

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ  
СООБЩЕНИЯ»**

**Забайкальский институт железнодорожного транспорта –  
филиал Федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Иркутский государственный университет путей сообщения»  
(ЗабИЖТ ИргУПС)**

**Кафедра «Строительство железных дорог»**

**К. А. Кирпичников  
В. Ю. Линейцев**

**ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАДЕЖНОСТЬ  
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

**Методическое пособие  
для проведения практических занятий,  
выполнения контрольных работ,  
курсового и дипломного проектирования**

**Чита  
2018**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ  
СООБЩЕНИЯ»**

**Забайкальский институт железнодорожного транспорта –  
филиал Федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Иркутский государственный университет путей сообщения»  
(ЗабИЖТ ИрГУПС)**

**Кафедра «Строительство железных дорог»**

**К. А. Кирпичников  
В. Ю. Линейцев**

**ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАДЕЖНОСТЬ  
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

**Методическое пособие  
для проведения практических занятий,  
выполнения контрольных работ,  
курсового и дипломного проектирования  
по дисциплине «Управление организационно-технологической  
надежностью транспортного строительства»  
для студентов очной и заочной форм обучения  
специальности 23.05.06 «Строительство железных дорог,  
мостов и транспортных тоннелей»**

**Чита  
2018**

УДК 656  
ББК Н74  
К 43

*Рецензенты:*

директор ООО «Забтранспроект»

*С. Н. Сизачев;*

доцент кафедры «Строительство железных дорог»  
Забайкальского института железнодорожного транспорта  
канд. техн. наук,

*К. Ю. Ворончихин*

**Кирпичников К. А.**

**К 43** Организационно-технологическая надежность при проектировании и строительстве железных дорог: метод. пособие для проведения практических занятий, выполнения контрольных работ, курсового и дипломного проектирования по дисциплине «Управление организационно-технологической надежностью транспортного строительства» для студентов очной и заочной форм обучения специальности 23.05.06 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей» / К. А. Кирпичников, В. Ю. Линейцев. – Чита: ЗаБИЖТ, 2018. – 46 с.

Методическое пособие предназначено для проведения практических занятий, курсового и дипломного проектирования, а также самостоятельного изучения дисциплины. Особое место в пособии отводится изложению теоретических основ рассматриваемых вопросов, сути применяемых методов, обоснованию применяемых методик, а также рассматриваются примеры применения методов и способов, изучаемых в дисциплине в строительстве.

© Забайкальский институт железнодорожного транспорта (ЗаБИЖТ), 2018

План 2017 г.

Кирпичников Константин Александрович, Линейцев Владимир Юрьевич  
ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ НАДЕЖНОСТЬ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ  
И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Методическое пособие для проведения практических занятий, выполнения контрольных работ, курсового и дипломного проектирования по дисциплине «Управление организационно-технологической надежностью транспортного строительства» для студентов очной и заочной форм обучения специальности 23.05.06 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей»

\*\*\*

Редактор Н. А. Старицына

Подписано в печать 26.11.2018 г. Поз. 7.21. Бумага тип. № 2.

Формат 60x84/16. Печ. л.2,15. Тираж 30. Цена 234 руб.

\*\*\*

672040, г. Чита, ул. Магистральная, 11, ЗаБИЖТ

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ПОНЯТИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА.....	7
1.1. Общие положения.....	7
2. АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТЕЙ СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ КОМПЛЕКСА РАБОТ.....	11
2.1. Учет вероятностного характера производства в сетевых графиках.....	11
2.2. Пример оценки надежности сетевой модели.....	13
3. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ.....	16
3.1. Основы статистических испытаний сетевой модели.....	16
3.2. Пример оценки надежности сетевой модели методом статистических испытаний.....	18
4. УЧЕТ ВЕРОЯТНОСТНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВОМ.....	21
4.1. Оптимизация организационно-технологических решений по критерию надежности на основе имитационного моделирования.....	21
4.2. Аналитические методы расчета показателей организационно-технологической надежности строительства.....	23
4.2.1. Общие положения.....	23
4.2.2. Пример расчета статистических показателей организационно-технологической надежности.....	25
4.3. Разработка организационно-технических мероприятий по повышению уровня надежности производства.....	31
4.3.1. Анализ факторов, влияющих на уровень организационно-технологической надежности строительного производства.....	31
4.4. Методика оценки надежности систем управления производством.....	34
4.4.1. Понятие надежности систем управления производством.....	34
4.4.2. Оценка надежности исполнителей в системе управления.....	35
4.4.3. Надежность структурных подразделений системы управления.....	37
4.4.4. Пример оценки надежности группы исполнителей (отдела строительной организации).....	38

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	41
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	43
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	45
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	46

## ВВЕДЕНИЕ

Основная задача теории надежности на этапе организационно-технологического проектирования – принятие обоснованных решений, касающихся выбора структуры работ и их исполнителей, последовательности возведения участков железной дороги, земляного полотна, водопропускных сооружений и всего комплекса линии, фронта работ, материально-технических и других ресурсов, вариантов организационно-технологических моделей построения оптимальной системы оперативного планирования и управления и т. д.

В последние годы все больше возрастает необходимость повышения организационно-технологической надежности. В данном вопросе необходимо выбирать оптимальные технические и организационные показатели как по техническим, организационным, так и по экономическим, социальным и другим требованиям. Для повышения уровня надежности при строительстве и реконструкции железнодорожных линий необходимо повысить уровень безотказности, уровень готовности, уровень ремонтпригодности, своевременно применять резервирование, использовать современные методы расчета, учитывающие вероятностный характер процесса строительства.

Вероятностный характер строительства заключается в том, что на ход работ все время воздействуют различные случайные факторы. Эти воздействия трудно предвидеть и оценить. Случайные факторы имеют весьма многообразную природу, и последствия их воздействия весьма многообразны. Очень важно оценить воздействие случайных факторов, предвидеть их наступление.

В современных условиях, когда в строительном производстве занято большое количество участников, технических средств, людских и других видов ресурсов, значительно усложняются технологические, организационные, экономические и управленческие решения. По этой причине все острее становится проблема обеспечения надежности и устойчивости функционирования производственных строительных систем.

Дисциплина «Управление организационно-технологической надежностью транспортного строительства» является продолжением общих учебных курсов: «Организация, планирование и управление железнодорожным строительством», «Технология, механизация и автоматизация железнодорожного строительства», «Экономика строительства» и др. Дисциплина тесно связана с этими предметами, но не повторяет, а дополняет их. Ее основной задачей является объединение теоретических, методологических, практических подходов к решению многофакторных производственных задач на основе системного обеспечения организационно-технологической надежности строительства.

Данное издание основано на ранее изданном пособии «Организационно технологическая надежность строительства» Г. Л. Шалягина и И. В. Потапова.

Методическое пособие предназначено для проведения практических занятий по дисциплине. Особое место отводится изложению теоретических основ рассматриваемых вопросов, сути применяемых методов, обоснованию применяемых методик и т. д.



# 1. ПОНЯТИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА

## 1.1. Общие положения

Под надежностью в технике понимается свойство объекта (системы) сохранять во времени способность к выполнению заданных функций в заданных условиях эксплуатации [3]. Состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией, называют работоспособным. Событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта, называют отказом.

Все отказы носят случайный характер, поскольку вызываются влиянием случайных факторов. Поэтому надежность систем определяется вероятностью отказа в течение гарантированного проектом срока исправной работы системы.

Теория надежности базируется на методах математической статистики, теории вероятностей и теории массового обслуживания. С позиций этих методов важен анализ структуры системы, надежность которой нужно определить. Любая система может состоять из независимых элементов, из зависимых элементов, взаимодействующих между собой, а также из всевозможных комбинаций тех и других. Очевидно, что строительные производственные системы представляют собой сложные и разнообразные сочетания зависимых и независимых элементов, характеризующихся неоднородностью.

Основной количественной характеристикой надежности системы является вероятность безотказной работы в течение заданного времени  $t$ , определяемая по формуле

$$P(t) = \frac{N - n(t)}{N}, \quad (1.1)$$

где  $N$  – число однородных элементов в начале работы,  $n(t)$  – число отказавших (частично или полностью вышедших из строя) элементов за время работы  $t$ .

Вероятность безотказной работы является убывающей функцией времени и обладает свойствами: в начальный момент времени (при  $t=0$ )  $p(0) = 1$ , а при  $t \rightarrow \infty$  функция  $p(t)$  стремится к нулю.

На практике иногда более удобной характеристикой является вероятность отказа  $Q(t)$ . Безотказная работа системы и появление отказа являются событиями, несовместимыми и противоположными, поэтому сумма их вероятностей равна 1. Следовательно

$$Q(t) = 1 - p(t). \quad (1.2)$$

Для систем строительного производства характерными являются не полные отказы, а частные, т. е. сбои в работе, которые самоустраниваются в процессе непрерывного функционирования системы. Поэтому в большинстве работ по организационно-технологической надежности строительства в качестве основного показателя надежности системы используется коэффициент готовности  $K_G$ . Он представляет собой отношение продолжительности безотказной работы системы за данный период ее функционирования к сумме продолжительности безотказной работы и отказов (сбоев или простоев) за тот же период времени

$$K_G = \frac{T}{T + \sum_{i=1}^n t_{OT}}, \quad (1.3)$$

где  $T$  – продолжительность безотказной работы;

$t_{OT}$  – продолжительность отказов  $i$ -го элемента системы;

$i = \overline{1;n}$ .

Безотказность как понятие организационно-технологическая надежности (ОТН) – это свойство объекта сохранять работоспособное состояние в течение некоторого заданного времени. Вероятность безотказной работы – это вероятность того, что в заданных пределах времени отказ в работе системы не возникает.

Оценка ОТН системы может быть проведена только по результату деятельности системы. Этот результат формулируется как вероятность выполнения всего проекта или определенных работ к установленному сроку [4]. Поэтому под оценкой надежности строительных систем следует понимать оценку вероятности достижения цели.

В качестве основы для количественной оценки ОТН используется среднее время безотказной работы системы без внесения изменений в структуру и характер деятельности этой системы. Зная среднее фактическое время безотказного функционирования системы и планируемое время ее действия, можно, используя законы теории вероятностей, определить вероятность безотказного функционирования системы в течение всего заданного времени (вероятность безотказной работы –  $p$ ). Эта вероятность, т. е. надежность системы, выражается в процентах или численно в интервале  $0 \dots 1$ :

$$0 < p \leq 1.$$

Система в процессе функционирования может находиться в состоянии отказа или безотказности. В результате устанавливается соотношение между планируемой и фактической продолжительностью выполне-

ния работ. Следовательно, условия отказа и безотказности можно записать как

- отказ –  $T_{\phi} > T_{нл}$ ;
- безотказность –  $T_{\phi} \leq T_{нл}$ .

