

## Введение

Системы автоматизации почтовой связи функционируют при воздействии случайных факторов различной природы и поэтому являются объектами применения статистических и экспериментальных методов исследования: при определении значений показателей оборудования, проектировании производственных процессов и информационных систем. В последнее время наблюдается значительный рост числа транспортных логистических и курьерских компаний по доставке штучных грузов, технологии обработки и перевозки грузов которых близки к почтовой. В сортировочных центрах почтовой связи и крупных складских комплексах используется большое количество одинакового оборудования, во многом общими являются и факторы среды, которые необходимо учитывать при эксплуатации оборудования и управлении технологическими процессами.

Целью написания книги является обобщение опыта статистических и экспериментальных исследований при создании и эксплуатации отечественных почтообработывающих машин, организации производственных процессов приема, обработки и перевозки почтовых отправлений, расчете пробега автотранспорта в городах, построении маршрутов сбора товаров на складе, проведенных с участием автора в Специальном проектно-конструкторском бюро Министерства связи СССР, впоследствии ФГУП Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт почтовой связи (НИИПС), в настоящее время — НИИПС — Филиал ФГУП Главный центр специальной связи (ФГУП ГЦСС), а также на кафедре Интеллектуальных систем в управлении и автоматизации Московского технического университета связи и информатики (МТУСИ). Рассмотренные в книге исследования могут представлять интерес и оказать практическую пользу специалистам как по почтовой связи, так и по логистике. Излагаемый материал сгруппирован по главам в соответствии с применяемыми методами исследования. Для его понимания

достаточно знаний математического анализа, элементов теории вероятностей и математической статистики.

В главе 1 рассматривается комплекс различных исследований, базирующихся на проведении пассивного эксперимента. Целями экспериментальных исследований являются определение фактических значений показателей работы оборудования, а также получение исходных данных для проведения на их базе последующих исследований. Способами получения данных служат: определение массы и подсчет количества корреспонденции вручную, моделирование погодных условий нахождения письменной корреспонденции в почтовых ящиках в климатической камере, анализ распечаток с ЭВМ данных о фактической производительности автоматической письмосортировочной машины, хронометрирование работы оператора на операциях ввода-вывода почтовых отправок сортировочной установки, компьютерное моделирование укладки штучных грузов в контейнеры и прогнозирования объемов и сроков поступления почтовых отправок на обработку в сортировочный центр. Для получения и обработки экспериментальных данных используются расчеты среднего значения и 95%-ных интервалов для среднего, метод скользящего среднего.

В главе 2 описываются задачи определения необходимого количества оборудования в объекте в условиях неравномерности поступления нагрузки с учетом нормативного запаса машин, числа накопителей сортировочных установок, анализа числа и времени устранения заторов машин предварительной обработки письменной корреспонденции. Решение задач связано с использованием известных распределений (Пуассона, гамма-распределения, экспоненциального, распределения Эрланга) и построением эмпирических распределений путем сглаживания фактических данных. При подборе эмпирических формул используются методы: избранных точек (натянутой нити), средних значений, наименьших квадратов. Качество аппроксимации проверяется по критериям согласия Пирсона  $\chi^2$ , Колмогорова  $\lambda$ , Романовского, Ястремского  $l$ . Приводится сравнение способов оценки ошибки сортировки в автоматической письмосортировочной машине.

В главе 3 собраны задачи, решение которых осуществляется за несколько итераций с использованием методов одномерного поиска экстремума. Для определения оптимальной скорости движения писем на макете лицевочно-штемпелевальной машины сформирован обобщенный показатель, связывающий воедино эффективность и качество работы машины. Поиск производится с помощью метода чисел Фибоначчи. В алгоритме построения маршрутов сбора

товаров со стеллажей на складе временного хранения при заданном числе маршрутов и при сравнении способов сортировки корреспонденции на автоматической машине используется метод «золотого сечения». В первом случае критерием оптимальности служит минимизация максимального времени прохождения маршрута, во втором — минимизация потребного числа накопителей машины.

