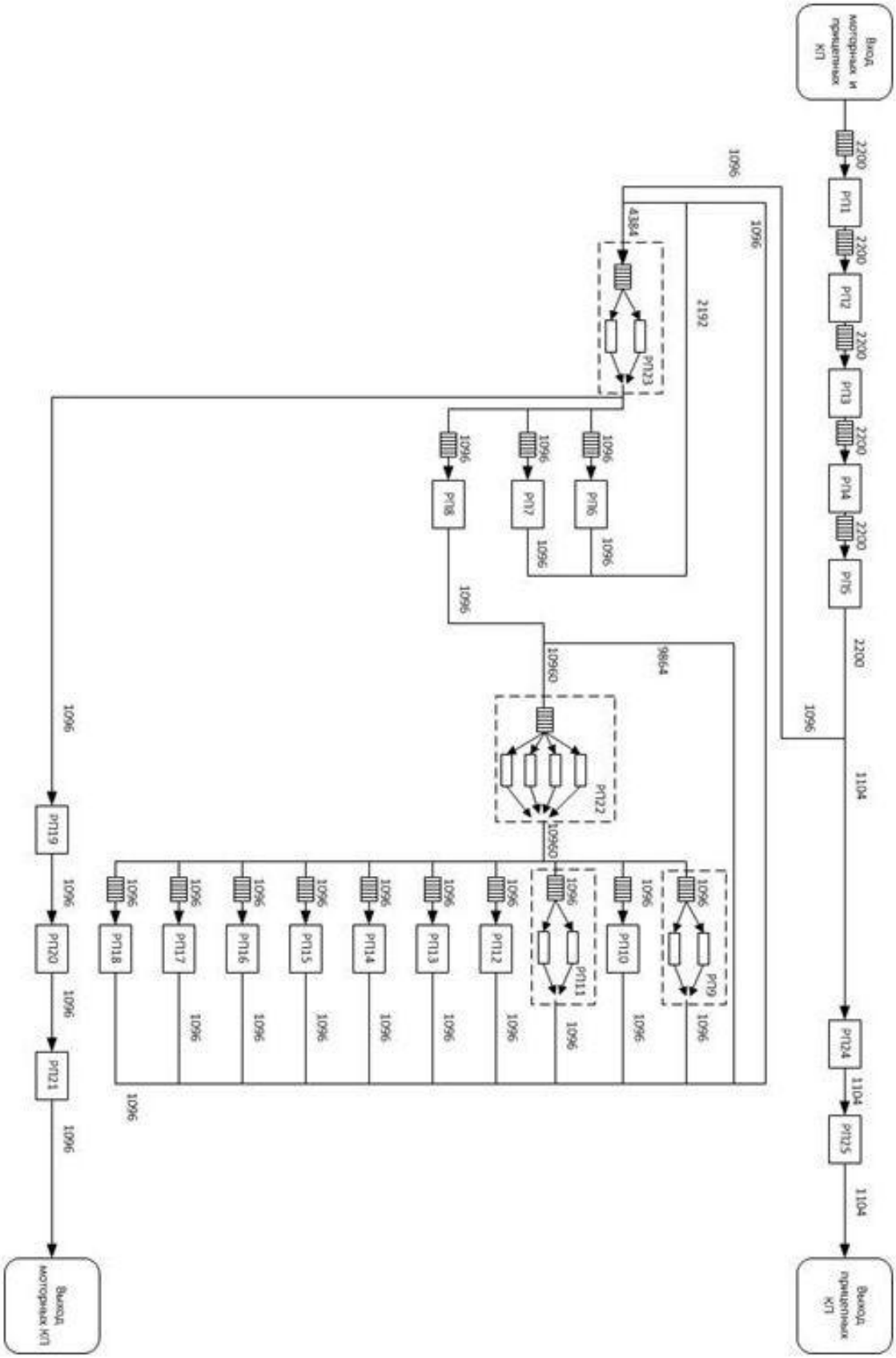

Рис. 3. Граф материальных потоков между рабочими позициями участка ремонта колесных пар