Для расчета надежности используется аппарат теории вероятностей, так как  $P$  является функцией распределения случайной величины. Чем больше  $P$ , тем надежнее система, поэтому критерий надежности производственной системы можно представить в виде

$$P(T_{\phi} < T_{нл}) \rightarrow \max. \quad (1.4)$$

Факторы, определяющие вероятностный характер производственного процесса в строительстве, можно классифицировать следующим образом [4–6]:

- случайные факторы технического порядка: всевозможные поломки машин, механизмов, транспортных средств, выход из строя сетей энерго- и водоснабжения, дорог и других коммуникаций; низкое качество материалов, деталей, конструкций, оборудования, не позволяющее применить их по назначению; изменение проектных решений в процессе строительства и т. п.;

- случайные факторы технологического порядка: устранение брака, переделка недоброкачественно выполненных работ, изменение запланированной последовательности работ вследствие допущенных нарушений в технологии; появление непредвиденных работ и т. п.;

- случайные факторы организационного порядка: нарушение обязательств по выдаче проектной документации, поставкам материалов, конструкций, оборудования; срыв согласованных сроков работ какой-либо участвующей в строительстве организацией; отсутствие рабочих требуемой специальности и классификации и т. п.;

- случайные факторы климатического порядка: ливень, ураган, распутица, снегопад, метель, гололед и т. п.;

- случайные факторы социального порядка: невыход работника на производство, невыполнение производственного задания при полном обеспечении ресурсами, умышленная порча или хищение материалов, оборудования и т. п.

Влияние внешних и внутренних случайных факторов приводит к тому, что ход производственного процесса отклоняется от ранее запланированного. В связи с этим управляющая система должна периодически вырабатывать ( $B$ ) и анализировать ( $P$ ) мероприятия, ликвидирующие отрицательные отклонения и обеспечивающие достижение объектом управления заданного результата.

Вероятность выполнения этих действий системой управления на данном уровне руководства определяет надежность функционирования данной системы  $p(U)$ :

$$p(U) = p(B, P). \quad (1.5)$$

В соответствии с этой формулой решение проблемы надежности заключается в разработке и реализации мероприятий (планов, организационных и управленческих решений), обеспечивающих достижение заданного результата объектом управления.

В теории вероятностей, как известно, существует так называемое правило умножения вероятностей, которое для зависимых событий гласит: вероятность совместного наступления двух событий равно произведению вероятности первого события на условную вероятность второго, вычисленную в предположении, что первое событие состоялось. Анализируя это правило, вполне определенно можно интерпретировать взаимосвязь между подсистемой выработки решений и подсистемой их реализации.

Тогда выражение (1.5) можно представить в виде

$$p(U) = p(B, P) = p(B) \times p_B(P), \quad (1.6)$$

где  $p(B)$  – вероятность выработки системой решений, обеспечивающих достижение заданной цели системы;

$p_B(P)$  – вероятность реализации системой выработанных решений по достижению заданной цели системы.

Из выражения (1.6) следует, что вероятность выработки решений и вероятность их реализации можно рассматривать отдельно. Этот вывод определяет два направления в практике решения проблемы надежности: рассмотрение надежности выработки решений и обеспечение надежности функционирования системы в процессе реализации решений.

В качестве первого пути многие исследователи избирают проблему обеспечения надежности организационно-технологических моделей строительства объектов, к числу которых относятся календарные планы производства строительно-монтажных работ (в линейном, сетевом или ином изображении).

## 2. АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТЕЙ СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ КОМПЛЕКСА РАБОТ

### 2.1. Учет вероятностного характера производства в сетевых графиках

Сетевые графики (модели) по характеру используемых оценок работ делятся на детерминированные и вероятностные (стохастические) [2,7,8]. Детерминированными называют сетевые графики, являющиеся моделями процессов, характеризующихся четко определенной структурой и вполне определенной (детерминистической) оценкой работ по выбранному критерию (время, исполнители, стоимость и т. д.).

Например, оценкой продолжительности работы может быть нормативное время  $T_H$ , которое можно определить из выражения

$$T_H = \frac{V}{\Pi}, \quad (2.1)$$

где  $V$  – объем работы, намеченный к выполнению определенным исполнителем;

$\Pi$  – нормативная производительность исполнителя (бригады или звена рабочих, отдельной машины или комплекта машин).

Вероятностными называют сетевые графики, являющиеся моделями процессов, имеющих некоторую неопределенность, связанную с вероятностным характером системы. При наличии неопределенности пользуются вероятностными оценками работ. Так при определении продолжительности работ вместо одной оценки принимают две или три вероятностные:

$T_{HB}$  – наиболее вероятное время выполнения работы. Это продолжительность работы при нормальных и часто встречающихся условиях;

$T_O$  – оптимальная оценка – время, необходимое для выполнения работы при наиболее благоприятном стечении обстоятельств;

$T_H$  – пессимистическая оценка – время, необходимое для выполнения работы при наиболее неблагоприятном стечении обстоятельств.

Вероятностные сетевые модели используются в системе PERT (метод оценки и обзора программ), в которой принято, что продолжительность работ подчиняется закону  $\beta$ -распределения, а время завершения всего комплекса работ – нормальному закону распределения [7,8]. При этом применяется метод усреднения, позволяющий вычислить ожидаемую продолжительность работы  $T_{ож}$  – временную оценку, которая выражается через вероятностные оценки и используется для расчета сетевой модели, и величину дисперсии  $\sigma^2$  – меру неопределенности этой

продолжительности, по которой оценивают надежность модели.

Ожидаемое значение продолжительности работы рассчитывается либо по трем временным оценкам ( $T_O$ ,  $T_{HB}$ ,  $T_{II}$ ) по формуле

$$T_{OЖ} = (T_O + 4T_{HB} + T_{II}) / 6; \quad (2.2)$$

либо по двум оценкам ( $T_O$ ,  $T_{II}$ ) по формуле

$$T_{OЖ} = (3T_O + 2T_{II}) / 5. \quad (2.3)$$

Дисперсия продолжительности работы определяется:

– при трех временных оценках как

$$\sigma^2 = [(T_{II} - T_O) / 6]^2; \quad (2.4)$$

– при двух оценках как

$$\sigma^2 = [(T_{II} - T_O) / 5]^2. \quad (2.5)$$

Далее значения  $T_{OЖ}$  по каждой работе используются при расчете вероятностной сетевой модели теми же методами, что и детерминированной модели. Определяются ранние и поздние сроки свершения событий, продолжительность критических путей, общий и частные резервы времени. Кроме продолжительности работ, в вероятностной сетевой модели определяется также дисперсия продолжительности критического пути (или свершения любого события) путем суммирования дисперсий последовательности работ, характеризующих срок свершения рассматриваемого события. Этот прием позволяет определить параметры, учитывающие вероятностный характер моделируемого процесса, и надежность модели. При этом под надежностью сетевой модели понимается вероятность завершения входящих в нее работ в заданный срок.

Так как критический путь сетевого графика состоит из цепи работ, длительности которых распределяются по случайному закону, то согласно основной граничной теореме теории вероятностей распределение вероятных сроков окончания проекта (комплекса работ) подчиняется нормальному закону [6–8].

Таким образом, вероятность свершения завершающего события сетевой модели в установленный срок (надежность сетевой модели) может быть определена по формуле

$$p(T_{KP} \leq T_D) = \Phi\left(\frac{T_D - T_{KP}}{\sqrt{\sum \sigma^2}}\right) = \Phi(t), \quad (2.6)$$

где  $p$  – вероятность свершения конечного события в установленный срок;

$T_D$  – директивный срок окончания работ на объекте;

$T_{KP}$  – ожидаемый срок завершения всего комплекса работ сетевой модели (продолжительность критического пути);

$\Phi(t)$  – значение функции нормального распределения (функция Лапласа). Значения функции Лапласа приводятся в многочисленных пособиях по математической статистике (прил. 1).

## 2.2. Пример оценки надежности сетевой модели

Рассмотрим вероятностную сетевую модель (рис. 2.1).

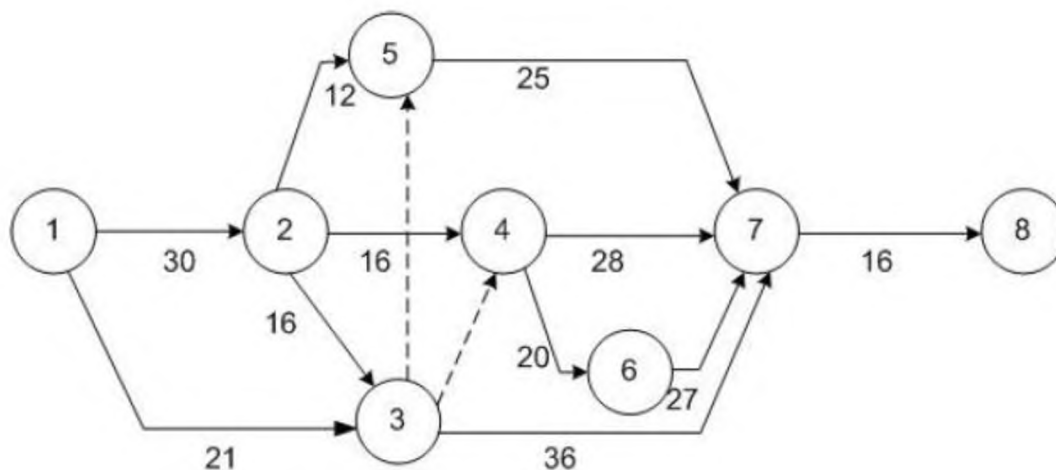


Рис. 2.1. Сетевая модель к примеру расчета ОТН

Пример расчета сетевой модели табличным способом приведен в [19].

Временные оценки работ сетевой модели  $T_{НВ}$ ,  $T_0$ ,  $T_П$ , а также рассчитанные на их основе величины  $T_{ож}$  и  $\sigma^2$  соответственно по формулам (2.1) и (2.2) по трем временным оценкам приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Данные для расчета вероятностной сетевой модели

Код работы	Оценка времени, дн.			Ожидаемое время $T_{ож}$ , дн.	Дисперсия $\sigma^2$
	$T_0$	$T_П$	$T_{НВ}$		
1-2	23	70	30	35,5	61,36
1-3	14	40	21	23,0	18,78
2-3	10	28	16	17,0	9,00
2-4	10	40	16	19,0	25,0

## Окончание табл. 2.1

Код работы	Оценка времени, дн.			Ожидаемое время $T_{ож}$ , дн.	Дисперсия $\sigma^2$
	$T_0$	$T_p$	$T_{нв}$		
2-5	10	53	12	18,5	51,36
3-4	0	0	0	0	0
3-5	0	0	0	0	0
3-7	23	48	36	35,8	17,36
4-6	15	35	20	21,7	11,11
4-7	12	45	28	28,2	30,25
5-7	17	35	25	25,4	9,0
6-7	20	38	27	27,7	9,0
7-8	9	27	16	16,7	9,0

1. Определяем продолжительность критического пути сетевого графика, принимая в качестве детерминированных оценок времени выполнения работ наиболее вероятную продолжительность  $T_{нв}$  (табл. 2.2)

Таблица 2.2.