В главе 4 описываются исследования по выявлению влияния факторов и определению значений характеристик оборудования, связанные с проведением активного факторного эксперимента, в которых планирование эксперимента и обработка результатов производится с помощью дисперсионного анализа. В качестве планов эксперимента используются планы двух и трехфакторного эксперимента по схеме  $3 \times 3$  латинского квадрата без повторных опытов и с повторными опытами. При этом в ряде случаев одним из факторов выступает состав письменной корреспонденции, представляющий смесь из стандартных писем, почтовых карточек, негабаритной корреспонденции. Определение значимости различия уровней факторов производится по методу Дункана. Детально описываются условия проведения экспериментов. Приводится обоснование потребного количества корреспонденции, трудовых затрат и времени, необходимых для проведения эксперимента по оценке влияния факторов и определению значений показателей работы машин предварительной обработки письменной корреспонденции. Рассмотрен подход к продолжению исследований по определению значений одного из показателей при неадекватности линейной модели.

В главе 5 рассматриваются случаи обоснования корреляционной связи между показателями работы письмообрабатывающих машин, обнаруженной в процессе наблюдения за их работой. Приводится пример оценки уровня значений показателей машин предварительной обработки письменной корреспонденции на момент ввода в эксплуатацию с помощью функции желательности Харрингтона.

Глава 6 посвящена поиску оптимальных значений технических характеристик автоматического устройства подачи писем к сепаратору, тары для межоперационного транспортирования письменной корреспонденции, построению моделей расчета пробега автотранспорта по городским маршрутам в зависимости от конфигурации города, доли застроенной территории, места расположения узла связи, заданного количества пунктов объезда, а также моделей определения сроков прохождения почтовых отправок от отправителя до адресата в зависимости от нормативов времени на их обработку, перевозку и доставку путем проведения полного факторного экспери-

мента типа  $2^k$  и дробных реплик, а также совместного использования планов. Эксперименты проводились на макетах оборудования, геометрических моделях городов, имитационных компьютерных моделях перевозки и доставки почтовых отправок по магистральной сети почтовой связи России.

В главе 7 приводится решение трех задач. В первой задаче осуществляется определение оптимальных значений конструктивных параметров почтового ящика с упорядоченной укладкой писем и почтовых карточек при их вбросе в ящик и сохранении целостности выгружаемой пачки при перегрузке из ящика в сумку экспедитора. Поиск размеров производится с помощью дробного факторного эксперимента с полуреplikой  $2^{4-1}$  с повторными опытами и центрального композиционного ротatableльного плана для трех факторов с варьированием на 3 уровнях. Нахождение профиля створок и поддона механизма перегрузки пачки, где в качестве факторов приняты коэффициенты степенной функции, производится путем проведения полного факторного эксперимента вида  $2^4$  с повторными опытами. В обоих случаях особое внимание уделено рандомизации опытов как по участникам, так и по времени проведения эксперимента. Окончательный выбор значений параметров осуществлялся при неадекватности построенных моделей.

Основной целью второй задачи является определение целесообразности разнесения устройств ввода отправок по трассе сортировочного конвейера. Задача решается путем моделирования работы одно- и двухрядного сортировочных конвейеров с несколькими местами загрузки, имеющими позиции ожидания. Результаты исследования на факторных моделях, полученных с помощью полного факторного эксперимента  $2^4$  с дублированием каждого опыта, показывают, что при заданном количестве рабочих мест загрузки изменение их расположения по трассе конвейера незначительно сказывается на пропускной способности сортировочной установки.

В рамках решения третьей задачи по плану дисперсионного анализа двухфакторного эксперимента с повторными опытами с варьирования факторов на двух уровнях изучалось влияние состава корреспонденции и периода работы сортировочной машины на процент корреспонденции, не распознающейся цифрочитающим устройством. Приводится перечень мероприятий, которые привели к увеличению доли корреспонденции, пригодной к автоматической сортировке.

С учетом результатов описанных исследований был реализован комплекс мероприятий по обеспечению пересылки почтовых сообщений только в стандартных конвертах или почтовых карточках.

