

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра управления

**ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО  
ПРЕДПРИЯТИЯ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к практическим занятиям и самостоятельной работе по дисциплине  
«Организация строительного производства» для студентов направления  
подготовки 38.03.01 «Экономика» (все профили) всех форм обучения

Воронеж 2022

УДК 658.5(07)  
ББК 65.301я7

**Составители:** д-р техн. наук, проф. С. А. Баркалов,  
д-р техн. наук, проф. П. Н. Курочка

**Организационно-технологическое моделирование производственной деятельности строительного предприятия:** методические указания к проведению практических занятий и самостоятельной работе по дисциплине «Организация строительного производства» для направления 38.03.01 «Экономика» (все профили) всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: С. А. Баркалов, П. Н. Курочка. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. 25 с.

Основной целью методических указаний является подготовка материала к проведению практического занятия, связанного с моделированием производственной деятельности строительного предприятия при помощи методов статистического анализа и выработка навыков самостоятельной работы на основе структуризации изучаемого материала по разделам и темам.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению 38.03.01 «Экономика» (все профили) всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ\_ОТМПДСП.pdf.

Ил. 1. Табл. 3. Библиогр.: 7 назв.

**УДК 658.5(07)**  
**ББК 65.301я7**

**Рецензент** – В. П. Морозов, д-р техн. наук, доц. кафедры  
управления ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

## ВВЕДЕНИЕ

Цель изучения дисциплины «Организация строительного производства»:

- подготовка квалифицированных специалистов строительства, знающих теоретические основы организации и планирования строительного производства и умеющих их использовать в практической деятельности строительной фирмы;
- формирование знаний и навыков современного специалиста в области современных алгоритмов организационно-технологического проектирования.

Задачами дисциплины «Организация строительного производства» являются:

- получение студентами знаний и навыков формирования организационно-технологических решений;
- освоение математических методов, используемых при моделировании задач организационно-технологического проектирования;
- формирование практических навыков и ознакомление с основными приёмами и методиками, необходимыми для эффективной организации и планирования строительного производства и их использование для получения обоснованной системы показателей, с помощью которых выявляются имеющиеся резервы роста эффективности производства и прогноз тенденций его развития.

Результатом освоения дисциплины является освоение следующих компетенций:

### **по направлению подготовки 38.03.01 «Экономика»:**

ОПК-4 способностью находить организационно-управленческие решения в профессиональной деятельности и готовность нести за них ответственность

ПК-1 – способностью собрать и проанализировать исходные данные, необходимые для расчета экономических и социально-экономических показателей, характеризующих деятельность хозяйствующих субъектов;

ПК-2 – способностью на основе типовых методик и действующей нормативно-правовой базы рассчитать экономические и социально-экономические показатели, характеризующие деятельность хозяйствующих субъектов;

ПК-3 – способностью выполнять необходимые для составления экономических разделов планов расчеты, обосновывать их и представлять результаты работы в соответствии с принятыми в организации стандартами

Основными разделами изучаемой дисциплины «Организация строительного производства» являются:

Тема № 1. «Организация проектно-исследовательских работ и предпроектная стадия в строительстве»

Тема № 2. «Модели строительного производства. Методы организации строительного производства. Сетевое моделирование»

Тема № 3. «Планирование производственной деятельности строительной организации»

Тема № 4. «Организационно-технологическое проектирование в строительстве»

Тема № 5. «Организация управления качеством строительной продукции. Сдача законченных строительством объектов в эксплуатацию».

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО КУРСУ «ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА»**

Практические занятия по данному курсу предполагают закрепление знаний, полученных на лекциях. Данные методические указания направлены на обеспечение выполнения практической работы по определению организационно-технологических параметров строительства при помощи статистических методов, основанных на теории массового обслуживания.

Необходимость привлечения статистических методов диктуется тем, что строительство представляет собой сложную, динамическую, систему изменение которой происходит по вероятностным законам. В этом случае повышение надежности принимаемых организационно-технологических решений лежит в области учета стохастической природы применяемых параметров. Именно на это и нацелено данное практическое занятие.

С другой стороны, материал методических указаний может быть использован и для организации самостоятельной работы студентов.

Место самостоятельной работы в курсе «Организация строительного производства» заключается в том, что согласно учебному плану половина времени, отводимое на изучение предмета, должно приходиться на самостоятельную работу студентов вне стен учебного заведения. Таким образом, весь спектр занятий, предусмотренный учебным планом, студент должен осуществлять не только на занятиях согласно расписанию, но также и самостоятельно. Следовательно, прослушав лекцию, студент должен, придя домой, разобрать конспект лекции, почитать то, что на тему, рассмотренную на лекции, написано в рекомендованном учебнике и ответить на контрольные вопросы.

При подготовке к практическому или лабораторному занятию студент должен повторить лекционный материал, разобрать примеры, приведенные в методических указаниях и решить то, что было задано на практическом или лабо-

раторном занятии. Здесь следует обратить внимание на то, что целесообразность выполнения данного практического занятия в ходе аудиторных занятий целиком определяется преподавателем, ведущим эту дисциплину. Вполне возможен вариант передачи данного материала для самостоятельной работы студентов.

Использование методических указаний предполагает, что студент изучил лекционный материал и, если у него возникли вопросы, то можно просмотреть рекомендации, содержащиеся в данных методических указаниях по конкретной теме. Методические указания ни в коем случае не должны заменять материал лекционных, практических и лабораторных занятий.

В данном случае совершенно справедливо утверждение о том, что если преподаватель привел своих студентов на берег реки знаний, то это не означает, что он сможет заставить их что-то из этой реки зачерпнуть. Необходима воля и труд, самих обучающихся. Таким образом, учеба является достаточно тяжелым и напряженным трудом, сопряженным со значительными затратами времени и ограничиться только посещением занятий совершенно недостаточно.

### **ТЕМА ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ: ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

**Цель работы:** изучить модели организационно-технологического проектирования по определению потребности в ресурсах типа мощности под имеющийся объем работ.