Расчет сетевого графика по детерминированным временным оценкам

Код работы	Длительность $T_{нв}$ , дн	Раннее время, дн		Позднее время, дн		Резерв времени, дн		Работы критического пути
		$t_{р.н}$	$t_{р.о}$	$t_{п.н}$	$t_{п.о}$	R	r	
1-2	30	0	30	0	30	0	0	1-2
1-3	21	0	21	25	46	25	25	-
2-3	16	30	46	30	46	0	0	2-3
2-4	16	30	46	30	46	0	0	2-4
2-5	12	30	46	56	68	26	0	-
3-4	0	46	46	46	46	0	0	3-4
3-5	0	46	46	68	68	22	0	-
3-7	36	46	82	57	93	11	11	-
4-6	20	46	66	46	66	0	0	4-6
4-7	28	46	74	65	93	19	19	-
5-7	25	46	71	68	93	22	22	-
6-7	27	66	93	66	93	0	0	6-7
7-8	16	93	109	93	109	0	0	7-8

2. Выполняем так же расчет сетевого графика, используя оценки ожидаемой длительности работ  $T_{ож}$  (табл.2.3).



Таблица 2.3

## Расчет сетевого графика по ожидаемым длительностям работ

Код работы	Длительность $T_{нв}$ , дн	Раннее время, дн		Позднее время, дн		Резерв времени, дн		Работы критического пути
		$t_{р.н}$	$t_{р.о}$	$t_{п.н}$	$t_{п.о}$	R	r	
1-2	35,5	0	35,5	0	35,5	0	0	1-2
1-3	23,0	0	23,0	31,5	54,5	31,5	29,5	
2-3	17,0	35,5	52,5	37,5	54,5	2,0	0	2-4
2-4	19,0	35,5	54,5	35,5	54,5	0	0	
2-5	18,5	35,5	54	60	78,5	24,5	0	
3-4	0	52,5	52,5	54,5	54,5	2,0	2,0	4-6
3-5	0	52,5	52,5	78,5	78,5	26,0	1,5	
3-7	35,8	52,5	88,3	68,1	103,9	15,6	15,6	
4-6	21,7	54,5	76,2	54,5	76,2	0	0	6-7
4-7	28,2	54,5	82,7	75,7	103,9	21,2	21,2	
5-7	25,4	54	79,4	78,5	103,9	24,5	24,5	
6-7	27,7	76,2	103,9	76,2	103,9	0	0	7-8
7-8	16,7	103,9	120,6	103,9	120,6	0	0	

3. По полученным результатам расчетов оцениваем вероятность выполнения комплекса работ за  $T_d=109$  дней (детерминированная продолжительность критического пути). Для этого находим значение аргумента  $t$  нормальной функции распределения  $\Phi(t)$  по формуле (2.6)

$$t = \frac{109 - 120,6}{\sqrt{61,36 + 25 + 11,11 + 9 + 9}} = -1,08.$$

По таблице значения  $\Phi(t)$  (см. Приложение 1) вероятность выполнения работ за 109 дней составит при  $\Phi(-1,08)$   $p = 0,1401$  или 14 %.

В системе PERT считается, что надежность сетевой модели должна быть в пределах 35–65 % [8, 9]. Приведенный в данном примере анализ надежности сетевой модели, показывает, что выполнение рассматриваемого проекта за 109 рабочих дней маловероятно.

При изменении директивного срока окончания работ, например до 117 рабочих дней, можно существенно повысить организационно-технологическую надежность проекта. В этом случае  $t = -0,34$  и  $\Phi(-0,34) = 0,3669$  или 37 %.

### 3. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

#### 3.1. Основы статистических испытаний сетевой модели

Рассмотренный в предыдущем разделе метод оценки надежности сетевых графиков основан на анализе критических путей. Если критический путь (пути) в ходе реализации графика не меняются, то метод считается точным. В случаях, когда критический путь может измениться, метод чаще всего дает ошибочные результаты [8]. В этом случае целесообразно оценивать надежность графиков с помощью статистического проигрыша (статистических испытаний).

Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло) представляет собой совокупность приемов и правил, позволяющих имитировать (воспроизводить) вероятностные процессы с применением аппарата случайных чисел. Этот метод в настоящее время является наиболее универсальным из численных методов решения математических, инженерных, экономических и любых других задач, имеющих и вероятностный и детерминированный характер [17].

Метод основан на многократном проигрывании процессов на построенной модели с целью получения как можно большего числа значений количественных характеристик. Затем полученные значения подвергаются статистической обработке, что позволяет выявить соответствующие закономерности данного процесса в виде ряда количественных оценок. Например, многократно изменяя длительности работ сетевой модели, можно в итоге получить выборку значений длительности критического пути, на основании которой оценить вероятность выполнения проекта в заданные сроки.

Решение задач методом Монте-Карло включает следующие этапы:

- 1) разработку и построение структурной схемы процесса (например, сетевого графика); выявление основных звеньев и связей;
- 2) формальное описание процесса (алгоритм расчета критического пути);
- 3) собственно моделирование – воспроизведение процесса в соответствии с разработанной структурной схемой и формальным описанием;
- 4) накопление результатов моделирования, их статистическую обработку, анализ и обобщение.

Для моделирования процесса используются так называемые случайные числа с различными законами распределения. Чаще всего случайные числа – это равномерная случайная последовательность чисел в интервале 0–1. Такие последовательности случайных чисел можно получить тремя способами:

- построением таблиц случайных чисел;

- созданием генераторов случайных чисел;
- использованием метода псевдослучайных чисел.

В пособии используется таблица нормальных нормированных случайных отклонений  $\gamma$  [8]. С их помощью многократно изменяются продолжительности работ  $t_{ij}$  сетевой модели:

$$t_{ij} = T_{оэж} + \sigma_{ij}\gamma, \quad (3.1)$$

где  $T_{оэж}$  – расчетная продолжительность работ вероятностной сетевой модели;

$\sigma_{ij} = \sqrt{\sigma_{ij}^2}$  – среднеквадратическое отклонение от  $T_{оэж}$ ;

$\gamma$  – нормированные случайные отклонения (прил. 2) в долях  $\sigma_{ij}$ .

Изменив продолжительности работ сетевой модели, производим ее расчет с целью определения длины критического пути  $T_{кр}$ . Такой однократный расчет при статических испытаниях принято называть реализацией модели. Проведя  $N$  реализаций сетевой модели, получим в итоге  $N$  значений продолжительности критического пути. При этом часть значений  $T_{кр}$  будет удовлетворять условию:

$$T_{кр} \leq T_{\partial}, \quad (3.2)$$

где  $T_{\partial}$  – директивный (заданный) срок выполнения комплекса работ.

Вероятность выполнения этого условия

$$p(T_{кр} \leq T_{\partial}) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_1}{N}, \quad (3.3)$$

где  $N_1$  – число реализаций, в которых выполняется условие (3.2);

$N$  – общее число реализаций.

При достаточно большом числе  $N$  на основе статистической обработки значений  $t_{ij}$ ,  $\sigma_{ij}$ ,  $T_{кр}$  и других показателей можно с определенной степенью достоверности установить законы распределения случайных величин и осуществить имитационное моделирование производственного процесса [17].

### 3.2. Пример оценки надежности сетевой модели методом статистических испытаний

По данным примера 2.2 попробуем оценить надежность выполнения комплекса работ в срок менее 120 дней (табл. 2.3) методом статистических испытаний при 10 реализациях сетевой модели (табл. 2.1).

В табл. 3.1 и 3.2 показаны расчеты сетевой модели при первых двух реализациях.

Таблица 3.1

Первая реализация сетевой модели

Код, i-j	$T_{ож}$	$\sigma_{ij}$	$\gamma$	$t_{ij}$	РН	РО	ПН	ПО	Критический путь
1-2	35,5	7,82	-0,2	33,9	0	33,9	0	33,9	1-2
1-3	23	4,34	0,42	24,8	0	24,8	33,4	58,2	
2-3	17	3	2,42	24,3	33,9	58,2	33,9	58,2	2-3
2-4	19	5	0,26	20,3	33,9	54,2	37,9	58,2	
2-5	18,5	7,17	-0,11	17,7	33,9	51,6	76,3	94	
3-4	0	0	0	0	58,2	58,2	58,2	58,2	3-4
3-5	0	0	0	0	58,2	58,2	94	94	3-5
3-7	35,8	4,17	-2,56	25,1	58,2	83,3	90,2	115,3	
4-6	21,7	3,33	0,66	23,9	58,2	82,1	58,2	82,1	4-6
4-7	28,2	5,5	0,08	28,6	58,2	86,8	86,7	115,3	
5-7	25,4	3	-1,37	21,3	58,2	79,5	94	115,3	
6-7	27,7	3	1,83	33,2	82,1	115,3	82,1	115,3	6-7
7-8	16,7	3	0,31	17,6	115,3	132,9	115,3	132,9	7-8

Таблица 3.2

Вторая реализация сетевой модели

Код, i-j	$T_{ож}$	$\sigma_{ij}$	$\gamma$	$t_{ij}$	РН	РО	ПН	ПО	Критический путь
1-2	35,5	7,82	-1,3	25,3	0	25,3	0	25,3	1-2
1-3	23	4,34	-1,1	18,2	0	18,2	27,6	45,8	
2-3	17	3	1,18	20,5	25,3	45,8	25,3	45,8	2-3
2-4	19	5	-0,58	16,1	25,3	41,4	20,5	45,8	
2-5	18,5	7,17	-0,11	17,7	25,3	43	45,8	71,1	
3-4	0	0	0	0	45,8	45,8	45,8	45,8	3-4
3-5	0	0	0	0	45,8	45,8	71,1	71,1	3-5
3-7	35,8	4,17	-0,71	32,8	45,8	78,6	61,4	94,2	
4-6	21,7	3,33	-0,15	21,2	45,8	67	45,8	67	4-6
4-7	28,2	5,5	0,53	31,1	45,8	76,9	63,1	94,2	
5-7	25,4	3	-0,03	25,3	45,8	71,1	71,1	94,2	
6-7	27,7	3	-0,15	27,2	67	94,2	67	94,2	6-7
7-8	16,7	3	2,38	24,3	94,2	118,5	94,2	118,5	7-8

В табл. 3.3 приведены значения  $t_{ij}$  по десяти реализациям статистических испытаний сетевой модели и соответствующая им продолжительность критического пути.

Таблица 3.3

Результаты статистических испытаний сетевой модели

Код, i-j	Значения $t_{ij}$ по реализациям сетевой модели									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-2	33,9*	25,3*	30,3*	34,4*	35,4*	47,7*	33,3*	30,6*	51,7*	39,3*
1-3	24,8	18,2	27,8	27,8	22,6	20,9	25,4	22,1	15,7	35,3
2-3	24,3*	20,5*	16,5	16,3	18,7*	11,5	16,8	18,7	18,5	23,1*
2-4	20,3	16,1	21,7*	23,8*	13,4	22,7*	23,9*	28,1*	19,9*	12,4
2-5	17,7	17,7	14,8	15,7	18,9	16,1	16,9	17,5	18,9	18,26
3-7	25,1	32,8	38,2	35,5	43,3	36,3	36,9	28,8	36,3	34,4
4-6	23,9*	21,2*	26,1*	19,2*	22,4*	23,2*	23,9*	23,6*	21,3*	23,9*
4-7	28,6	31,1	23,9	17,5	29,4	28,7	31,2	24,1	22,1	31,4
5-7	21,3	25,3	24,7	24,6	27,9	25,3	26,6	21,6	23,2	25,9
6-7	33,2*	27,2*	33,1*	26,5*	29,2*	30,0*	27,9*	26,2*	27,9*	32,6*
7-8	17,6	24,3*	20,4*	13,0*	13,1*	13,1*	19,4*	14,9*	12,6*	15,1*
$T_{кр}$	132,9	118,5	131,5	116,8	121	136,6	128,4	123,4	133,5	134

**Примечание.** \*Работа, лежащая на критическом пути.

По окончании намеченного числа  $N$  реализаций (в примере  $N=10$ ) оценивается надежность завершения работ графика в заданный срок  $T_{\partial}$  (в примере  $T_{\partial}=120$  дней):

$$p(T_{кр} \leq T_{\partial}) = N_1/N, \quad (3.4)$$

где  $N_1$  – число реализаций, в которых выполнялось условие (3.2). В примере  $N_1=2$  (табл. 3.2).