ках; приняты меры, направленные на улучшение качества изготовления конвертов и почтовых карточек, а также увеличение доли корреспонденции с правильно написанным почтовым индексом; созданы новые модели машин предварительной обработки письменной корреспонденции (машины для разборки, лицевки и штемпелевания письменной корреспонденции МРЛ и машины для лицевки и штемпелевания письменной корреспонденции ЛШМ-4); внедрена система контроля качества показателей работы письмообработывающих машин; определены значения технических характеристик устройств, позволяющих на базе действующего оборудования создать комплексно-автоматизированный процесс приема и обработки письменной корреспонденции, проводилась разработка и опытная эксплуатация ряда устройств; очерчена область применения роботизированных устройств в почтовой связи; разработаны автоматизированные информационные системы для прогнозирования объемов поступления почтовых отправок в объекты почтовой связи и расчета потребного количества оборудования в объектах; определено рациональное число межрайонных почтамтов и их зоны обслуживания в Москве; разрабатывается автоматизированная система построения маршрутов сбора товаров со стеллажей на складе временного хранения.

Автор выражает глубокую признательность профессору Ю.П. Адлеру за приглашение и предоставленную возможность ознакомиться с методами математической статистики и планирования эксперимента в Московском институте повышения квалификации руководящих работников и специалистов предприятий химической промышленности, послужившую импульсом для применения этих методов при решении значительного количества задач почтовой связи и логистики, в том числе описанных в этой книге. Автор благодарит рецензента Заслуженного деятеля науки РФ, д-ра техн. наук, профессора О.И. Шелухина за внимательное рассмотрение рукописи и полезные замечания, способствовавшие улучшению содержания и изложения материала книги. Автор благодарит П.П. Горшкова и Я.О. Король (МГТУ им. Н.Э. Баумана) за работу по оформлению книги.

# 1 Определение значений показателей путем проведения пассивного эксперимента

---

## 1.1. Выявление и экспериментальное исследование свойств корреспонденции, поступающей на машины предварительной обработки письменной корреспонденции

В крупных городах письменная корреспонденция, перегруженная на маршрутах выемки из почтовых ящиков в мешки, поступает в автоматизированный сортировочный центр (АСЦ) для предварительной обработки на автоматический комплекс, состоящий из машины для разборки писем по габаритам МРП-2 и лицевочно-штемпелевальной машины ЛШМ-3. Наблюдения за работой машин показывают, что на качество функционирования машин оказывают влияние влажность и состав обрабатываемой на них корреспонденции [16, 23, 37].

### 1.1.1. Исследование влияния климатических условий окружающей среды на влажность письменной корреспонденции, находящейся в почтовых ящиках

Изучение влияния влажности особенно актуально в условиях нашей страны, расположенной в различных климатических зонах. Среднемесячная температура воздуха изменяется от +30...+40 °С летом до -40...-50 °С зимой, среднемесячная относительная влажность воздуха колеблется от 30 до 65 % [47]. Значительно может изменяться температура и влажность и в пределах одной зоны. В каждой из этих зон могут устанавливаться письмообрабатывающие машины, на которые поступает корреспонденция, вынутая из почтовых ящиков или пробывшая некоторое время на открытом воздухе перед тем, как попасть в помещение цеха обработки.

Исследования специалистов бумажной промышленности говорят о том, что влажность оказывает самое разнообразное влияние на механические и оптические свойства бумаги, ее электризуемость, т. е. на свойства, которые непосредственно используются или проявляются при обработке письменной корреспонденции на машинах. Влияние влажности на свойства бумаги отражено в табл. 1.1, составленной по материалам [80, 86].

Таблица 1.1

Влияние влажности на некоторые физические и механические свойства бумаги

Свойства бумаги	Степень влияния влажности
Жесткость	Уменьшается при увеличении влажности
Скручиваемость	Уменьшается при повышении влажности. Возрастает при неравномерном увлажнении
Деформация	Повышение относительной влажности воздуха приводит к деформации размеров листа бумаги в сторону их увеличения
Воздухопроницаемость	Снижается при увеличении влажности
Электризация	Повышение относительной влажности воздуха приводит к снижению ее электростатического заряда
Упруго-пластические	При увлажнении бумага теряет свои упругие свойства. Вода ее пластифицирует. Увлажнение бумаги влечет за собой и снижение предела ее прочности
Капиллярные и гигроскопические	На холодной поверхности бумаги при внесении в теплое помещение конденсируется влага. Конденсация влаги на поверхности бумажного листа вызывает коробление поверхности и одностороннее скручивание листа
Прозрачность	Увеличивается при увеличении влажности
Белизна	Повышение влажности приводит к некоторому снижению белизны
Сопротивление разрыву	При увеличении относительной влажности воздуха с 40 % до 80 % снижается примерно на 25 %
Сопротивление излому	Увеличивается с повышением относительной влажности воздуха до 80...85 %, а затем начинает снижаться
Сопротивление продавливанию	При изменении относительной влажности окружающего воздуха с 0 до 90 % изменяется незначительно: на 10...12 %