**Время выполнения работы:** 4 часа.

### **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ**

Ресурсные характеристики строительных проектов являются наиболее общими усредненными показателями расходования ресурсов при выполнении работ. Они также отражают условия выполнения работ, прежде всего состав и количество используемых трудовых и материально-технических ресурсов: машин и механизмов, материалов.

В выполнении работ проекта, как правило, участвуют различные ресурсы. Можно выделить две взаимосвязанные группы ресурсов. Материально-технические ресурсы: сырье, материалы, конструкции, комплектующие, энергетические ресурсы, топливо. Ресурсы типа «мощность» или технологические ресурсы: строительные машины, механизмы, инструменты для выполнения работ проекта, а также трудовые ресурсы, участвующие в производственном процессе: строители, монтажники оборудования, машинисты башенных кранов, экскаваторов и пр.).

Это многообразие сводится к двум основным типам:

Воспроизводимые, складываемые, накапливаемые ресурсы в процессе выполнения работ расходуются полностью, не допуская повторного использования. Не использованные в данный отрезок времени, они могут использоваться в дальнейшем. Иными словами, такие ресурсы можно накапливать с последующим расходом запасов. Поэтому их часто называют ресурсами типа «материально-технические». Примерами таких ресурсов являются топливо, предметы, средства труда однократного применения, а также – финансовые средства.

Невоспроизводимые, нескладываемые, ненакапливаемые ресурсы сохраняют свою натурально-вещественную форму и по мере высвобождения могут использоваться на других работах. Если эти ресурсы простаивают, то их неиспользование в данный отрезок времени не компенсируется в будущем, т.е. они не накапливаются, поэтому ресурсы второго типа называют еще ресурсами типа «мощности». В строительных проектах ресурсом типа «мощности» являются трудовые и машинные ресурсы, объединённые в одном процессе. Организационно-экономической формой ресурса типа мощности строительных проектов является бригада рабочих, оснащенная необходимыми механизмами, машинами, инструментом, производительность которых преимущественно и определяет их мощность.

В управлении нескладываемыми ресурсами кроме объёмов, следует учитывать так называемые динамические характеристики, такие как их производительности, интенсивность, скорость использования и другие. В процессе планирования ресурсов типа мощности

Состав и количество нескладываемых ресурсов в процессе выполнения определенной работы могут оставаться неизменными, при этом их производительность может изменяться весьма значительно.

При определении продолжительности той или иной работы нужно знать количество и производительность ресурсов, которые одновременно будут использоваться для выполнения этой работы. В тех случаях, когда состав и количество ресурсов строго определены (например, число бригад и их численный состав в строительной организации) расчет продолжительности работы выполняется на основе средней производительности этих ресурсов.

Если работа выполняется несколькими видами нескладываемого ресурса, то в первую очередь определяется необходимое количество основного ресурса, в соответствии с количеством которого, затем рассчитываются требуемые количества остальных видов ресурсов.

Одинаковые по составу и количеству нескладываемые ресурсы могут иметь различную производительность, поэтому и затраты времени на выполнение одного и того же физического объема работ могут быть различными. Следовательно, будут различными также продолжительность выполнения одинаковых работ. При определении временных оценок нужно учитывать, что произво-

длительность ресурсов может колебаться и в зависимости от периода выполнения работ.

Фактическая интенсивность нескладируемых ресурсов, может представлять собой кривую, которая определяет реальные колебания производительности ресурса во времени. Эта кривая состоит из части с постепенно возрастающей интенсивностью (период подготовки и начала работы), части с постоянной интенсивностью (период выполнения основных объемов работ) и части с постепенно снижающейся интенсивностью (период свертывания и окончания работ).

Таким образом, именно нескладируемые ресурсы оказывают основное влияние на такие параметры проекта как сроки и бюджет. Именно их нерациональное использование приводит к окончательным потерям в системе управления проектом. В тоже время следует отметить, что разработанность проблемы распределения ресурсов типа мощности гораздо ниже, чем распределение материально-технических ресурсов.

Рассмотрим современное строительное предприятие как сложную динамическую стохастическую систему, осуществляющую свою деятельность в бесконечном пространстве состояний и на бесконечном интервале времени. На вход такой производственной системы поступает с некоторой частотой последовательность заявок на реализацию проектов, а в распоряжении фирмы имеется некоторое количество перспективных проектов, к выполнению которых она еще не приступала, но уже оформила с заказчиками договорные отношения.

По всем признакам такую систему можно изучить с позиции теории массового обслуживания: на вход системы подается поток заявок на обслуживание (договоров на выполнение строительно-монтажных работ), на выходе имеется поток обслуженных заявок, то есть договоров, по которым фирма уже закончила работу. Остановимся на свойствах этого потока.

Данный поток будет обладать свойством ординарности, то есть в один и тот же момент времени в систему поступает только одна заявка на обслуживание. Такое допущение принимается из условий работы строительной фирмы, так как количество строительных проектов, реализуемых одной фирмой, как правило, невелико и вероятность одновременного поступления двух и более предложений в один момент времени будет крайне мала. Но если даже это не так, то с помощью стандартного метода вызывающих моментов такой поток можно привести к ординарному.

С другой стороны, исследования, показывают, что изучаемая система очень быстро приходит в режим стационарности и, следовательно, рассматриваемый поток требований будет удовлетворять условию стационарности.

Наконец, входной поток требований будет обладать отсутствием последствия, так как вероятность поступления требований на обслуживание не зависит от того, сколько требований поступало в систему раньше.

Таким образом, входной поток требований обладает свойствами пуассоновского потока.

В процессе решения следует учесть, что строительное предприятие представляет собой сложную производственную систему, состоящую из некоторого количества элементарных производственных подразделений (специализированных бригад), специализирующихся на выполнении только одного вида работ. Кроме того, следует учесть, что заявки, подаваемые на вход производственной системы, требуют использования различных ресурсов производственной системы.