Таким образом, по результатам примера надежность выполнения комплекса работ за 120 дней составит:

$$p(T_{кр} < 120) = 2/10 = 0,2.$$

Если принять директивный срок  $T_{\partial}=130$  дн., надежность плана будет значительно выше  $p(T_{кр} < 130) = 5/10 = 0,5$ .

Вероятность выхода каждой работы на критический путь определяется следующим образом:

$$P_{kpij} = \frac{n_{kpij}}{N}, \quad (3.5)$$

где  $P_{kpij}$  – число реализаций, когда работа  $i$ - $j$  вышла на критический путь.

В примере, наряду с работами 1–2, 4–6, 6–7 и 7–8, являющимися критическими при всех реализациях, критическими также будут: работа 2–3 с вероятностью выхода на критический путь ( $P_{kp} = 4/10 = 0,4$ ) и работа 2–4 с вероятностью выхода на критический путь ( $P_{kp} = 6/10 = 0,6$ ).

Полученные результаты нельзя считать окончательными из-за относительно небольшого числа испытаний сетевой модели. Для получения более обоснованных выводов необходимо значительно увеличить число реализаций, что возможно лишь с использованием ЭВМ. Однако уже на этом этапе на основе применения двух методов оценки ОТН модели строительства видно, что принятый в исходной сетевой модели вариант детерминированных временных оценок срок выполнения работ за 109 дней свидетельствует о низкой надежности планов. Следовательно, для повышения качества организационно – технологического проектирования необходимо учитывать вероятностный характер строительного производства.

## **4. УЧЕТ ВЕРОЯТНОСТНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВОМ**

### **4.1. Оптимизация организационно-технологических решений по критерию надежности на основе имитационного моделирования**

Повышение ОТН строительных систем может быть достигнуто следующими путями:

- снижением величины факторов, нарушающих надежность функционирования систем;
- разработкой систем, надежно функционирующих в условиях воздействия этих факторов.

Эти пути не противоречат друг другу и могут быть использованы как самостоятельно, так и совместно.

Более предпочтительным представляется второй путь, позволяющий на основе имитационного моделирования возведения строительных объектов проектировать организационно-технологические решения с заданным уровнем ОТН [11-13].

Имитационное моделирование, как и любое математическое моделирование, включает построение модели для поставленной задачи и проведение с ее помощью исследовательских и проектных разработок для реальной производственной системы.

В качестве критерия функционирования систем строительного производства может быть принята величина затрат ресурсов (типа мощностей) при нормативном (заданном) сроке строительства.

Построение математической модели сопряжено с необходимостью характеризовать объект строительства и средства его возведения некоторым множеством специальных понятий, обеспечивающих достаточную при проектировании организации строительства полноту и точность его описания (таких, как виды и объемы работ, интенсивность и пространственные параметры технологических процессов и т. д.). При выборе этих понятий и составлении модели необходимо обеспечить ее универсальность или блочный принцип, что позволит без коренной ее перестройки описывать возведение различных типов объектов и решать широкий круг организационно-технологических задач.

Для анализа строительных систем, обладающих большим числом элементов (машин, материалов, людей и т. д.) со сложным взаимодействием случайных факторов, целесообразно использовать метод статистических испытаний.

Использование метода статистических испытаний применительно к проектированию возведения строительных объектов и комплексов мо-

жет быть проведено на основе календарного плана, который является главным документом ПОС и ППР и может иметь различную форму (линейный график, циклограмма, сетевой график, сетевая циклограмма, векторная диаграмма и др.).

Календарный план строится с учетом требований и ограничений организации, технологии и экономики строительного производства, устанавливающих четкую последовательность выполнения работ на пространственных участках объекта. При этом далеко не полностью учитываются варианты осуществления работ, их взаимосвязи в процессе возведения объектов, не определяется порядок перераспределения ресурсов между участками и работами и другие особенности организации производства. Следовательно, существует значительное количество неучтенных и неоцененных степеней свободы в структуре строительного процесса, отражаемого в календарном плане с помощью детерминированных параметров.

Основными элементами системы возведения объекта являются:

- объект строительства;
- средства возведения объекта;
- набор управляющих правил, обеспечивающих целенаправленное взаимодействие объекта со средствами его возведения.

В имитационной модели каждый элемент рассматриваемой системы представляется совокупностью своих основных характеристик.

Характеристики объекта строительства:

$$n, m, V = \{v_{ij}\}; G^i = \{G_{j_1, j_2}^i\}, \quad (4.1)$$

где  $n$  – число участков;

$m$  – число работ;

$V$  – матрица объемов работ на участках;

$v_{ij}$  – объем  $j$ -й работы на  $i$ -м участке (элементы матрицы  $V$ );

$G^i$  – технологическая последовательность выполнения работ на  $i$ -м участке, выраженная графом и представленная в матричной форме;

$G_{j_1, j_2}^i$  – элемент технологической матрицы.

Характеристики средств возведения объекта:

$$r = \{r_1, r_2, \dots, r_j, \dots, r_m\}; D = \{d_{ij}\}; L = \{l_1, l_2, \dots, l_j, \dots, l_m\}, \quad (4.2)$$

где  $r$  – матрица – вектор наличного количества ресурсов типа мощностей (бригад с машинами) каждого типа на объекте;



$r_j$  – наличное число ресурсов  $j$ -го типа (элемент матрицы – вектора  $r$ );

$D$  – матрица максимального технологически допустимого количества ресурсов каждого типа на участках;  $d_{ij}$  – максимальное технологически допустимое число ресурсов  $j$ -го типа на  $i$ -м участке при условии их одновременной производительной работы (элемент матрицы  $D$ );

$L$  – матрица – вектор интенсивностей работы одной бригады каждого типа за смену;

$l_j$  – интенсивность работы (выработка) одного ресурса  $j$ -го типа за смену (элемент матрицы  $L$ ).

Набор управляющих правил

$$\Pi = \{\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4\}, \quad (4.3)$$

позволяющих в процессе статистических испытаний модели рассмотреть все возможные варианты организации возведения объекта и производства работ, приведены в работах [12, 13].

Каждое из управляющих правил представляется в имитационной модели соответствующим алгоритмом и программами.

Случайными величинами в рассматриваемой модели являются продолжительности отдельных работ комплекса. При этом характер функции распределения времени выполнения каждой из работ считается известным. Считается также, что для полного вероятностного описания указанных случайных величин достаточно знание двух величин: математического ожидания и дисперсии.

## **4.2. Аналитические методы расчета показателей организационно-технологической надежности строительства**

### **4.2.1. Общие положения**

В настоящее время существуют так называемые аналитические методы учета ОТН при проектировании поточной организации строительства [4, 6]. Такой подход позволяет существенно упростить методику решения задачи. Однако применение аналитического метода для расчета и повышения надежности строительного потока допустимо лишь в простейших случаях.

Сущность аналитического метода заключается в следующем. На основании собранных статистических данных устанавливаются средние значения (математическое ожидание и дисперсия) времени безотказной работы и продолжительности отказов частных и специализированных

потоков либо интенсивностей выполнения технологических процессов по видам работ (земляные, бетонные, монтажные работы и т. д.). Эти данные позволяют рассчитать коэффициент готовности системы при выполнении соответствующих видов работ.

При использовании данных о продолжительности отказов и безотказной работы элементов системы коэффициент готовности  $K_{\Gamma}$  можно определить по формуле (1.3). Если используются статистические данные, позволяющие получить математическое ожидание интенсивностей потоков (сменной или суточной производительности машин, звеньев, бригад), то формула определения  $K_{\Gamma}$  имеет вид:

$$K_{\Gamma} = \frac{m_x}{V_{пл}}, \quad (4.4)$$

где  $m_x$  – математическое ожидание интенсивности выполнения технологического процесса;

$V_{пл}$  – плановая (нормативная) интенсивность выполнения этого процесса.

С помощью величин коэффициентов готовности системы при составлении планов работ корректируют продолжительности отдельных процессов:

$$T_{пл} = \frac{T_n}{K_{\Gamma}}, \quad (4.5)$$

где  $T_{пл}$  – планируемая продолжительность выполнения работы с учетом ОТН производственной системы;

$T_n$  – продолжительность этой работы, рассчитанная на основе детерминированной нормативной базы.

Рассмотренный метод повышения надежности организационно-технологических решений базируется на так называемом принципе избыточности или резервирования систем. Оптимальное резервирование элементов и систем является важнейшим разделом теории надежности. В рамках этого раздела рассматриваются различные виды резервирования (избыточности):

– *структурная избыточность* направлена на повышение надежности системы за счет замены вышедшего из строя элемента равнозначным запасным («холодное», ненагруженное резервирование) или за счет неполной загрузки работающих элементов («теплое», частично нагруженное резервирование);

- *функциональная избыточность* проявляется в случае, когда существует, по крайней мере, два регулирующих механизма, способных держать надежность системы на требуемом уровне;
- *информационная избыточность* направлена на обеспечение полной и достоверной информации о функционировании системы;
- *игровая или тактическая избыточность*, принимающая вид перестроек структуры системы в зависимости от сложившейся ситуации;
- *временная избыточность* обеспечивает дополнительное время на принятие рационального (надежного) решения или резерв времени, необходимый для восстановления системы в случае сбоя.

Рассмотренный выше метод повышения ОТН систем на основе определения и использования коэффициента готовности можно отнести к методу использования временной избыточности.

#### **4.2.2. Пример расчета статистических показателей организационно-технологической надежности**

Для получения тех или иных статистических показателей, прежде всего, необходим сбор определенных статистических данных (статистических наблюдений). В результате непосредственных наблюдений, измерений или регистрации фактов получается так называемая статистическая совокупность данных, нуждающихся в обработке.

Первичная обработка исходного статистического материала включает систематизацию и классификацию данных, расчет параметров, характеризующих статистическую совокупность, а так же составление таблиц, графиков и других материалов, иллюстрирующих процесс [4].

В экономических исследованиях чаще всего обработка данных производится для нахождения законов распределения случайной величины. Для иллюстрации обозначим случайную величину на  $X$ . При функционировании производственной системы или ее элемента в течение некоторого времени  $t$  случайная величина  $X$  может принять  $n$  определенных значений. Совокупность этих случайных значений случайной величины в математической статистике называется статистической выборкой объема  $n$ .