Почтовые отправления не непосредственно взаимодействуют с окружающей средой, а находятся в закрытой таре: почтовых ящиках, мешках. Содержание влаги в письменной корреспонденции можно оценить выражениями, приведенными в [79]:

- абсолютная влажность

$$W = \frac{g - g_1}{g_1} \cdot 100 \% ; \tag{1.1}$$

- относительная влажность

$$W_{\text{ов}} = \frac{g - g_1}{g} \cdot 100 \% , \tag{1.2}$$

где  $g$ ,  $\Gamma$  — масса влажного массива писем;  $g_1$ ,  $\Gamma$  — масса высушенного массива писем, причем массив высушивается до постоянной массы.

Определение влажности письменной корреспонденции проводилось путем моделирования погодных условий в камере климатических испытаний ILKA Fcutron с техническими характеристиками:

- диапазон температур  $-70...+90$  °С;
- постоянство температуры  $\pm 0,2$  °С;
- скорость изменения температуры 1 град./мин;
- диапазон относительной влажности 10...98 %;
- габариты полезного объема  $850 \times 700 \times 900$  мм;
- изменение климата производится автоматически.

Почтовые ящики с письменной корреспонденцией помещались в камеру на 8 часов при следующих режимах: относительной влажности воздуха  $W_{об} = 98$  % — «дождь», температуре воздуха  $t_b = -55$  °С — «мороз»,  $W_{об} = 15$  % — «сухость»,  $t_b = -15... + 5$  °С — «оттепель». Измерялась также влажность корреспонденции, находящейся в помещении с естественной влажностью.

Абсолютная влажность корреспонденции рассчитывалась по формуле (1.1). Масса  $g_1$  определялась после выдерживания массива писем в течение 8 часов в сушильной камере при температуре  $100$  °С.

Результаты эксперимента отражены в табл. 1.2–1.4. Эксперименты в режимах «мороз» и «сухость» не показали значимых отличий влажности корреспонденции в этих условиях от влажности корреспонденции, находящейся в помещении.

Таблица 1.2

Результаты измерения влажности корреспонденции, находящейся в условиях влажного климата («дождь»)

Номер опыта	Условия климатической камеры		Абсолютная влажность корреспонденции, $W$ , %
	$t$ , °С	$W_{об}$ , %	
1	+35	98	7,5
2	+35	98	7,1
3	+35	98	7,2
4	+35	98	6,3
5	+25	98	6,9
6	+25	98	6,8
7	+25	98	7,8
8	+25	98	7,2
Средняя, $\bar{W}$			7,1

Таблица 1.3

Результаты измерения влажности корреспонденции, находящейся в условиях перехода с отрицательной температуры ( $-15$  °С) на положительную ( $+5$  °С) («оттепель»)

Номер опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
Абсолютная влажность корреспонденции в опыте, $W$ , %	6,0	5,5	5,4	5,2	6,5	6,0	6,0	5,0
Средняя, $\bar{W}$	5,7							



Таблица 1.4

Результаты измерения влажности корреспонденции, продолжительное время находившейся в помещении

Номер опыта	Климатические условия помещения		Абсолютная влажность корреспонденции, $W$ , %
	$t$ , °C	$W_{ов}$ , %	
1	30,5	54	4,8
2	29,5	53	5,0
3	29,5	53	4,8
4	28	63	4,4
5	30	78	4,7
6	27	81	5,3
7	26,5	88	5,0
8	26	84	4,2
Средняя, $\bar{W}$			4,8

Для того чтобы определить, случайно или закономерно различаются найденные в эксперименте значения абсолютной влажности корреспонденции, находящейся в почтовых ящиках в различных климатических условиях, рассчитываются 95%-ные доверительные интервалы для средних значений абсолютной влажности

$$\bar{W} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n W_k, \tag{1.3}$$

где  $k$  — номер измерения;  $n$  — число измерений.