Здесь уместно вспомнить, что строительство большинства объектов выполняется подрядным способом. Это означает, что заказчик, юридическое или физическое лицо, который имеет инвестиционные возможности для реализации некоторого строительного проекта, нанимает генерального подрядчика, который берется в заданные сроки с надлежащим качеством и за подтвержденные сметными расчетами объемы денежных средств возвести требуемый объект. Генеральный подрядчик может выполнять весь объем работ сам, может выполнять только часть работ, наняв для выполнения оставшихся работ другую строительную организацию, которая в данном случае будет называться субподрядной, а может не выполнять вообще никаких работ, а только осуществлять координацию между нанятыми субподрядными фирмами. Для современных российских условий все-таки характерно то, что большинство строительных фирм, специализирующихся на производстве строительного-монтажных работ, получив статус генерального подрядчика, основной объем СМР стремится выполнять собственными силами, привлекая субподрядчиков для выполнения исключительно специализированных работ типа электромонтажных или санитарно-технических. Вместе с тем, учитывая большую конкуренцию на рынке строительных услуг, фирмы достаточно охотно берутся выполнять работы и на условиях субподрядных договоров. Таким образом, строительное предприятие может выступать в различных проектах в различном качестве: генеральной подрядной организации или субподрядной организации. Кроме того, следует учесть, что в настоящее время существует достаточно емкий рынок ремонтно-строительных услуг, для которого характерно выполнение ограниченного комплекса строительных работ. Все это свидетельствует о том, что поступающие на вход производственной системы заявки требуют использования возможностей системы в разной степени: в потоке заявок существуют как заявки на выполнение всего комплекса строительного-монтажных работ, так и заявки на выполнение некоторой части или даже какой-то одной строительной работы. То есть поступающие заявки требуют различных ресурсов строительной организации. Этим в какой-то степени строительное производство и отличается от машиностроительного, в котором производство одного и того же вида продукции требует прохождения одинакового маршрута.



Таким образом, строительную фирму можно представить как сложную систему массового обслуживания, состоящую из некоторого количества элементарных систем массового обслуживания, то есть в виде сети массового обслуживания. Каждая элементарная система массового обслуживания, включенная в сеть, состоит из накопителя, в котором поступившие заявки ожидают обслуживания, и обслуживающих устройств (каналов). Источником заявок может служить как внешний поток, так и выходной поток от другой системы массового обслуживания, также включенной в сеть. Будем считать, что время пребывания заявки в очереди не ограничено и дисциплина в очереди подчиняется принципу: первый пришел – первый обслуживается.

Поток требований (заявок) на обслуживание, представляющий собой портфель заказов строительной фирмы, поступает в сеть массового обслуживания с некоторой интенсивностью  $\lambda_0$ . При этом заявка может поступить на любую систему массового обслуживания, включенную в рассматриваемую сеть. Дальнейший маршрут заявки также может быть различным: заявка может последовательно пройти по всем системам массового обслуживания, включенным в сеть, а может покинуть сеть, пройдя только одну или несколько выборочных систем массового обслуживания. Содержательная интерпретация такого потока вполне понятна: заявки, проходящие последовательно все системы массового обслуживания, составляющие сеть, представляют собой проекты, которые строительная фирма принимает к реализации на правах генерального подрядчика, а заявки, покидающие сеть после прохождения только части систем массового обслуживания, включенных в сеть (в частном случае только одну), представляют собой субподрядные договоры или же договоры на выполнение ремонтно-строительных работ.

Таким образом, будем рассматривать строительное предприятие как сеть массового обслуживания, состоящую из конечного числа систем массового обслуживания. В качестве систем массового обслуживания будем рассматривать специализированную бригаду, например, бригаду каменщиков, бригаду монтажников, бригаду отделочников, бригаду кровельщиков, бригаду нулевого цикла и т.д. Будем предполагать, что каждая система массового обслуживания, включенная в сеть, представляет собой одноканальную систему, то есть будем считать, что строительное предприятие располагает только одной специализированной бригадой каждого вида.

Требование, поступившее в  $j$ -ую систему массового обслуживания, может после завершения обслуживания в этой системе покинуть сеть совсем или же поступить в  $j+1$  систему. Таким образом, рассматриваемая сеть массового обслуживания будет характеризоваться вероятностями поступления требований из  $i$ -ой системы в  $j$ -ую  $\theta_{ij}$ , при этом если  $i=0$ , то это означает поступление требования из входного потока прямо в  $j$ -ую систему, а если  $j=0$ , то это соответствует тому, что требование, закончив обслуживание в  $j$ -ой системе, навсегда покидает сеть. Совокупность всех вероятностей  $\theta_{ij}$  составляет матрицу передач,

которая в общем виде для  $m$  систем массового обслуживания, включенных в сеть, будет иметь следующий вид:

$$T = \begin{pmatrix} 0 & \theta_{01} & \theta_{02} & \dots & \theta_{0m} \\ \theta_{10} & 0 & \theta_{12} & \dots & \theta_{1m} \\ \theta_{20} & \theta_{21} & 0 & \dots & \theta_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \theta_{m0} & \theta_{m1} & \theta_{m2} & \dots & 0 \end{pmatrix}.$$

Здесь учтено, что нет смысла рассматривать перемещение заявок внутри  $i$ -ой системы массового обслуживания или же в приемном устройстве, поэтому все вероятности  $\theta_{ii} = 0$ , если же учесть, что выполнение работ может осуществляться с браком, то нулевым будет только элемент  $\theta_{00}$ , остальные же элементы  $\theta_{ii}$  при  $i \neq 0$  будут показывать вероятность некачественного выполнения работ.