Если расположить отдельные значения случайной величины  $X$  в возрастающем или убывающем порядке и указать относительно каждого значения, как часто оно встречалось в данной совокупности, то получится эмпирическое распределение случайной величины, или вариационный ряд. Построение вариационного ряда позволяет определить аналитическую форму неизвестной плотности вероятности  $f(x)$ , функцию распределения  $F(x)$  и оценить входящие в нее параметры.

Применение методики первичной статистической обработки исходных данных приведено на примере анализа производительности буль-

дозеров ОАО «Строймеханизация» за 2001-2004 гг.

Как показали наблюдения, значения производительности бульдозеров  $X$  за указанный период  $t$  находились в пределах от 20 до 140 % по сравнению с нормами, устанавливаемыми по ЕНиР2-1-86. Следовательно, размах вариации:

$$R = X_{\max} - X_{\min} = 140 - 20.$$

Выборочная совокупность составила  $n = 220$  наблюдений (табл. 4.1).

Весь диапазон значений величины  $X$  должен быть разбит на интервалы. Величина интервала вариационного ряда определяется с использованием принципа округления по формуле Стерджесса:

$$\Delta X = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{1 + 3,21 \cdot \lg n} = \frac{140 - 20}{1 + 3,21 \cdot \lg 220} = 15.$$

Количество интервалов вариационного ряда равно:

$$K = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{\Delta X} = \frac{140 - 20}{15} = 8$$

Подсчитывается количество значений случайной величины, приходящееся на каждый интервал: абсолютное –  $m_i$  (частота) и относительное –  $p_i^*$  (частость)  $p_i^* = \frac{m_i}{n}$ .

Если случайная величина  $X$  принимает значение, попадающее на границу  $i$ -го и  $(i+1)$ -го интервалов, то это значение учитывается в числе попаданий в  $(i+1)$ -й интервал.

Определив, таким образом, частоты попадания случайной величины  $X$  в каждый интервал, получим вариационный (статистический) ряд, который представляют в виде таблицы (табл.4.1).

Таблица 4.1

Вариационный ряд сменной производительности бульдозеров

Интервалы производительности, %	20-35	35-50	50-65	65-80	80-95	95-110	110-125	125-140
Количество значений в интервале $m_i$	4	8	36	34	50	42	32	14
Частость $p_i^*$	0,02	0,04	0,16	0,15	0,23	0,19	0,15	0,06

Вариационные ряды могут быть изображены графически в виде полигона распределения и гистограммы. Полигон распределения чаще всего применяется для изображения дискретных вариационных рядов, гисто-

грамма распределения – для изображения интервальных рядов. Она представляет собой многоугольник, построенный с помощью смежных прямоугольников с основанием, равным длине интервала (рис. 4.1).

Для построения гистограммы распределения определяются ее ординаты из выражения

$$a_i = \frac{m_i}{n\Delta x} = \frac{p_i^*}{\Delta x}. \quad (4.6)$$

Вычисления:

- 1)  $0,02/15=0,001$ ;
- 2)  $0,04/15=0,003$ ;
- 3)  $0,16/15=0,11$ ;
- 4)  $0,15/15=0,010$ ;
- 5)  $0,23/15=0,015$ ;
- 6)  $0,19/15=0,0127$ ;
- 7)  $0,15/15=0,010$ ;
- 8)  $0,06/15=0,004$ .

Основываясь на данных табл. 4.1 и проведенных вычислениях, строят гистограмму распределения сменной производительности бульдозеров (рис. 4.1).

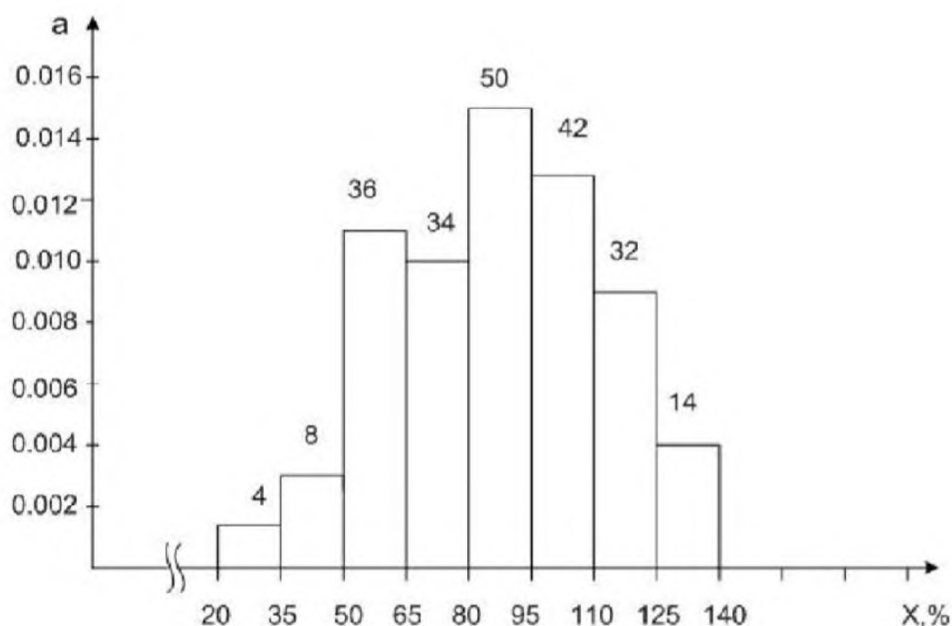


Рис. 4.1. Гистограмма производительности бульдозеров (%)

По форме гистограммы можно предположить, что сменная производительность бульдозеров подчиняется нормальному закону распределения.

Для оценки числовых характеристик нормального распределения вычисляются:

математическое ожидание

$$m_x = \sum_{i=1}^k \bar{x}_i p_i = 27,5 \cdot 0,02 + 42,5 \cdot 0,04 + 57,5 \cdot 0,16 + 72,5 \cdot 0,15 + 87,5 \cdot 0,23 + \\ + 102,5 \cdot 0,19 + 117,5 \cdot 0,15 + 132,5 \cdot 0,06 = 87,52;$$

дисперсия:

$$D_x = \sum_{i=1}^k (m_i - \bar{x}_i)^2 p_i^* = (87,52 - 27,5)^2 0,02 + (87,52 - 42,5)^2 0,04 + \\ + (87,52 - 57,5)^2 0,16 + (87,52 - 72,5)^2 0,15 + (87,52 - 87,5)^2 0,23 + \\ + (87,52 - 102,5)^2 0,19 + (87,52 - 117,5)^2 0,15 + (87,52 - 132,5)^2 0,06 = 630,$$

где  $\bar{x}_i$  – значение середины  $i$ -го интервала.

Среднеквадратическое отклонение:  $\sigma_x = \sqrt{D_x} = \sqrt{630} = 25,1$ .

Коэффициент вариации:  $V_x = \frac{\sigma_x}{m_x} = 25,1/87,52 \approx 0,3$ .

Величина  $V_x \approx 0,3$  свидетельствует о том, что теоретическое распределение близко к нормальному закону. Чтобы проверить эту гипотезу, следует воспользоваться одним из критериев проверки статистических гипотез [4].

В данном примере используем критерий согласия Пирсона  $\chi^2$  (хи-квадрат), который основан на статистике:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - m_i^T)^2}{m_i^T}, \quad (4.7)$$

где  $m_i$  – частота (число наблюдений)  $i$ -го интервала;

$m_i^T$  – теоретическая частота интервала. Теоретическая частота определяется по формуле

$$m_i^T = n \cdot p_i, \quad (4.8)$$

где  $p_i$  – вероятность попадания случайной величины  $x$  в  $i$ -й интервал.

Эта вероятность исчисляется по уравнению:

$$p_i = F(x_{i+1}) - F(x_i) = \Phi(t_{2i}) - \Phi(t_{1i}), \quad (4.9)$$

где  $t_{1i} = \frac{x_i - m_x}{\sigma_x}$ ;  $t_{2i} = \frac{x_{i+1} - m_x}{\sigma_x}$  – приведенные («нормированные») отклонения.

Значения  $\Phi(t)$  табулированы; расчетные таблицы приводятся в пособиях по математической статистике и Приложении 1. В табл. 4.2 показан расчет теоретических частот распределения и вычисление критерия  $\chi^2$ .

Таблица 4.2

Выравнивание 220 значений сменной производительности бульдозеров, %, по кривой нормального распределения

Интервал	$m_i$	$t_{1i}$	$t_{2i}$	$\frac{1}{2}\Phi(t_{1i})$	$\frac{1}{2}\Phi(t_{2i})$	$p_i$	$m_i^T$	$\frac{(m_i - m_i^T)^2}{m_i^T}$
-35	4	-2,96	-2,09	0,0015	0,0183	0,017	3,7	0.02
35-50	8	-2,09	-1,49	0,0183	0,0681	0,050	11,0	1.09
50-65	36	-1,49	-0,89	0,0681	0,1867	0,118	26,1	2.73
65-80	34	-0,89	-0,3	0,1867	0,3821	0,196	43,0	2.38
80-95	50	-0,3	0,3	0,3821	0,6179	0,236	51,9	0.07
95-110	42	0,3	0,89	0,6179	0,8133	0,196	43,0	0.02
110-125	32	0,89	1,49	0,8133	0,9319	0,118	26,1	1.09
125-140	14	1,49	2,09	0,9319	0,9817	0,05	11,0	0.66
	<b>220</b>							<b>8,06</b>

Критическое значение  $\chi_{кр}^2$  для числа степеней свободы  $\nu = 8 - 3 = 5$  и уровня значимости  $\alpha = 0,05$  составит  $\chi_{кр}^2(5; 0,05 = 5\%) = 11,1$  (Прил. 3).

Так как наблюдаемое значение меньше табличного  $\chi_{набл}^2 = 8,06 < 11,1$ , согласно критерию Пирсона гипотеза о нормальном законе распределения не противоречит данным наблюдений. При вычислении критерия  $\chi_{набл}^2$  должно выполняться условие, чтобы число наблюдений в интервалах было не менее пяти ( $m_1 > 5$ ). Так как для первого интервала это условие не выполняется ( $m_1 = 4$ ), он был объединен со вторым интервалом.

На рис. 4.2 приведен график теоретического распределения производительности бульдозеров, %, совмещенный с гистограммой распределения статистической выборки.