Такое представление РП позволяет рассчитать следующие характеристики работы каждой РП на участке в стационарном (установившемся) режиме: вероятность p_{0j} того, что j-я РП будет простаивать ввиду отсутствия заявок (КП) на входе в РП; среднюю длину очереди $L_{очj}$ из КП, ожидающих обслуживания (выполнения соответствующей фазы ремонтных работ на РП); средний объем незавершенного производства $L_{нзпj}$ на каждом РП по формулам [3]:

$$p_{0j} = \left(1 + \frac{\rho_j}{1!} + \frac{\rho_j^{\,2}}{2!} + \ldots + \frac{\rho_j^{\,n_j}}{n_j!} + \frac{\rho^{n_j+1}}{n_j!(n_j - \rho_j)}\right)^{-1}, \tag{6}$$

$$L_{очj} = \frac{\rho_j^{\,n+1} \cdot p_{0j}}{n_j \cdot n_j!(1 - \rho_j / n_j)^2}; \tag{7}$$

$$L_{нзпj} = L_{очj} + \rho_j, \tag{8}$$

где ρ_j – приведенная интенсивность потока заявок, поступающих на j-ю РП.

Величина ρ_j для j-й РП рассчитывается по формуле:

$$\rho_j = \lambda_j / \mu_j = \lambda_j \cdot \tau_j, \tag{9}$$

где μ_j – интенсивность потока обслуживания заявок на j-й РП; τ_j - среднее время выполнения ремонтных работ (табл. 2).

Определение среднего времени нахождения КП в очереди на обслуживание $T_{очj}$ и среднего времени обслуживания в j-й РП $T_{рпj}$ осуществляется с использованием формулы Литтла [3]:

$$T_{очj} = L_{очj} / \lambda_j; \qquad T_{рпj} = L_{нзпj} / \lambda_j. \tag{10}$$

Результаты моделирования работы участка

В табл. 5 приведены результаты расчетов параметров работы участка ремонта КП с использованием формул (2), (4), (5), (6) – (10). Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что при выбранном варианте транспортного обслуживания внутри участка и при текущей загрузке в λ=2200 шт. КП в год на всех технологических РП требуется по одной единице оборудования. Однако цеховых кранов (РП23) для межоперационного перемещения КП потребуется не менее 4-х единиц.

Из диаграммы структуры загрузки РП, рис. 4, можно сделать вывод, что наиболее загруженными являются РП9 (монтаж опорного узла), РП11 (вырезка бандажного кольца) и РП 23 (межоперационные перемещения КП цеховым краном). Эти РП являются «узкими местами» участка.

Таблица 5.Результаты расчета параметров работы участка с использованием модели СеМО