Предположим, что системы массового обслуживания, включенные в сеть, расположены в порядке, обеспечивающем соблюдение технологической последовательности операций. В этом случае вероятность поступления заявки из системы  $i$  в систему  $j$ , когда  $i > j$ , будет равна нулю, так как по технологии работы, выполняемые в системе  $i$ , должны быть выполнены ранее, чем работы, выполняемые в системе  $j$ . Кроме того, технологическая последовательность их выполнения такова, что все они должны выполняться без пропуска, то есть нельзя, например, выполнив работы нулевого цикла, перейти сразу к выполнению кровельных или внутренних работ, до этого необходимо выполнить работы по возведению каркаса задания. Это приводит к тому, что элементы матрицы передач  $T$ , стоящие ниже главной диагонали и имеющие индексы, не равные нулю, будут равны нулю. Равными нулю будут и элементы над главной диагональю, у которых разность между вторым индексом  $j$  и первым индексом  $i$  будет больше единицы, то есть  $j-i > 1$ . Тогда матрица передач примет вид

$$T = \begin{pmatrix} 0 & \theta_{01} & \theta_{02} & \dots & \theta_{0m} \\ \theta_{10} & 0 & \theta_{12} & \dots & 0 \\ \theta_{20} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \theta_{m0} & 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}.$$

Требование, поступающее в сеть должно обязательно поступить на вход, какой-либо системы массового обслуживания, составляющих сеть. Требование, покидающее  $i$ -ю систему массового обслуживания, должно либо поступить на вход следующей  $j$ -й системы массового обслуживания, либо покинуть сеть совсем. То есть не должно происходить накопление и циркуляция требований внутри систем массового обслуживания. Это требование будет выполнено тогда, когда будет выполняться соотношение вида

$$\sum_{j=0}^m \theta_{ij} = 1, \quad i = 0, 1, 2, \dots, m.$$

Приведенной сети массового обслуживания будет соответствовать граф передач, представленный на рисунке.

Рассматриваемая сеть массового обслуживания будет характеризоваться тем, что простейший поток, поступающий на вход  $i$ -й системы массового обслуживания, на выходе этой системы уже будет обладать последствием и, следовательно, для следующей  $i+1$ -й системы массового обслуживания такой поток уже не будет являться, строго говоря, простейшим. Но согласно исследованиям [1], если принять, что время обслуживания во всех системах, составляющих сеть, изменяется по экспоненциальному закону, то выходящие потоки будут пуассоновскими.

Учитывая, что среднее число заявок, поступающих в систему массового обслуживания, должно равняться среднему числу заявок, покидающих систему массового обслуживания, получаем систему уравнений относительно интенсивностей потоков требований в каждой системе, включенной в рассматриваемую сеть массового обслуживания:

$$\lambda_j = \sum_{i=0}^m \lambda_i \theta_{ij}, \quad j = 0, 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

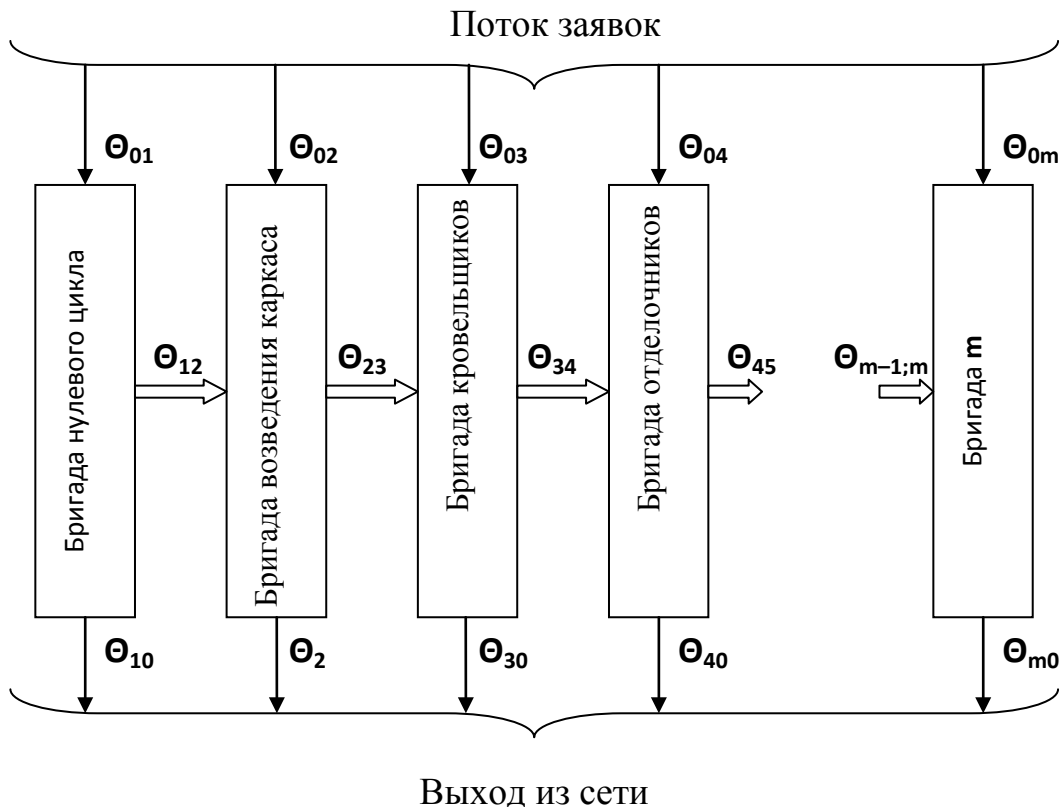


Рис.