Полученные статистические характеристики ( $m_x = 87.52$  ;  $\sigma_x = 25.1$ ) позволяют дать оценку уровня надежности, рассматриваемого процесса (производство бульдозерных работ в ОАО «Строймеханизация»):

1) коэффициент готовности процесса:  $K_T \frac{m_x}{x_{пл}} = \frac{87,52}{100} \approx 0,88;$

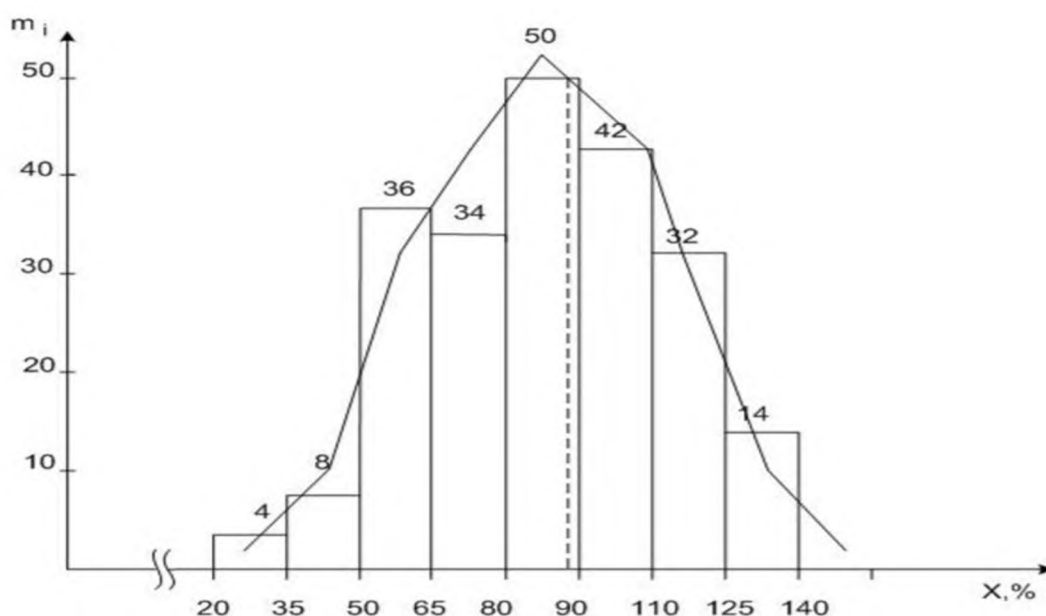
2) вероятность выполнения бульдозером норм выработки составляет:

$$p(x > 100) = \Phi(100/m_x) = \Phi(1,143).$$

Значение функции нормального распределения  $\Phi(t)$  с аргументом  $t = 1,143$   $\Phi(1,143) = 0,873$  (Прил. 1).

Значение  $m_x = 87.52$  – средний процент паспортной производительности бульдозера, по отношению к паспортной – 100 %.

3) значения статистических показателей надежности свидетельствуют о недостаточном уровне организационно-технологической надежности рассматриваемого процесса, что требует разработки и реализации специальных мер по его повышению.



$$m_x = 87,52$$

Рис. 4.2. Кривая нормального распределения сменной производительности бульдозеров, %



### **4.3. Разработка организационно-технических мероприятий по повышению уровня надежности производства**

#### **4.3.1. Анализ факторов, влияющих на уровень организационно-технологической надежности строительного производства**

Воздействие случайных факторов на процессы функционирования строительных производственных систем вызывает отклонения экономических, пространственных, временных и других характеристик от их проектных значений, т. е. ведет к снижению уровня ОТН. В связи с этим в теории и практике контроля надежности уделяется большое внимание анализу факторов, влияющих на надежность систем и их элементов.

Комплекс задач по выявлению, анализу и учету случайных факторов состоит:

- из установления совокупности наиболее существенных факторов случайного характера, влияющих на данный производственный процесс;
- выбора метода статического анализа каждого из факторов;
- получения статических характеристик факторов;
- учета факторов при разработке математических моделей производственного процесса;
- разработки организационно-технических мероприятий по устранению (снижению) воздействия факторов на производственные процессы.

Классификация и наименования наиболее распространенных дестабилизирующих факторов в строительстве приведены в литературе по организационно-технологической надежности строительства [2; 4; 6; 9; 10; 16]. В табл. 4.3 приведена классификация 25 основных факторов, влияющих на возникновение отказов строительных систем.

Рассматривая основные факторы появления случайных отказов и сбоев в строительных системах, можно выделить ряд наиболее часто повторяющихся групп причин, характерных для определенных производственных условий, определенных строительных организаций, производственных участков. С учетом этого анализ причин отказов в конкретной строительной организации является основой для разработки специальных организационно-технических мероприятий по их устранению или уменьшению их влияния на организационно-технологическую надежность системы.

Так, анализ наблюдений за ходом производства работ по сооружению нижнего строения железнодорожного пути [10] выявил основные причины сбоев в этой производственной системе (табл. 4.4).

Таблица 4.3

**Классификация факторов, дестабилизирующих строительное производство**

Группа	Фактор
Технические	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отсутствие необходимых машин и механизмов</li> <li>2. Отсутствие транспортных средств</li> <li>3. Поломки машин, механизмов, транспортных средств</li> <li>4. Выход из строя подъездных путей к объектам</li> <li>5. Изменения организационно-технологических решений (ПОС, ППР) в ходе работ</li> <li>6. Низкое качество материалов, деталей, изделий, инструмента и т. д.</li> </ol>
Технологические	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Изменение запланированной последовательности работ</li> <li>2. Выполнение непредвиденных работ</li> <li>3. Переделка ранее выполненных работ, устранение брака</li> <li>4. Простои в ходе работ по условиям охраны труда и техники безопасности</li> </ol>
Организационные	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отсутствие проектно-сметной, организационно-технологической и т. п. документации</li> <li>2. Отсутствие материалов, срыв поставок ресурсов</li> <li>3. Отсутствие рабочих нужной квалификации</li> <li>4. Отсутствие связи, электроэнергии. Топлива и т. д.</li> <li>5. Срыв согласованных сроков работ (отсутствие готового фронта работ)</li> <li>6. Нарушение договорных условий контрагентами (финансирующие, субподрядные и др. организации)</li> </ol>
Погодные	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Дожди, ливни, снегопады и т. п.</li> <li>2. Температура наружного воздуха ниже требуемой для выполнения работ</li> <li>3. Другие причины</li> </ol>
Социальные	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Срыв заданий при полном материально-техническом обеспечении</li> <li>2. Нарушение трудовой и производственной дисциплины</li> <li>3. Низкая квалификация персонала</li> <li>4. Умышленная порча, хищения предметов собственности</li> <li>5. Нарушения правил техники безопасности, охраны труда, экологических требований</li> <li>6. Забастовки, стачки, протесты и т. п.</li> </ol>

Таблица 4.4

**Характеристика основных причин отказов при возведении железнодорожного земляного полотна**

Причины сбоя	Удельный вес, %	
	Земляные работы	Строительство ИССО
Отсутствие необходимых машин и механизмов	13,4	3,2
Отсутствие транспортных средств	3,3	12,6

## Окончание табл. 4.4

Причины сбоев	Удельный вес, %	
	Земляные работы	Строительство ИССО
Поломки машин, механизмов, транспортных средств	21	8,4
Изменения ПОС и ППР в ходе работ	1,2	4,2
Выполнение непредвиденных работ	3,2	19,4
Переделки работ, устранение брака	3,8	4,7
Отсутствие проектно-сметной документации	5,4	1,2
Отсутствие рабочих нужной квалификации	9,8	3,1
Отсутствие связи, электроэнергии, топливно-смазочных материалов	6,6	7,4
Срыв согласованных сроков работ	5,6	5,0
Нарушение договоров субподрядными организациями	2,2	4,2
Неблагоприятные погодные условия	8,2	5,1
Нарушения производственной и трудовой дисциплины	3,3	3,5
Другие причины	13	18
Итого	100	100

При планировании организационно-технических мероприятий для повышения ОТН строительства учитываются так называемые внутренние резервы, а также специальные меры резервирования (табл. 4.5)

Таблица 4.5

## Виды резервов повышения ОТН строительства

Внутренние резервы	Специальные меры резервирования
<p><i>1. Сокращение непроизводительных потерь времени</i></p> <p>1.1. Рациональное размещение производственной базы</p> <p>1.2. Оптимизация транспортных схем и перевозок</p> <p>1.3. Совершенствование системы проведения планово-предупредительных ремонтов и технического обслуживания машин</p> <p>1.4. Повышение трудовой дисциплины, сокращение текучести кадров</p>	<p><i>1. Ресурсы типа мощности</i></p> <p>1.1. Резерв машин, используемый при внезапных отказах плановых машин (ненагруженный резерв)</p> <p>1.2. Использование резервных машин на работах вне потока, других объектах и т. д. (частично нагруженный резерв)</p> <p>1.3. Включение в работу машин, временно неиспользуемых на других объектах и видах работ из-за организационно-технологических ограничений</p>
<p><i>1. Создание условий для повышения производительности труда</i></p> <p>2.1. Повышение квалификации работников</p> <p>2.2. Совмещение профессий</p> <p>2.3. Технически обоснованное нормирование труда</p>	<p><i>2. Складируемые материальные ресурсы</i></p> <p>2.1. Оптимизация запасов материалов на приобъектных складах</p> <p>2.2. Оптимизация запасов продукции подсобного производства</p>

Внутренние резервы	Специальные меры резервирования
<p><i>3. Повышение общего уровня организации работ</i></p> <p>3.1. Автоматизация управления строительством</p> <p>3.2. Оптимизация выработки и принятия организационно-технологических решений</p> <p>3.3. Совершенствование технологии производства работ</p> <p>3.4. Использование достижений науки в производстве</p>	<p><i>3. Пространственно-временные резервы</i></p> <p>3.1. Резервный фронт работ</p> <p>3.2. Дополнительные организационно-технологические мероприятия по продлению строительного сезона</p>

#### **4.4. Методика оценки надежности систем управления производством**

##### ***4.4.1. Понятие надежности систем управления производством***

С позиций теории надежности любые системы, в том числе системы управления производством, относительно их соответствия поставленным целям, могут считаться как надежные и ненадежные.

Основной целью функционирования системы управления производством является выработка и принятие удовлетворительных управленческих решений в течение всего периода функционирования. Таким образом, надежность системы управления производством – это способность принимать удовлетворительные управленческие решения, обеспечивающие выполнение основных функций системы в течение всего времени функционирования.

Из определения надежности системы управления производством следует вывод, что данная система может находиться в одном из двух состояний: в состоянии безотказной работы (если ею принимаются удовлетворительные управленческие решения) или в состоянии отказа (когда принятые решения не удовлетворяют заданным требованиям).

Аналізу причин недостаточной эффективности систем управления, не оптимальности управленческих решений уделяется внимание в большинстве работ по проблемам ОТС [4, 6, 9, 11]. Это причины можно сгруппировать следующим образом.

1. Недостатки организации труда в аппарате управления, выражающиеся в значительных внутрисменных потерях рабочего времени.

2. Недостатки подбора кадров, в результате чего отдельные работники управления не полностью соответствуют занимаемым должностям.

3. Недостатки информационного обеспечения управления вследствие чего работники часто не имеют возможности принять оптимальное решение или принимают решения несвоевременно.

4. Недостаточное применение для анализа информации и разработки альтернатив решения современных методов и технических средств.

5. Недостатки в обеспечении систем управления средствами связи, что ведет к несвоевременной передаче и доведению до исполнителей принятых управленческих решений.

6. Недостатки внутренней структуры аппарата управления, что ведет к неэффективному взаимодействию работников и снижению качества принимаемых решений.

Как видно из анализа причин, влияющих на реализацию основных функций управления, надежность системы управления зависит от надежности ее первичных элементов (исполнителей-работников аппарата управления), а также от оснащения исполнителей необходимыми техническими средствами, и эффективности структуры управления (качества структурных связей между исполнителями).