Границы доверительного интервала для средней  $\mu_{\min} \leq \mu \leq \mu_{\max}$  определяются по формулам:

- верхняя

$$\mu_{\max} = \bar{W} + (1-\alpha/2)t_{n-1} \frac{S}{\sqrt{n}}; \tag{1.4}$$

- нижняя

$$\mu_{\min} = \bar{W} - (1-\alpha/2)t_{n-1} \frac{S}{\sqrt{n}}, \tag{1.5}$$

где

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (W_k - \bar{W})^2} \tag{1.6}$$

— среднеквадратическое отклонение результатов наблюдений (СКО);  $(1-\alpha/2)t_{n-1}$  — критическое значение двустороннего  $t$ -критерия Стьюдента при  $f = n - 1$  степенях свободы,  $\alpha = 0,05$  — вероятность ошибки при 95%-ном доверительном интервале (уровень значимости).

При количестве измерений для различных климатических условий  $n = 8$  и  $f = 8 - 1 = 7$  получаем  $(1-0,05/2)t_{8-1} = 2,37$  [61].

95%-ные интервалы для  $\bar{W}$  составили:

- в естественных условиях помещения, при пониженной температуре окружающего воздуха, при относительной влажности воздуха 15 %  $\bar{W} = 4,5...5,1$  %;
- в условиях перехода с отрицательной температуры воздуха на положительную  $\bar{W} = 5,3...6,1$  %;
- в условиях повышенной влажности воздуха  $\bar{W} = 6,7...7,5$  %.

Доверительные интервалы не пересекаются, что указывает на значимое различие  $\bar{W}$  в различных климатических условиях.

### 1.1.2. Исследование состава потока письменной корреспонденции, поступающего на машины предварительной обработки

Изучение состава поступающей на МРП корреспонденции проводилось в цехе обработки письменной корреспонденции прижелезнодорожного почтамта (ПЖДП) при Казанском вокзале Москвы. Выборочным обследованием была охвачена как нагрузка в обычные дни, так и предпраздничная, ноябрьская и декабрьская нагрузка. В качестве исследуемой партии было выбрано количество корреспонденции в почтовом мешке, из которого происходит загрузка машины. Эту партию образует выемка корреспонденции из почтовых ящиков нескольких маршрутов. Было проанализировано 226,5 тыс. отправлений, составивших 79 партий.

Корреспонденция из мешка высыпалась на стол и визуально разбиралась на 4 группы: стандартные по размеру (114×162 мм) и жесткости конверты; открытки и почтовые карточки; нестандартные по размеру и жесткости конверты; прочая корреспонденция, которая не подлежит обработке на машинах (повестки, извещения и др. не вложенные в конверты), а также предметы, случайно оказавшиеся в почтовых ящиках (утраченные студенческие билеты, паспорта и т. п.). Подсчёт стандартной корреспонденции производился при помощи специального отградуированных мерных ящиков, предназначенных для накапливания отлицованных писем в механизированном накопителе ЛШМ (отдельно для писем и почтовых карточек). Ящики при градуировании и измерении устанавливаются в вертикальное положение (рис. 1.1) [37]. Нестандартные и непригодные к обработке отправления и предметы подсчитывались поштучно.

Процент корреспонденции, непригодной к обработке на машинах предварительной обработки, составил 0...9,5 % при средней примерно 1,0 %, т. е. весьма незначителен. Однако подача такой корреспонденции на вход МРП является основной причиной заторов машины; большинство отправлений из этой группы, попавших в машину, оказываются так или иначе поврежденными, а также вызывают