С учетом матрицы передач  $T$  для случая  $m=4$  соотношение (1) будет записано в виде

$$\lambda_1 = \theta_{01}\lambda_0, \quad \lambda_2 = \theta_{02}\lambda_0 + \theta_{12}\lambda_1, \quad \lambda_3 = \theta_{03}\lambda_0 + \theta_{23}\lambda_2, \quad \lambda_4 = \theta_{04}\lambda_0 + \theta_{34}\lambda_3. \quad (2)$$

Решая (2), находим значения интенсивностей потоков требований в каждой системе массового обслуживания, включенной в сеть:

$$\lambda_1 = \theta_{01}\lambda_0, \quad \lambda_2 = (\theta_{02} + \theta_{01}\theta_{12})\lambda_0, \quad \lambda_3 = (\theta_{03} + \theta_{02}\theta_{23} + \theta_{01}\theta_{12}\theta_{23})\lambda_0, \\ \lambda_4 = (\theta_{04} + \theta_{03}\theta_{34} + \theta_{02}\theta_{23}\theta_{34} + \theta_{01}\theta_{12}\theta_{23}\theta_{34})\lambda_0.$$

Принимая интенсивность обслуживания в  $i$ -й системе равной  $\mu_i$  и учитывая, что для установившегося режима работы сети необходимо, чтобы для каждой системы массового обслуживания, включенной в сеть, выполнялось соотношение  $\lambda_i/\mu_i < 1$ , получаем

$$\frac{\theta_{01}\lambda_0}{\mu_1} < 1, \quad \frac{(\theta_{02} + \theta_{01}\theta_{12})\lambda_0}{\mu_2} < 1, \quad \frac{(\theta_{03} + \theta_{02}\theta_{23} + \theta_{01}\theta_{12}\theta_{23})\lambda_0}{\mu_3} < 1, \\ \frac{(\theta_{04} + \theta_{03}\theta_{34} + \theta_{02}\theta_{23}\theta_{34} + \theta_{01}\theta_{12}\theta_{23}\theta_{34})\lambda_0}{\mu_4} < 1.$$

Если данные соотношения не будут выполняться, то в системе будет происходить бесконечный рост очереди, то есть система будет функционировать неэффективно, оставляя часть заявок необслуженными.

Используя известные соотношения для одноканальной системы массового обслуживания с ожиданием, находим вероятность того, что в  $i$ -й системе массового обслуживания будет находиться  $n_i$  заявок на обслуживание:

$$P_{n_1}^1 = \left(1 - \frac{\theta_{01}\lambda_0}{\mu_1}\right) \left(\frac{\theta_{01}\lambda_0}{\mu_1}\right)^{n_1}, \quad P_{n_2}^2 = \left(1 - \frac{(\theta_{02} + \theta_{01}\theta_{12})\lambda_0}{\mu_2}\right) \left(\frac{(\theta_{02} + \theta_{01}\theta_{12})\lambda_0}{\mu_2}\right)^{n_2}, \\ P_{n_3}^3 = \left(1 - \frac{(\theta_{03} + \theta_{02}\theta_{23} + \theta_{01}\theta_{12}\theta_{23})\lambda_0}{\mu_3}\right) \left(\frac{(\theta_{03} + \theta_{02}\theta_{23} + \theta_{01}\theta_{12}\theta_{23})\lambda_0}{\mu_3}\right)^{n_3}, \\ P_{n_4}^4 = \left(1 - \frac{(\theta_{04} + \theta_{03}\theta_{34} + \theta_{02}\theta_{23}\theta_{34} + \theta_{01}\theta_{12}\theta_{23}\theta_{34})\lambda_0}{\mu_4}\right) \times \\ \times \left(\frac{(\theta_{04} + \theta_{03}\theta_{34} + \theta_{02}\theta_{23}\theta_{34} + \theta_{01}\theta_{12}\theta_{23}\theta_{34})\lambda_0}{\mu_4}\right)^{n_4}, \quad (3)$$

где  $P_{n_i}^i$  -вероятность того, что  $i$ -я система массового обслуживания, включенная в рассматриваемую сеть, будет содержать  $n_i$  требований на обслуживание, то есть требований, уже обслуживаемых, и требований, находящихся в очереди.

В целом, состояние всей сети массового обслуживания может быть описано вектором состояния, компоненты которого характеризуют количество заявок, находящихся в соответствующей системе массового обслуживания, включенной в рассматриваемую сеть. В установившемся режиме, то есть когда будут выполняться соотношения (2), вероятность нахождения сети в некотором

состоянии может быть найдена по теореме Джексона [1] и записана в следующем виде:

$$P_{n_1, n_2, \dots, n_m} = P_{n_1}^1 \cdot P_{n_2}^2 \cdot \dots \cdot P_{n_m}^m = \prod_{i=1}^m P_{n_i}^i, \quad (4)$$

или в развернутом виде с учетом (3):

$$P_{n_1, n_2, n_3, n_4} = \left(1 - \frac{\theta_{01} \lambda_0}{\mu_1}\right) \left(1 - \frac{(\theta_{02} + \theta_{01} \theta_{12}) \lambda_0}{\mu_2}\right) \left(1 - \frac{(\theta_{03} + \theta_{02} \theta_{23} + \theta_{01} \theta_{12} \theta_{23}) \lambda_0}{\mu_3}\right) \times \\ \times \left(1 - \frac{(\theta_{04} + \theta_{03} \theta_{34} + \theta_{02} \theta_{23} \theta_{34} + \theta_{01} \theta_{12} \theta_{23} \theta_{34}) \lambda_0}{\mu_4}\right) \times \left(\frac{\theta_{01} \lambda_0}{\mu_1}\right)^{n_1} \left(\frac{(\theta_{02} + \theta_{01} \theta_{12}) \lambda_0}{\mu_2}\right)^{n_2} \times \\ \times \left(\frac{(\theta_{03} + \theta_{02} \theta_{23} + \theta_{01} \theta_{12} \theta_{23}) \lambda_0}{\mu_3}\right)^{n_3} \left(\frac{(\theta_{04} + \theta_{03} \theta_{34} + \theta_{02} \theta_{23} \theta_{34} + \theta_{01} \theta_{12} \theta_{23} \theta_{34}) \lambda_0}{\mu_4}\right)^{n_4}. \quad (5)$$