#### ***4.4.2. Оценка надежности исполнителей в системе управления***

Под надежностью исполнителя следует понимать комплекс свойств, обеспечивающих способность его удовлетворительно выполнять свои функции в течение требуемого времени при заданных условиях труда. По аналогии с основными понятиями теории надежности можно считать, что исполнитель находится в состоянии безотказной работы, если он удовлетворительно выполняет свои функции (по выработке и принятию допустимых решений), и в состоянии отказа - в противном случае.

Как отмечалось выше, оценку оптимальности принимаемых решений можно получить косвенно, путем количественного измерения некоторых факторов, влияющих на выработку и принятие управленческих решений. Исходя из рассмотренной выше группировки причин ненадежности систем управления, к ним можно отнести [15, 16]:

1) наличие самого исполнителя;

2) способность исполнителя качественно выполнять возложенные на него функции;

3) наличие у исполнителя необходимой (полной, достоверной, своевременной) информации для выполнения своих функций;

4) применение исполнителем методов и технических средств выполнения своих функций, обеспечивающих принятие решений в требуемые

сроки (скорость работы исполнителя);

5) использование методов и технических средств передачи решений (информации), обеспечивающих требуемую оперативность управления.

С учетом изложенного надежность исполнителя предлагается определять с помощью количественных показателей (коэффициентов), характеризующих степень соответствия фактического уровня требуемого по всей группе перечисленных факторов:

– коэффициента использования исполнителя (специалиста) по времени

$$\mu_{ис} = \frac{F_{\phi}}{F_{д}}, \quad (4.10)$$

где  $F_{\phi}$  – действительный фонд рабочего времени за плановый период (смену, месяц, год), ч;

$F_{д}$  – фактическое время присутствия исполнителя на рабочем месте, ч;

– коэффициента способности (соответствия) исполнителя к занимаемой должности

$$\mu_{сп} = 1 - \frac{B_{\phi}}{B_{н}}, \quad (4.11)$$

где  $B_{н}$  – нормативное количество баллов, характеризующее идеального исполнителя;  $B_{\phi}$  – фактическое количество баллов, полученных при оценке специалиста в ходе аттестации либо иным способом;

– коэффициента обеспеченности исполнителя информацией, необходимой для принятия оптимального решения:

$$\mu_{и} = 1 - \frac{И_{\phi}}{И_{тп}}, \quad (4.12)$$

где  $И_{тп}$  – требуемое (нормативное) время для поступления полной и достоверной информации;  $И_{\phi}$  – фактические затраты времени для поступления полной и достоверной информации;

– коэффициента, характеризующего быстроту принятия или подготовки решения:

$$\mu_{бр} = 1 - \frac{T_{\phi}}{T_{тп}}, \quad (4.13)$$

где  $T_{TP}$  – требуемое (нормативное) время принятия решения;  
 $T_{\phi}$  – фактическое время принятия решения специалистом;  
– коэффициента, характеризующего быстроту передачи принятого решения по инстанциям,

$$\mu_{IP} = 1 - \frac{\tau_{\phi}}{\tau_{TP}}, \quad (4.14)$$

где  $\tau_{TP}$  – требуемое (нормативное для данного предприятия) время передачи информации;

$\tau_{\phi}$  – то же фактическое время.

Таким образом, надежность исполнителя (вероятность безотказной работы) можно подсчитать по формуле

$$p(t) = e^{-k \frac{\sum \mu}{t}}, \quad (4.15)$$

где  $e$  – основание натурального логарифма ( $e=2,71828$ );

$k$  – константа, характеризующая сложность решаемой задачи;

$t$  – время от получения задания на разработку решения конкретной задачи до принятия этого решения.

Надежность исполнителей характеризуется показателями (табл. 4.6) по данным В. С. Кулибанова [15] и Б. В. Прыкина [16].

Таблица 4.6

Средние значения коэффициентов надежности работников управления строительных организаций

Условия управления	Значения коэффициентов				
	$\mu_{ис}$	$\mu_{сп}$	$\mu_{и}$	$\mu_{бр}$	$\mu_{ip}$
При малой механизации управленческого труда	0,1-0,12	0,2-0,24	0,25-0,35	0,2-0,22	0,18-0,2
При автоматизации (компьютеризации) управления	0,1-0,12	0,15-0,2	0,05-0,08	0,05-0,1	0,05-0,1

**4.4.3. Надежность структурных подразделений системы управления**

Качество выполнения исполнителем своих функций непосредственно влияет на надежность подразделения, в котором работает исполнитель. Кроме того, надежность подразделения зависит от его внутренней структуры, т. е. от структурных связей между исполнителями.

При управлении производством выделяют пять схем взаимосвязи исполнителей в подразделении (отделе, группе, бюро и т. д.):

1) Задача подготавливается и решается исполнителями  $I_1$  и  $I_2$  с руководителем  $P$  последовательно. Тогда вероятность безотказной работы звена будет равна произведению вероятности безотказной работы исполнителей и руководителя:

$$P_{3e} = P_{u1}P_{u2}P_p \quad (4.16)$$

2) Задача подготавливается и решается в подразделении на основе независимой друг от друга работы исполнителей:

$$P_{3e} = \min\{P_{u1}P_p; P_{u2}P_p\} \quad (4.17)$$

Задача подготавливается и решается на основе параллельных частных решений двух пар исполнителей:  $I_1, I_2$  и  $I_3, I_4$  (исполнители каждой пары работают параллельно и являются взаимозаменяемыми):

$$P_{3e} = \min\{P_{u1,2}P_p; P_{u3,4}P_p\} \quad (4.18)$$

где  $P_{u1,2} = P_{u1} + P_{u2} - P_{u1}P_{u2}$ ;  $P_{u3,4} = P_{u3} + P_{u4} - P_{u3}P_{u4}$ ;

3) Задача подготавливается и решается на основе независимой параллельной работы исполнителей (параллельное резервирование):

$$P_{3e} = [1 - (1 - P_{u1})(1 - P_{u2})(1 - P_{u3})(1 - P_{u4})]P_p \quad (4.19)$$

4) Задача подготавливается и решается всеми работниками, включая руководителя, независимо друг от друга (все работники взаимозаменяемы):

$$P_{3e} = 1 - (1 - P_{u1})(1 - P_{u2})(1 - P_{u3})(1 - P_{u4})(1 - P_p) \quad (4.20)$$

#### **4.4.4. Пример оценки надежности группы исполнителей (отдела строительной организации)**

Оценить надежность системы принятия решений функциональным отделом строительной организации, состоящим из руководителя и четырех исполнителей.



## Оценка надежности отдельного работника отдела

На основе данных табл. 4.6 определена надежность каждого работника при значениях показателя сложности работы  $k = 1$  и времени работы  $t = 1$  ч (табл. 4.7).

Таблица 4.7

Надежность работников отдела

Шифр работника	Коэффициент надежности					$\sum \mu_i$	$P_i(t)$
	$\mu_{ис}$	$\mu_{сп}$	$\mu_{и}$	$\mu_{бр}$	$\mu_{пр}$		
И <sub>1</sub>	0.11	0.051	0.051	0.050	0.051	0.413	0.661
И <sub>2</sub>	0.12	0.052	0.052	0.051	0.052	0.427	0.652
И <sub>3</sub>	0.13	0.053	0.053	0.052	0.053	0.441	0.643
И <sub>4</sub>	0.14	0.054	0.054	0.053	0.054	0.455	0.634
P	0.15	0.055	0.055	0.054	0.055	0.469	0.625

### Надежность системы выработки и принятия решений отделом

Надежность структурного подразделения системы управления, как показано выше, зависит как от индивидуальной надежности всех работников структурного подразделения, так и от характера связей между ними. В теории ОТН рассматривается пять вариантов взаимодействия работников структурного подразделения при выработке и принятии организационных и управленческих решений. Соответственно используется пять способов расчета надежности структурного подразделения системы управления [формулы (4.16) – (4.20)].

Определяется надежность отдела для каждого из пяти вариантов взаимодействия между собой работников отдела при принятии решений:

1) Последовательная работа всех исполнителей и руководителей отдела:

$$p_0 = 0,661 \cdot 0,652 \cdot 0,643 \cdot 0,634 \cdot 0,625 = 0,11;$$

2) Независимая работа исполнителей. Каждый исполнитель взаимодействует только с руководителем:

$$p_0 = \min \{0,625 \cdot 0,661; 0,625 \cdot 0,652; 0,625 \cdot 0,643; 0,625 \cdot 0,634\} = \\ = \{0,413; 0,408; 0,402; 0,4\} = 0,4;$$

3) Независимая работа двух групп исполнителей:

$$p_{u1,2} = 0,661 + 0,652 - 0,661 \cdot 0,652 = 0,882; \\ p_{u3,4} = 0,643 + 0,634 - 0,643 \cdot 0,634 = 0,869; \\ p_0 = \min \{0,882 \cdot 0,625; 0,869 \cdot 0,625\} = \{0,551; 0,543\} = 0,543;$$

4) Независимая параллельная работа всех исполнителей

$$p_0 = [1 - (1 - 0,661)(1 - 0,652)(1 - 0,643)(1 - 0,634)] \cdot 0,625 = 0,61;$$

5) Параллельная работа всех работников, включая руководителя, на взаимозаменяемой основе

$$p_0 = 1 - (1 - 0,661)(1 - 0,652)(1 - 0,643)(1 - 0,634)(1 - 0,625) = 0,994.$$

Результаты вычислений представлены в табл. 4.8.

Таблица 4.8

Сравнение вариантов организации управления по критерию ОТН

Схема организации принятия решений	Уровень надежности	Снижение уровня надежности	Снижение надежности (относительное), %
Решение задач руководителем и всеми исполнителями на основе взаимозаменяемости	0,994	0	-
Решение задач на основе взаимозаменяемости исполнителей	0,610	0,384	40
Решение задач на основе параллельной работы двух и более подгрупп исполнителей	0,543	0,451	45
Решение задач на основе независимой работы исполнителей	0,400	0,594	60
Решение задач на основе последовательной работы исполнителей и руководителя	0,110	0,884	90

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Организационно технологическая надежность строительства: метод. пособие по проведению практических занятий / Г. Л. Шалягина и И. В. Потапова. – Хабаровск, ДавГУПС, 2006 – 52 с.
2. Экономико-математические методы и модели в железнодорожном строительстве / Г. Н. Жинкин [и др.]. – М.: Транспорт, 1979. – 256 с.
3. ГОСТ 13377-75. Надежность в технике. Термины. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 280 с.
4. Седых, Ю. И. Организационно-технологическая надежность жилищно-гражданского строительства / Ю. И. Седых, В. М. Лазебник. – М.: Стройиздат, 1989. – 396 с.
5. Смирнов, В. А. Системное моделирование надежности плановых решений / В. А. Смирнов, В. Г. Соколов. – Новосибирск: Наука, 1984. – 224 с.
6. Томарев, Б. М. Надежность строительного потока / Б. М. Томаев. – М.: Стройиздат, 1983. – 128 с.
7. Ахьюджа, Х. Сетевые методы управления в проектировании и производстве / Х. Ахьюджа. – М.: Мир, 1979. – 639 с.
8. Золотарь, И. А. Экономико-математические методы в дорожном строительстве / И. А. Золотарь. – М.: Транспорт, 1974. – 246 с.
9. Шкляр, А. Ф. Надежность систем управления в строительстве. – Л.: Стройиздат, 1974. – 96 с.
10. Организация и планирование железнодорожного строительства: учеб. для вузов / Г. Н. Жинкин [и др.]. – М.: Желдориздат, 1999. – 700 с.
11. Гусаков, А. А. Организационно-технологическая надежность строительства / А. А. Гусаков, А. В. Гинзбург. – М.: SvR-Аргус, 1994. – 472 с.
12. Гусаков, А. А. Организационно-технологическая надежность строительного производства (в условиях автоматизированных систем проектирования) / А. А. Гусаков. – М.: Стройиздат, 1974. – 252 с.
13. Гусаков, А. А. Системотехника строительства / А. А. Гусаков. – М.: Стройиздат, 1993. – 368 с.
14. Острейковский, В. А. Теория надежности / В. А. Острейковский. – М.: Высшая школа, 2003. – 457 с.
15. Кулибанов, В. С. Эффективность и надежность управления в строительных организациях / В. С. Кулибанов. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. – 76 с.
16. Прыкин, Б. В. Основы управления. Производственно-строительные системы: учеб. для вузов / Б. В. Прыкин, В. Г. Иш, Б. Ф. Ширшиков. – М.: Стройиздат, 1991. – 336 с.
17. Моделирование и применение вычислительной техники в строительном производстве: справ. пособие / А. А. Гусаков [и др.]; под ред. А. А. Гусакова. – М.: Стройиздат, 1979. – 384 с.