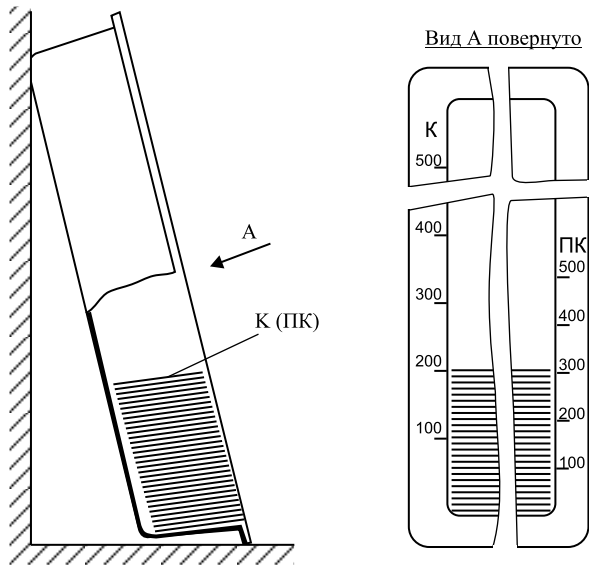


Рис. 1.1. Ящик для измерения стандартной корреспонденции: К — конверты; ПК — почтовые карточки

повреждения следующих за ними отправлений, попавших в затор. Частые заторы приводят не только к снижению эффекта от использования машин, задержке в обработке корреспонденции, но и к повреждению рабочих органов машин. Вышперечисленные причины вызывают необходимость держать оператора на входе МРП для обнаружения и извлечения из машины корреспонденции, непригодной к машинной обработке, и посторонних предметов.

Поток письменной корреспонденции, подаваемой на МРП за время наблюдения, находился в границах  $30,9 \leq z_1 \leq 93,3 \%$ ,  $2,3 \leq z_2 \leq 65,9 \%$ ,  $3,0 \leq z_3 \leq 23,4 \%$ , где  $z_1$  — доля стандартных по размеру (114×162 мм) и жесткости конвертов,  $z_2$  — доля открыток и почтовых карточек,  $z_3$  — доля нестандартных по размеру и жесткости конвертов, являются компонентами фактора  $Z$ , характеризующего состав потока. Для компонент фактора  $Z$  в каждой исследуемой партии, очевидно, соблюдается условие

$$\sum_{i=1}^3 z_i = 1,$$

где  $i = 1, 2, 3$  — номер компоненты.

Область факторного пространства (пространство, координатные оси которого соответствуют значениям факторов), в которой

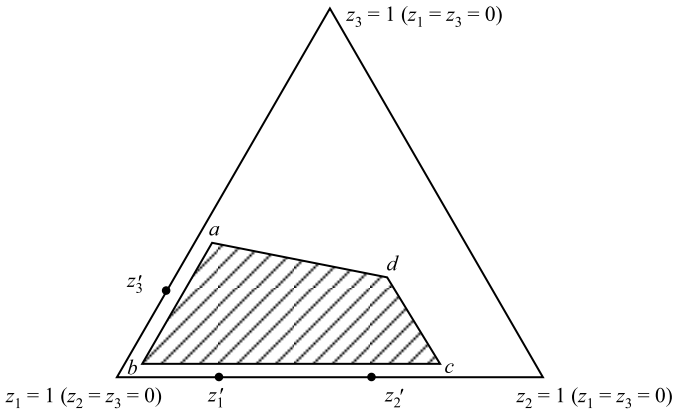


Рис. 1.2. Состав потока письменной корреспонденции, поступающей на МРП, и точки постановки опытов:  $abcd$  — область факторного пространства, в которой работает МРП;  $z'_1, z'_2, z'_3$  — точки постановки опытов для получения зависимости  $y_2 = f(z_1, z_2, z_3)$

должна работать МРП, изображена на рис. 1.2. При этом зона, прилегающая к вершине угла  $abc$ , характеризует поступление корреспонденции в обычные дни; зона, прилегающая к вершине угла  $bcd$ , — в предпраздничные дни; зона, прилегающая к вершине угла  $bad$ , характерна для массовой сдачи крупногабаритной нестандартной корреспонденции учреждениями. Для расчетов можно пользоваться средними значениями:

- в обычные дни  $\bar{z}_1 = 83,1 \%$ ,  $\bar{z}_2 = 10,6 \%$ ,  $\bar{z}_3 = 6,3 \%$ ;
- в предпраздничные дни  $\bar{z}_1 = 43,4 \%$ ,  $\bar{z}_2 = 48,1 \%$ ,  $\bar{z}_3 = 8,5 \%$ .