Используя соотношения для одноканальной системы массового обслуживания, находим среднее число заявок в каждой из систем, среднее время пребывания заявки в каждой системе и среднее время ожидания обслуживания. Все эти характеристики будут определяться из соотношений:

$$\bar{N}_1 = \frac{\theta_{01} \lambda_0}{\mu_1 - \theta_{01} \lambda_0}, \quad \bar{N}_2 = \frac{(\theta_{02} + \theta_{01} \theta_{12}) \lambda_0}{\mu_2 - (\theta_{02} + \theta_{01} \theta_{12}) \lambda_0}, \quad \bar{N}_3 = \frac{(\theta_{03} + \theta_{02} \theta_{23} + \theta_{01} \theta_{12} \theta_{23}) \lambda_0}{\mu_3 - (\theta_{03} + \theta_{02} \theta_{23} + \theta_{01} \theta_{12} \theta_{23}) \lambda_0}, \\ \bar{N}_4 = \frac{(\theta_{04} + \theta_{03} \theta_{34} + \theta_{02} \theta_{23} \theta_{34} + \theta_{01} \theta_{12} \theta_{23} \theta_{34}) \lambda_0}{\mu_4 - (\theta_{04} + \theta_{03} \theta_{34} + \theta_{02} \theta_{23} \theta_{34} + \theta_{01} \theta_{12} \theta_{23} \theta_{34}) \lambda_0},$$

$$T_1 = \frac{1}{\mu_1 - \theta_{01} \lambda_0}, \quad T_2 = \frac{1}{\mu_2 - (\theta_{02} + \theta_{01} \theta_{12}) \lambda_0}, \quad T_3 = \frac{(\theta_{03} + \theta_{02} \theta_{23} + \theta_{01} \theta_{12} \theta_{23}) \lambda_0}{\mu_3 - (\theta_{03} + \theta_{02} \theta_{23} + \theta_{01} \theta_{12} \theta_{23}) \lambda_0}, \\ T_4 = \frac{1}{\mu_4 - (\theta_{04} + \theta_{03} \theta_{34} + \theta_{02} \theta_{23} \theta_{34} + \theta_{01} \theta_{12} \theta_{23} \theta_{34}) \lambda_0}, \\ W_1 = \frac{1}{\mu_1} \cdot \frac{\theta_{01} \lambda_0}{\mu_1 - \theta_{01} \lambda_0}, \quad W_2 = \frac{1}{\mu_2} \cdot \frac{(\theta_{02} + \theta_{01} \theta_{12}) \lambda_0}{\mu_2 - (\theta_{02} + \theta_{01} \theta_{12}) \lambda_0}, \\ W_3 = \frac{1}{\mu_3} \cdot \frac{(\theta_{03} + \theta_{02} \theta_{23} + \theta_{01} \theta_{12} \theta_{23}) \lambda_0}{\mu_3 - (\theta_{03} + \theta_{02} \theta_{23} + \theta_{01} \theta_{12} \theta_{23}) \lambda_0}, \\ W_4 = \frac{1}{\mu_4} \cdot \frac{(\theta_{04} + \theta_{03} \theta_{34} + \theta_{02} \theta_{23} \theta_{34} + \theta_{01} \theta_{12} \theta_{23} \theta_{34}) \lambda_0}{\mu_4 - (\theta_{04} + \theta_{03} \theta_{34} + \theta_{02} \theta_{23} \theta_{34} + \theta_{01} \theta_{12} \theta_{23} \theta_{34}) \lambda_0}. \quad (6)$$

Таким образом, операционные характеристики: число заявок, среднее время пребывания заявки в сети массового обслуживания, среднее время ожидания обслуживания – будут складываться из операционных характеристик, полученных для каждой системы массового обслуживания, включенной в сеть и определяемых соотношениями (6). Эти характеристики будут зависеть от маршрута продвижения заявки по сети: если заявка предусматривает прохождение всех этапов, то общее время пребывания такой заявки в сети будет складываться из соответствующих характеристик всех систем массового обслуживания, включенных в сеть.

## ПРИМЕР

Рассмотрим строительную фирму, состоящую из четырех производственных бригад: нулевого цикла, возведения каркаса, кровельщиков и отделочников. В качестве единицы времени выберем одни сутки. Интенсивность поступления заявок на обслуживание  $\lambda_0 = 1/15 \approx 0,067$ , то есть в среднем каждые 15 дней фирма получает один заказ на выполнение работ по своему профилю. При этом заказы могут быть разными: одни заказы предусматривают последовательное выполнение всех четырех видов работ, выполняемых фирмой, другие – только некоторые. Соответствующая матрица передач приведена в табл. 1.

Таблица 1

j \ i	0	1	2	3	4
0	0	0,1	0,2	0,3	0,4
1	0,1	0	0,9	0	0
2	0,2	0	0	0,8	0
3	0,5	0	0	0	0,5
4	1	0	0	0	0

Согласно этой таблице вероятность поступления заказа на выполнение работ нулевого цикла составляет всего 0,1, но, с другой стороны, вероятность того, что после выполнения этого вида работ заявка навсегда покинет сеть массового обслуживания, также равна 0,1, то есть среди потока заявок всего одна десятая составляет заявки на выполнение работ нулевого цикла, но из этого количества 90 % заявок представляют собой генподрядные договоры, предусматривающие выполнение всего комплекса работ. С другой стороны, вероятность поступления заказов на выполнение кровельных работ достаточно велика (30%), но из этих заказов только половина предусматривает выполнение еще и отделочных работ, остальные же покидают сеть.

Используя соотношения (21.2), найдем значения интенсивностей поступления требований в каждую из систем массового обслуживания, включенных в сеть  $\lambda_1 = 0,007$ ;  $\lambda_2 = 0,019$ ;  $\lambda_3 = 0,035$ ;  $\lambda_4 = 0,044$ .

Интенсивность обслуживания заявки в каждой системе массового обслуживания, включенной в сеть, различна и составляет  $\mu_1=0,067$ ,  $\mu_2=0,033$ ,  $\mu_3=0,083$ ,  $\mu_4=0,1$ .