18. Кирпичников К. А. Проектирование организации строительства новой железнодорожной линии: учеб. пособие по дисциплине «Организация, планирование и управление железнодорожным строительством» для студентов очной и заочной форм обучения специальности 271501.65 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей» / К. А. Кирпичников, Е. В. Непомнящих. – Чита: ЗаБИЖТ, 2012. – 91 с.

19. Кирпичников, К. А. Организация, планирование и управление железнодорожным строительством: метод. указания по выполнению контрольных работ с заданиями для студентов очной и заочной форм обучения специальности 270204.65 «Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство» / К. А. Кирпичников, С. Н. Афанасенко. – Чита: ЗаБИЖТ, 2009. – 28 с.

20. Быков, Ю. А. Прогнозирование параметров технической эффективности железнодорожного полигона. / Ю. А. Быков, К. А. Кирпичников // Мир транспорта. – М.: 2004. – № 4. – С. 16–21

21. Ворончихин, К. Ю. Выбор технических параметров проектируемой железной дороги с учетом неопределенности исходной информации: дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.06 / К. Ю. Ворончихин. – М., 2014. – 141 с.

22. Линейцев, В. Ю. Контактная прочность, жесткость и точность разъёмных неподвижных конических соединений в инструментальных системах: дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук / В. Ю. Линейцев. – Иркутск, 2006. – 186 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица значений функции нормального распределения  $\Phi(t)$

t	-0.00	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05	-0.06	-0.07	-0.08	-0.09
0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
-0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
-0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
-0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
-0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
-0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
-0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
-0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
-0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
-0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
-1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
-1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
-1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
-1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
-1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
-1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
-1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
-1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
-1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
-1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
-2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
-2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
-2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
-2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
-2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
-2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
-2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
-2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
-2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
-2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
-3.0	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010
-3.1	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007
-3.2	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005
-3.3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003
-3.4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
-3.5	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
-3.6	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
-3.7	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
-3.8	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
-3.9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

## Окончание прил. 1

t	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998
3.6	0.9998	0.9998	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.7	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.8	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Нормированные случайные отклонения  $\gamma$  (таблица случайных чисел)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
-0,202	-1,303	-0,671	-0,140	-0,018	1,565	-0,284	-0,622	2,073	0,481
0,420	-1,103	0,176	1,099	-0,092	-0,482	0,543	-0,218	-1,683	2,836
2,417	1,181	-0,168	-0,238	0,560	-1,847	-0,061	0,578	0,513	2,014
0,260	-0,580	0,539	0,955	-1,128	0,730	0,979	1,812	0,195	-1,322
-0,353	-0,151	-0,592	-1,213	0,189	-1,014	-0,678	-0,412	0,165	0,101
-0,255	-0,712	0,567	-0,085	1,792	0,116	0,252	-1,676	0,121	-0,346
0,666	-0,149	1,359	-0,760	0,214	0,446	0,682	0,584	-0,126	0,662
0,077	0,526	-0,783	-1,950	0,854	0,084	0,552	-0,757	-1,108	0,578
-1,365	-0,027	-0,251	-0,273	0,494	-0,022	0,383	-1,253	-0,728	0,194
1,833	-0,154	1,804	-0,414	0,103	0,759	0,054	-0,504	0,066	1,647
0,308	2,537	1,220	-1,250	-0,371	-1,210	0,906	-0,604	-1,361	-0,519
0,768	0,132	1,464	-0,428	0,182	-1,792	0,864	0,483	-1,799	-0,349
-0,957	0,265	0,724	0,055	0,885	-0,379	0,694	-1,448	-0,672	0,209
-0,094	-0,957	-0,373	-0,792	0,086	-0,134	1,493	-0,210	1,830	-0,109
0,148	-0,539	0,397	0,362	-0,245	1,194	-0,746	0,242	0,197	1,375
-0,661	-0,654	-0,379	-0,759	0,804	0,282	-1,317	-0,219	-0,318	-0,580
1,231	-0,337	-0,125	-1,373	-0,535	0,119	0,776	-0,254	0,598	1,200
-1,117	-0,871	-0,187	-0,543	0,421	0,311	0,493	0,574	-0,145	-2,332
0,551	0,335	-1,746	0,235	1,455	0,251	1,024	0,062	0,009	0,676
0,743	1,076	0,766	-0,052	1,194	0,517	-0,401	1,292	-0,280	0,540
-0,329	0,277	1,736	0,175	-0,401	0,665	0,479	1,322	0,072	-0,867
-1,264	0,970	-0,639	-0,761	-0,502	-1,559	0,249	0,119	-0,065	-0,812
-2,092	1,610	-1,423	-1,071	0,642	-0,759	-2,276	0,133	-0,976	1,506
-1,447	-0,154	1,168	0,032	-0,107	0,327	-0,378	0,055	-0,521	-1,400
0,018	0,533	0,557	0,593	-0,737	0,189	-1,876	-0,140	-1,380	-0,303
-1,445	1,357	-1,657	-0,837	-1,417	0,548	-0,423	0,398	0,167	0,147
0,002	1,537	0,113	-1,008	1,080	-0,722	-0,368	-0,290	2,146	-0,539
0,576	-1,201	-0,108	0,334	0,659	1,192	0,119	1,861	0,856	-0,018
0,108	-0,385	0,228	0,166	-1,169	1,099	-0,914	-0,462	1,132	-0,266
0,233	-1,043	0,852	-0,746	0,046	0,395	0,735	-1,526	1,065	1,450
-1,239	0,155	0,090	1,130	2,623	0,811	-1,372	0,647	0,858	-0,740
-0,928	0,802	-0,043	-0,463	0,985	-0,395	0,386	0,465	-0,372	-0,278
-0,670	-0,821	-1,092	1,062	0,601	2,509	-1,557	-0,814	-0,220	-0,019
0,643	1,339	1,287	0,446	-0,042	0,593	0,366	0,640	-0,850	0,847
-2,503	-0,162	1,125	-1,241	2,226	1,063	0,085	0,016	0,786	-0,766
0,895	-2,238	1,711	0,640	-0,067	-0,088	-0,031	1,184	1,550	0,417
-0,070	-1,367	-0,659	-1,025	0,475	0,059	-0,792	0,468	0,284	-0,184
0,891	-0,903	-0,213	1,847	0,223	-1,640	-0,772	0,324	-0,013	1,757
1,170	-0,340	-0,295	0,451	1,081	-1,073	0,073	-0,477	0,397	-1,282
0,130	0,205	0,665	0,306	0,700	-0,851	0,935	-0,502	0,650	0,254
0,591	-1,342	1,194	1,428	-1,470	-1,202	-0,450	-0,668	0,212	1,161
-0,487	-0,792	0,453	-1,465	0,390	0,796	-2,186	0,461	0,848	-0,236
-1,048	-2,550	-0,241	-0,109	-1,385	-0,066	-2,523	1,270	0,914	-0,157
0,984	0,357	0,563	-1,177	0,371	-0,624	-0,614	0,566	1,292	0,776
1,217	0,976	-1,516	-0,737	0,018	-0,768	0,712	-1,001	0,012	-0,456
-1,008	-0,849	-1,272	0,903	-1,192	-2,081	0,157	0,708	-2,132	-0,297
-0,596	-0,219	-0,726	-0,417	-0,214	0,625	-0,699	0,276	1,505	0,672
-0,315	-0,999	1,788	0,592	0,640	0,677	-0,965	1,066	-1,189	0,657
-1,1441	1,171	-0,792	-0,315	1,714	1,131	-0,001	-0,342	0,039	1,486
-0,413	0,269	0,602	0,085	-0,848	-0,207	0,396	-2,580	-0,045	-0,087

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Критические точки распределения  $\chi^2$  (Пирсона)

$\alpha$	5%	1%	0,1%	$\alpha$	5%	1%	0,1%
1	3,84	6,63	10,8	31	45,0	52,2	61,1
2	5,99	9,21	13,8	32	46,2	53,5	62,5
3	7,81	11,3	16,3	33	47,4	54,8	63,9
4	9,49	13,3	18,5	34	48,6	56,1	65,2
5	11,1	15,1	20,5	35	49,8	57,3	66,6
6	12,6	16,8	22,5	36	51,0	58,6	68,0
7	14,1	18,5	24,3	37	52,2	59,9	69,3
8	15,5	21,0	26,1	38	53,4	61,2	70,7
9	16,9	21,7	27,9	39	54,6	62,4	72,1
10	18,3	23,2	29,6	40	55,8	63,7	73,4
11	19,7	24,7	31,3	41	56,9	65,0	74,4
12	21,0	26,2	32,9	42	58,1	66,2	76,1
13	22,4	27,7	34,5	43	59,3	67,5	77,4
14	23,7	29,1	36,1	44	60,5	68,7	78,7
15	25,0	30,6	37,7	45	61,7	70,0	80,0
16	26,3	32,0	39,3	46	62,8	71,2	81,4
17	27,6	33,4	40,8	47	64,0	72,4	82,7
18	28,9	34,8	42,3	48	65,2	73,7	84,0
19	30,1	36,2	43,8	49	66,3	74,9	85,4
20	31,4	37,6	45,3	50	67,5	76,2	86,7
21	32,7	38,9	46,8	51	68,7	77,4	88,0
22	33,9	40,3	48,3	52	69,8	78,6	89,3
23	35,2	41,6	49,7	53	71,0	79,8	90,6
24	36,4	43,0	51,2	54	72,2	81,1	91,9
25	37,7	44,3	52,6	55	73,3	82,3	93,2
26	38,9	45,6	54,1	56	74,5	83,5	94,5
27	40,1	47,0	55,5	57	75,6	84,7	95,8
28	41,3	48,3	56,9	58	76,8	86,0	97,0
29	42,6	49,6	58,3	59	77,9	87,2	98,3
30	43,8	50,9	59,7	60	79,1	88,4	99,6