Процентное содержание писем  $z_1^{\text{ЛШМ}}$  и почтовых карточек  $z_2^{\text{ЛШМ}}$  в потоке, поступающем из МРП в ЛШМ, определяется соотношениями:

$$z_1^{\text{ЛШМ}} = z_1^{\text{МРП}} \cdot 100 / (z_1^{\text{МРП}} + z_2^{\text{МРП}}) \% ; \quad (1.7)$$

$$z_2^{\text{ЛШМ}} = z_2^{\text{МРП}} \cdot 100 / (z_1^{\text{МРП}} + z_2^{\text{МРП}}) \% ; \quad (1.8)$$

$$z_1^{\text{ЛШМ}} + z_2^{\text{ЛШМ}} = 1. \quad (1.9)$$

## 1.2. Оценка фактической производительности автоматической писемосортировочной машины в обычные дни и в дни с предпраздничной нагрузкой

Путем наблюдений за работой автоматических писемосортировочных машин (АПСМ) в крупных сортировочных центрах во время эксплуатации было замечено, что в дни с предпраздничной нагрузкой производительность машины снижается. Причиной этого может служить увеличение доли почтовых карточек в предпраздничном

Таблица 1.5

Выборочные исходные данные о фактической производительности МАП-1 ( $y_1$ , писем в час)

В обычные дни, $y_1^o$ (13.03–18.04)	В предпраздничные дни, $y_1^n$ (21.04–7.05)
17981, 18694, 19205, 18698, 18753, 18880, 18661, 16844, 17707, 17535, 17972, 18584, 16351, 17432, 17947, 17738, 16160, 15897 ( $n_1 = 18$ )	15942, 15429, 16339, 17853, 17894, 17329, 17620, 16939, 15735, 17949, 16404, 15354 ( $n_2 = 12$ )

потоке. Выборочные исходные данные о фактической производительности АПСМ МАП-1 приведены в табл. 1.5.

Статистические характеристики представленных совокупностей составляют:

$$\bar{y}_1^o = \frac{1}{18} \sum y_{1i}^o = 17836; \quad S_{y_1^o} = \sqrt{\frac{1}{18-1} \sum (y_{1i}^o - \bar{y}_1^o)^2} = 989;$$

$$\bar{y}_1^n = \frac{1}{12} \sum y_{1i}^n = 16732; \quad S_{y_1^n} = \sqrt{\frac{1}{12-1} \sum (y_{1i}^n - \bar{y}_1^n)^2} = 989.$$

По этим характеристикам определяются 95%-ные интервалы для средних значений производительности в обычные и предпраздничные дни:

$$\bar{y}_1^o \pm_{(1-0,05/2)} t_{18-1} \frac{S_{y_1^o}}{\sqrt{18}} = 17836 \pm 2,11 \frac{989}{4,24} = 17836 \pm 492;$$

$$17344 < \bar{y}_1^o < 18328;$$

$$\bar{y}_1^n \pm_{(1-0,05/2)} t_{12-1} \frac{S_{y_1^n}}{\sqrt{12}} = 16732 \pm 2,2 \frac{989}{3,46} = 16732 \pm 628;$$

$$16104 < \bar{y}_1^n < 17360,$$

где  $(1-0,05/2)t_{18-1} = 2,11$ ;  $(1-0,05/2)t_{12-1} = 2,2$  — табличные значения  $t$ -критерия [60, 61].

95%-ные доверительные интервалы для средних значений хотя и незначительно, но пересекаются, поэтому возникает вопрос о значимости различия производительности МАП-1 в обычные и предпраздничные дни. С этой целью рассчитывается 95%-ный доверительный интервал для разности средних значений производительности [61]:

$$(\bar{y}_1^o - \bar{y}_1^n) \pm_{(1-0,05/2)} t_{n_1+n_2-2} \sqrt{\frac{n_1+n_2}{n_1 n_2} \frac{(n_1-1)S_{y_1^o}^2 + (n_2-1)S_{y_1^n}^2}{n_1+n_2-2}},$$

где  $(1-0,05/2)t_{n_1+n_2-2} = (1-0,05/2)t_{18+12-2} = (1-0,05/2)t_{28} = 2,048$  —