Анализируя данные, представленные в табл. 2 для трех значений интенсивности поступления требований в сеть:  $\lambda_0 = 1/15 \approx 0,067$ ;  $\lambda_0 = 1/14 \approx 0,071$ ;  $\lambda_0 = 1/12 \approx 0,083$ ; можно сделать вывод: вероятность простоя бригады нулевого цикла составляет 88 % - 90 % , а вероятность простоя всей рассматриваемой

сети массового обслуживания, то есть рассматриваемой строительной фирмы, определяется по формуле (4) и составит

$$P_{0,0,0,0} = 0,9 * 0,42 * 0,57 * 0,56 \approx 0,121 = 12,1\% \text{ для } \lambda_0 = 1/15 \approx 0,067,$$

$$P_{0,0,0,0} = 0,89 * 0,38 * 0,54 * 0,52 \approx 0,096 = 9,6\% \text{ для } \lambda_0 = 1/14 \approx 0,071,$$

$$P_{0,0,0,0} = 0,88 * 0,28 * 0,47 * 0,45 \approx 0,05 = 5\% \text{ для } \lambda_0 = 1/12 \approx 0,083.$$

Таким образом, среднее время пребывания заявки, проходящей весь цикл работ, в рассматриваемой сети массового обслуживания составит:

при  $\lambda_0 = 1/15 \approx 0,067$ ,  $T=T_1+T_2+T_3+T_4 \approx 127$  дн., а время ожидания  $W \approx 60$  дн.,

при  $\lambda_0 = 1/14 \approx 0,071$ ,  $T=T_1+T_2+T_3+T_4 \approx 137$  дн., а время ожидания  $W \approx 72$  дн.,

при  $\lambda_0 = 1/12 \approx 0,083$ ,  $T=T_1+T_2+T_3+T_4 \approx 175$  дн., а время ожидания  $W \approx 109$  дн.

Следует отметить, что узким местом в данной строительной организации, согласно табл. 2, является бригада по возведению каркаса здания, для которой среднее число заявок в очереди изменяется в пределах от 1,38 до 2,63. Для ликвидации очереди введем в сеть второй обслуживающий канал, то есть будем считать, что в строительном предприятии будут действовать две бригады по возведению каркаса с одинаковой производительностью.

Используем результаты для многоканальных систем массового обслуживания. В этом случае вероятность того, что многоканальная система будет свободна от обслуживания, то есть простаивать, определяется формулой

$$P_0 = \frac{1}{\frac{\psi_i^s}{s! \left(1 - \frac{\psi_i}{s}\right)} + \sum_{n=0}^{s-1} \frac{\psi_i^n}{n!}}, \quad (7)$$

где  $\psi_i = \lambda_i / \mu_i$  - трафик - интенсивность,  $s$  - число обслуживающих устройств, в нашем случае равно 2.

Таблица 2

$\lambda_0$	$\lambda_i$	$\mu_i$	$\psi_i = \lambda_i / \mu_i$	$P_0^i$	$\bar{N}$	$T_i$	$W_i$
0,067	0,007	0,067	0,1	0,9	0,11	16,67	1,7
	0,019	0,033	0,58	0,42	1,38	71,42	41,4
	0,035	0,083	0,43	0,57	0,74	20,89	8,9
	0,044	0,1	0,444	0,56	0,8	17,99	8
0,071	0,007	0,067	0,11	0,89	0,12	16,8	1,8
	0,021	0,033	0,62	0,38	1,64	79,25	49,2
	0,038	0,083	0,46	0,54	0,84	22,06	10,1
	0,048	0,1	0,48	0,52	0,91	19,07	9,1
0,083	0,008	0,067	0,13	0,88	0,14	17,14	2,1
	0,024	0,033	0,73	0,28	2,63	109,09	79,1
	0,044	0,083	0,53	0,47	1,14	25,64	13,6
	0,056	0,1	0,56	0,45	1,25	22,47	12,5

Вероятность того, что в данной системе массового обслуживания будет находиться  $n$  заявок на обслуживание, определяется из выражения

$$P_n = \begin{cases} P_0 \frac{\psi^n}{n!}, & \text{если } 0 \leq n \leq s; \\ \frac{P_0 s^s}{s!} \cdot \left(\frac{\psi}{s}\right)^n & \text{если } n \geq s. \end{cases} \quad (8)$$

Остальные операционные характеристики будут определяться из соотношений вида

$$\begin{aligned} \bar{N} &= \frac{\psi^{s+1}}{(s-1)!(s-\psi)^2} P_0 + \psi, \quad T = \frac{1}{\mu} \left( \frac{\psi^{s+1}}{(s-1)!(s-\psi)^2} P_0 + \psi \right), \\ W &= \frac{\psi}{(s-1)!(s-\psi)^2} \frac{P_0}{\mu}. \end{aligned} \quad (9)$$

Используя (9) для нахождения параметров системы массового обслуживания, рассматриваемой в примере (напомним, что речь идет о второй бригаде, занимающейся работами по возведению каркаса здания), получим

$$\bar{N}_2 = 0,63, \quad T_2 = 32,75 \text{ дн.}, \quad W_2 = 4,8 \text{ дн.} \quad \text{для } \lambda_0 = 1/15 \approx 0,067,$$

$$\bar{N}_2 = 0,69, \quad T_2 = 33,21 \text{ дн.}, \quad W_2 = 5,2 \text{ дн.} \quad \text{для } \lambda_0 = 1/14 \approx 0,071,$$

$$\bar{N}_2 = 0,83, \quad T_2 = 34,54 \text{ дн.}, \quad W_2 = 6,3 \text{ дн.} \quad \text{для } \lambda_0 = 1/12 \approx 0,083.$$

При этом среднее время пребывания заявки в сети массового обслуживания в данном случае уменьшится и составит:

$$\text{при } \lambda_0 = 1/15 \approx 0,067, \quad T \approx 88 \text{ дн.}, \quad \text{а время ожидания } W \approx 23 \text{ дн.},$$

$$\text{при } \lambda_0 = 1/14 \approx 0,071, \quad T \approx 91 \text{ дн.}, \quad \text{а время ожидания } W \approx 26 \text{ дн.},$$

$$\text{при } \lambda_0 = 1/12 \approx 0,083, \quad T \approx 100 \text{ дн.}, \quad \text{а время ожидания } W \approx 35 \text{ дн.}$$

Таким образом, с введением второй бригады по возведению каркаса, параметры всей сети массового обслуживания значительно улучшились, так как существенно сократилось время ожидания заявок в очередях на обслуживание.