j	λ_j		τ_j, мин/шт.	μ_j, шт./час	ρ	n_j	p_{0j}	$k_{зj}$	$L_{очj}$, шт. КП	$L_{изпj}$ шт. КП	$T_{очj}$, ч	$T_{рпj}$, ч
	шт./год	шт./ч										
1	2200	1,206	10	6,00	0,201	1	0,80	0,201	0,051	0,252	0,042	0,209
2	2200	1,206	15	4,00	0,302	1	0,70	0,302	0,130	0,432	0,108	0,358
3	2200	1,206	5	12,00	0,101	1	0,90	0,101	0,011	0,112	0,009	0,093
4	2200	1,206	10	6,00	0,201	1	0,80	0,201	0,051	0,252	0,042	0,209
5	2200	1,206	10	6,00	0,201	1	0,80	0,201	0,051	0,252	0,042	0,209
6	1096	0,601	30	2,00	0,300	1	0,70	0,300	0,129	0,429	0,215	0,715
7	1096	0,601	60	1,00	0,601	1	0,40	0,601	0,905	1,505	1,505	2,505
8	1096	0,601	30	2,00	0,300	1	0,70	0,300	0,129	0,429	0,215	0,715
9	1096	0,601	90	0,67	0,901	1	0,10	0,901	8,232	9,133	13,700	15,200
10	1096	0,601	15	4,00	0,150	1	0,85	0,150	0,027	0,177	0,044	0,294
11	1096	0,601	90	0,67	0,901	1	0,10	0,901	8,232	9,133	13,700	15,200
12	1096	0,601	50	1,20	0,501	1	0,50	0,501	0,502	1,003	0,836	1,669
13	1096	0,601	20	3,00	0,200	1	0,80	0,200	0,050	0,250	0,083	0,417
14	1096	0,601	45	1,33	0,451	1	0,55	0,451	0,370	0,820	0,615	1,365
15	1096	0,601	50	1,20	0,501	1	0,50	0,501	0,502	1,003	0,836	1,669
16	1096	0,601	20	3,00	0,200	1	0,80	0,200	0,050	0,250	0,083	0,417
17	1096	0,601	10	6,00	0,100	1	0,90	0,100	0,011	0,111	0,019	0,185
18	1096	0,601	7	8,57	0,070	1	0,93	0,070	0,005	0,075	0,009	0,125
19	1096	0,601	20	3,00	0,200	1	0,80	0,200	0,050	0,250	0,083	0,417
20	1096	0,601	10	6,00	0,100	1	0,90	0,100	0,011	0,111	0,019	0,185
21	1096	0,601	10	6,00	0,100	1	0,90	0,100	0,011	0,111	0,019	0,185
22	3296	1,807	20	3,00	0,602	1	0,40	0,602	0,912	1,515	0,505	0,838
23	16456	9,022	20	3,00	3,007	4	0,04	0,752	1,553	4,560	0,172	0,505
24	1104	0,605	15	4,00	0,151	1	0,85	0,151	0,027	0,178	0,045	0,295
25	1104	0,605	5	12,00	0,050	1	0,95	0,050	0,003	0,053	0,004	0,088

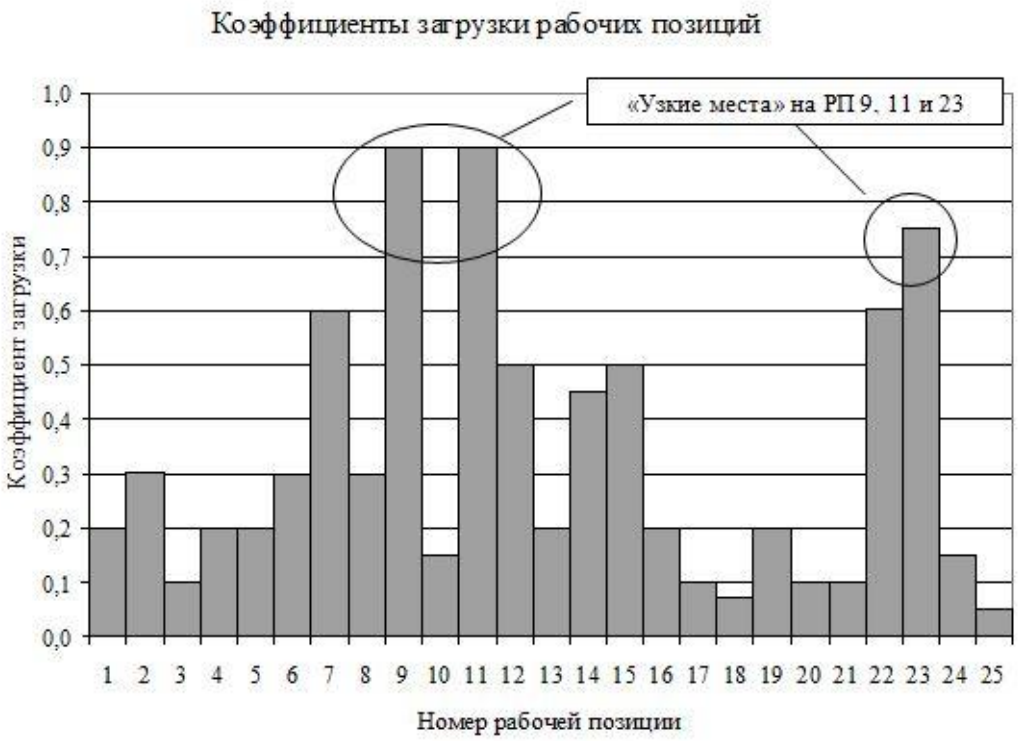

Рис. 4. Диаграмма структуры загрузки РП на участке ремонта КП при объеме заказов 2200 КП в год

На диаграмме, приведенной на рис. 5, показано, что именно перед этими РП будут выстраиваться наиболее длинные очереди КП, ожидающих выполнения технологических операций или работ по перемещению КП на последующие операции.