## ЗАДАНИЕ

Рассмотрим строительную фирму, состоящую из четырех производственных бригад: нулевого цикла, возведения каркаса, кровельщиков и отделочников. В качестве единицы времени выберем одни сутки. Интенсивность поступления заявок на обслуживание  $\lambda_0 = 1/15 \approx 0,067$ , то есть в среднем каждые 15 дней фирма получает один заказ на выполнение работ по своему профилю. При этом заказы могут быть разными: одни заказы предусматривают последовательное выполнение всех четырех видов работ, выполняемых фирмой, другие – только некоторые. Соответствующая матрица передач приведена в табл. 3.



Таблица 3

1 вариант	$\lambda_0=0,1$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0
2 вариант	$\lambda_0=0,15$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0
3 вариант	$\lambda_0=0,12$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0
4 вариант	$\lambda_0=0,14$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0
5 вариант	$\lambda_0=0,17$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0

Продолжение табл. 3

6 вариант	$\lambda_0=0,2$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0
7 вариант	$\lambda_0=0,19$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0
8 вариант	$\lambda_0=0,11$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0
9 вариант	$\lambda_0=0,09$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0
10 вариант	$\lambda_0=0,08$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0

Продолжение табл. 3

11 вариант	$\lambda_0=0,21$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0
12 вариант	$\lambda_0=0,18$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0
13 вариант	$\lambda_0=0,07$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0
14 вариант	$\lambda_0=0,08$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0
15 вариант	$\lambda_0=0,6$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0

16 вариант	$\lambda_0=0,22$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0
17 вариант	$\lambda_0=0,23$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0
18 вариант	$\lambda_0=0,24$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0
19 вариант	$\lambda_0=0,25$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0
20 вариант	$\lambda_0=0,26$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0

21 вариант	$\lambda_0=0,27$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0
22 вариант	$\lambda_0=0,28$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0
23 вариант	$\lambda_0=0,29$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0
24 вариант	$\lambda_0=0,3$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0
25 вариант	$\lambda_0=0,31$	$\mu_i$	i \ j	0	1	2	3	4
			0	0	0,1	0,1	0,2	0,3
		0,07	1	0,2	0	0,8	0	0
		0,03	2	0,3	0	0	0,7	0
		0,09	3	0,4	0	0	0	0,4
		0,2	4	1	0	0	0	0

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как определить интенсивность входного потока в систему массового обслуживания систему, включенную в сеть массового обслуживания?
2. Что такое пуассоновский поток?
3. Что такое матрица передачи?
4. Назовите основные операционные характеристики системы массового обслуживания применительно к строительной организации?
5. Какие ограничения существуют в рассмотренной модели?
6. Почему элементы матрицы передачи  $a_{ij}=0$  для  $j-i>1$ ?
7. Чем отличается время обслуживания заявки от времени нахождения заявки в системе?
8. Что такое трафик-интенсивность?
9. Обоснуйте правомочность использования при моделировании простейшего потока.
10. Какие предположения вводятся о входном потоке в сеть массового обслуживания, моделирующей строительное предприятия.
11. Как вычисляются компоненты матрицы передач?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методические указания к проведению практических занятий и самостоятельной работе по дисциплине «Организация строительного производства» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 38.03.01 – «Экономика» всех форм обучения, профилей и специализаций содержат краткий обзор основных понятий по теме «Планирование производственной деятельности строительной организации». Подчеркивается, что строительство – это стохастическая динамическая система, для исследования которой необходимо применять статистические методы исследования, в частности теорию массового обслуживания. В данных методических указаниях описывается, как по имеющемуся статистическому материалу сделать обоснованные выводы об изучаемом явлении. По теме приводится краткий теоретический материал, пример определения на основе статистических данных операционных характеристик рассматриваемой модели: среднее время выполнения одного договора, среднее время ожидания обслуживания заявки на выполнения определенного вида работы, среднее число заявок на выполнение определенного вида работ, даются данные для самостоятельного решения и приводятся вопросы для самоконтроля. Всем интересующимся более глубоким изучением предмета может быть рекомендовано обращение к литературе, приведенной в конце методических указаний.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курочка П.Н. Моделирование задач организационно-технологического проектирования строительного производства. Воронеж: ВГАСУ, 2004. – 204 с.
2. Баркалов С.А., Курочка П.Н. и др. Основы научных исследований по организации и управлению строительным производством. В 2-х частях. Воронеж: ВГАСУ, 2002. – 422 с.; 285 с.
3. Баркалов С.А., Курочка П.Н., Федорова И.В Исследование операций в экономике. Лабораторный практикум. ВГАСУ, 2006. – 343 с.
4. Баркалов С.А. и др. Основы научных исследований по управлению строительным производством. Воронеж: ВГАСУ, 2011. – 188 с.
5. Рыжевская, М. П. Организация строительного производства [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67685.html>
6. Михайлов, А. Ю. Организация строительства. Календарное и сетевое планирование [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/51728.html>
7. Михайлов, А. Ю. Организация строительства. Стройгенплан [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/51729.html>

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Практические занятия и самостоятельная работа по курсу «Организация строительного производства».....	4
Тема практического занятия: «Организационно-технологическое моделирование производственной деятельности строительного предприятия».....	5
Теоретические основы.....	5
Пример.....	14
Задание.....	16
Контрольные вопросы.....	22
Заключение.....	22
Библиографический список.....	23



**ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО  
ПРЕДПРИЯТИЯ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к практическим занятиям и самостоятельной работе по дисциплине  
«Организация строительного производства» для студентов направления  
38.03.01 «Экономика» (все профили) всех форм обучения

**Составители:**

**Баркалов Сергей Алексеевич**

**Курочка Павел Николаевич**

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 21.01.2022.

Уч.-изд. л. 1,6.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»  
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84