Рис. 5. Диаграмма структуры очередей перед РП

Результаты моделирования позволяют также определить расчетный средний объем незавершенного производства на участке, который составит:

$$L_{\text{н зп}} = \sum_{j=1}^{25} L_{\text{н зп}j} = 32\text{шт.КП}\ .$$

На рис. 6 приведена расчетная диаграмма производственного цикла ремонта КП моторного типа (r=1). Расчетное время цикла ремонта таких КП включает прохождение 21-й технологической и 13-ти транспортных операций и составляет 48,4 ч. Время цикла ремонта КП прицепного типа (r=2) включает прохождение 7-ми технологических операций 3-х транспортных операций и составляет 3,3 ч. Доля операционного времени в производственном цикле для моторных КП составит 21%, а для прицепных КП 35%. Суммы длительностей ожидания в очередях перед РП и длительностей транспортных операций составят соответственно 79 и 65% от времени производственного цикла.

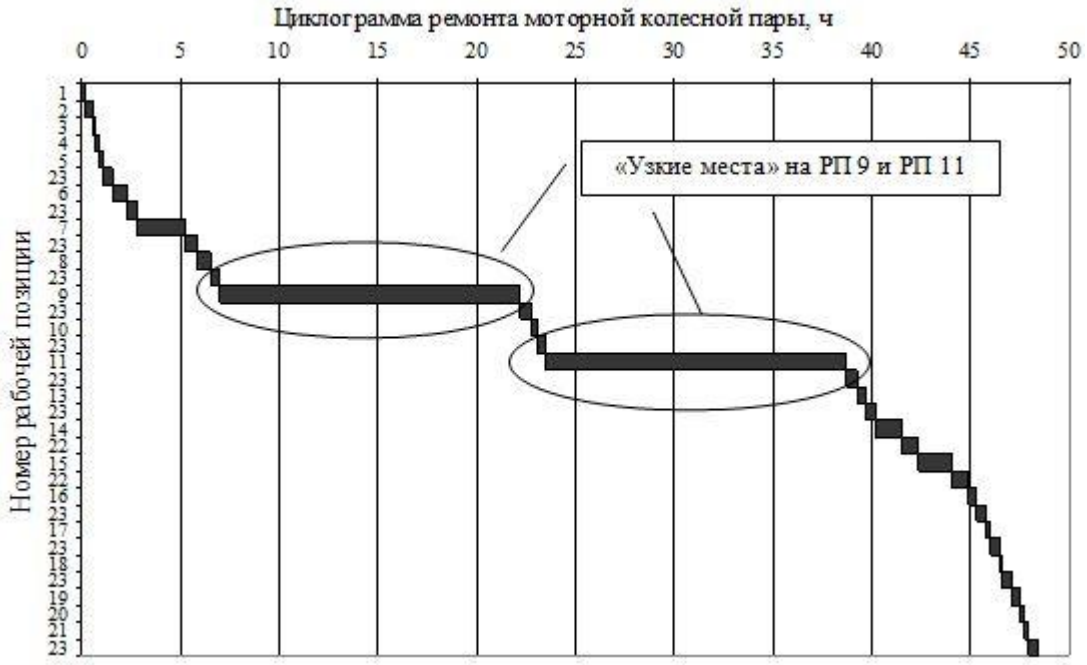

Рис. 6. Ленточная диаграмма производственного цикла ремонта КП моторного типа

Расчеты с использованием разработанной модели показывают, что при перспективном увеличении объема заказов на ремонт КП в 1,5 раза – до λ=3300 КП в год, необходимо будет «расшивать узкие места» и увеличивать до 2-х единиц количество оборудования для РП9 (монтаж опорного узла) и РП11 (вырезка бандажного кольца). Число цеховых кранов (РП 23) следует увеличить до 5-ти единиц. Диаграмма структуры загрузки РП на участке при увеличенном объеме заказов приведена на рис. 7.

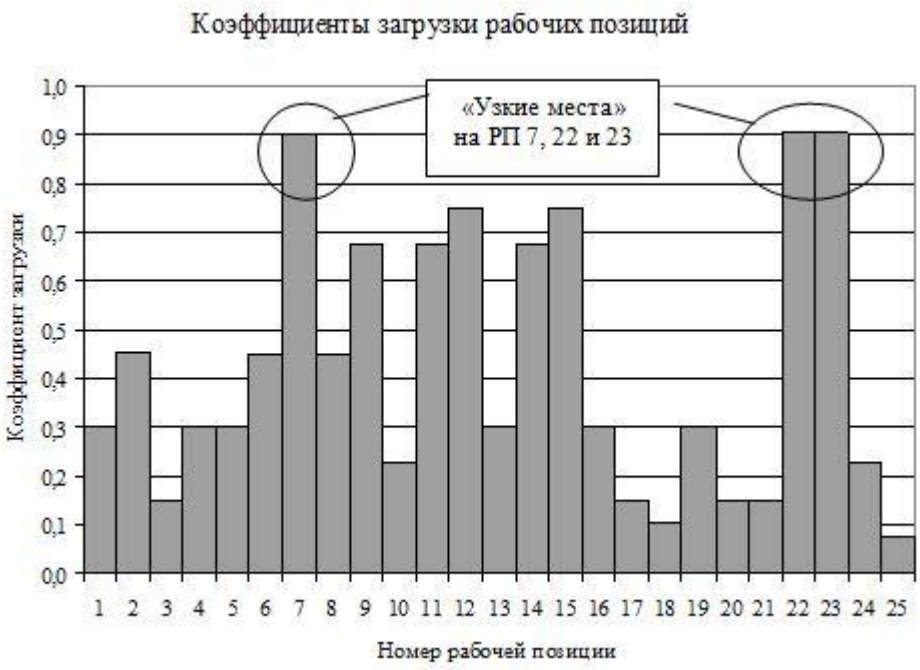

Рис. 7. Диаграмма структуры загрузки РП на участке ремонта КП при объеме заказов 3300 КП в год

Из данных диаграммы следует, что «узким местом» в этом случае становится РП 7 (демонтаж опорного узла). Расчетный средний объем незавершенного производства КП на участке увеличится на 2 единицы и составит $L_{изп}$=34 шт., а время цикла ремонта моторных и прицепных КП составит соответственно 44,1 и 6,9 ч. Сокращение времени цикла ремонта моторных колесных пар объясняется увеличением пропускной способности бывших ранее «узких мест» при объеме заказов 3300 КП в год. Доля операционного времени в производственном цикле для моторных КП составит 23%, а для прицепных КП 17%. Суммы длительностей ожидания в очередях перед РП и длительностей транспортных операций составят соответственно 77 и 83% от времени производственного цикла.

Выводы

Разработанная модель работы производственной системы с использованием аналитической теории сетей массового обслуживания позволяет определить взаимосвязь параметров, характеризующих необходимые для производства заданного объема продукции основные фонды (количество оборудования), оборотные фонды (незавершенное производство) и время производственного цикла (договорные обязательства с потребителями по срокам выполнения работ).

Модель может быть использована для подготовки вариантов управленческих решений по реорганизации производства при прогнозируемом изменении объемов выпуска продукции, на ранних стадиях проектирования новых производственных систем.

.Список литературы

1. Контроллинг: Учебник / А. М. Карминский, С. Г. Фалько, А. А. Жевага, Н. Ю. Иванова; под ред. А.М. Карминского, С. Г. Фалько. - М.: Финансы и статистика, 2008. 336 с.
2. Ричард Б. Чейз, Ф. Роберт Джейкобз, Николас Дж. Аквилано. Производственный и операционный менеджмент, 10-е издание.: Пер с англ.: М. Издательский дом «Вильямс», 2007. 1184 с.
3. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. М.: Кронус, 2010. 208 с.