

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**  
**Ассоциация московских вузов**

**Московский Государственный Строительный Университет**

**Кафедра Высотного строительства**

**11.8.5.1 Научно – образовательный материал**  
**«Проектирование высотных**  
**зданий с учетом организации движения**  
**людских потоков»**

Конспект подготовил проф.

Э.П. Григорьев

## Содержание

<b>1. Структура и характеристики людского потока.....</b>	<b>3</b>
1.1. Элементарный поток.....	3
1.2. Структура людского потока.....	7
<b>2. Методы оценки формирования потоков.....</b>	<b>9</b>
2.1. Визуальный метод.....	9
2.2. Методы кинофотосъёмки и видеонаблюдения.....	11
2.3. Области применения методов.....	12
<b>3. Учет условий движения людских потоков в высотных зданиях...17</b>	<b>17</b>
3.1. Задачи статистического изучения.....	17
3.2. Виды статистических наблюдений.....	22
3.3. Систематизация данных.....	26
<b>4. Вертикальный транспорт в высотных зданиях.....</b>	<b>30</b>
4.1. Пассажирские лифты.....	31
4.2. Расчет графика движения пассажирских лифтов.....	31
4.3. Пожарные лифты.....	34
4.4. Грузовые лифты.....	35
4.5. Групповая диспетчеризация.....	35
4.6. Конфигурации лифтов.....	36
4.7. Группы двухэтажных лифтов.....	36

# 1. СТРУКТУРА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЮДСКОГО ПОТОКА

## 1.1. «Элементарный» поток

Использование впервые времени в качестве основного критерия эвакуации определило и новый взгляд на систему нормируемых показателей потоков эвакуирующихся людей и эвакуационных путей:

- «время массовой эвакуации зависит от длины и ширины эвакуационного пути... Предельно допустимая длина зависит от вероятной скорости движения, ширина предопределяет пропускную способность людского потока в единицу времени. Скорость и пропускная способность служат основными факторами, характеризующими процесс массовой эвакуации»;

- «...при массовой эвакуации плотность потока служит тем основным признаком, от которого зависит пропускная способность и скорость эвакуационного движения, а в связи с этими данными и время эвакуации».

Таким образом, в этом исследовании впервые были названы три основные характеристики людского потока: плотность, скорость и пропускная способность в минуту, а также впервые было указано на существование взаимосвязи между ними. Под пропускной способностью в минуту имеется в виду пропускная способность в минуту единицы ширины потока, поскольку все эти три характеристики он рассматривал применительно к «элементарному потоку», понимая под таким потоком один ряд людей, выходящих в последовательном порядке. Ширина одного потока принимается обычно равной 0,50 м, но при ограниченной длине или в группе нескольких потоков может быть без ущерба сокращаема до 0,45 м. Ширина элементарного потока 0,6 м является как бы практическим минимумом для движения по лестнице.

Введя понятие элементарного людского потока, профессор С. В. Беляев использовал модель структуры людского потока в виде параллельных рядов идущих в затылок друг другу людей. Принятая модель людского потока продиктовала и способы его описания и определения его характеристик.

Такая модель больше соответствует воинскому подразделению на марше, чем неорганизованному перемещению людей, обгоняющих друг друга или идущих каждый в своём темпе и со своими целями. Но именно это уподобление воинскому подразделению позволило С.В. Беляеву использовать данные военной гигиены для теоретического определения

возможной скорости, плотности и пропускной способности элементарного потока, исходя из физиологических данных движения в организованном строю военнослужащих. В основе этих данных лежала взаимосвязь между частотой шагов и их длиной в зависимости от расстояния между людьми в строю:

Средняя длина шага взрослого человека составляет около 0,75 м. Она может изменяться в зависимости от наклона пути, несколько возрастая при подъёме и сокращаясь при спуске.

Для суждения о быстроте шага можно исходить из практической нормы передвижения войск обыкновенным маршем, когда число шагов в минуту редко превосходит 120. В связи с этим при неорганизованном движении можно принять в качестве практического предела быстроты около 100 шагов в минуту. По этим данным нормальная скорость маршировки определяется в  $0,75 \times 120 = 90$  м в минуту, а предельная скорость неорганизованного движения в  $0,75 \times 100 = 75$  м.

Местное или общее уплотнение людских потоков влечёт неизбежное сокращение средней длины шага, что, в свою очередь, сопровождается уменьшением числа шагов в минуту. Действительно, при индивидуальном движении длина участка, приходящегося на человека по длине потока, должна превышать длину шага по крайней мере на величину стопы, т. е. на 25-30 см. Отсюда следует, что при уплотнении потока индивидуальное движение становится затруднительным и прекращается в том случае, когда длина участка становится равной длине стопы. Однако наблюдения показывают, что поступательное движение, не индивидуальное, а согласованное, осуществимо и при большем уплотнении, когда длина участка приближается к физическому пределу, составляющему около 0,20 м на человека. В этих условиях для движения служат промежутки между стопами ног движущихся впереди, и такое движение происходит с малой неравномерной скоростью и даже с остановками». Скорость зависит от плотности эвакуационного потока или от величины участка, приходящегося на одного человека по длине потока. Отсюда следует, что плотность  $A$  элементарного потока  $C$ . В. Беляев определяет делением длины участка, занимаемого потоком, на количество людей в нём.

Поэтому «переходя к вопросу о пропускной способности, следует иметь в виду, что последняя представляет собой частное от деления скорости движения на среднюю длину участка, приходящегося на одного человека, и поэтому величина её зависит в каждом конкретном случае от двух указанных величин».

Отсюда следует, что при уплотнении людского потока его пропускная способность в минуту увеличивается пропорционально плотности. Так, например, скорость в 90 м в минуту при плотности потока в 1,2 м на человека даёт пропускную способность в  $90 / 1,2 = 75$  человек; при уплотнении потока вдвое, т. е. до 0,6 м на человека, пропускная способность возрастает до 150 человек в минуту.

При строевом движении скорости в 90 м/мин соответствуют 118 шагов в минуту. Длина шага при этом составляет 0,76 м. При длине же шага 0,6 м, скорость будет равна лишь 50 м/мин. Следовательно, в приведённых расчётах делить на 0,6 м нужно не 90 м/мин, а 50 м/мин. В результате получим пропускную способность элементарного потока, равную не 150 человек в минуту, а всего 83 человека. Если, к тому же, учитывать и длину ступни, то скорость потока следовало бы принять меньше 38 м/мин. Тогда пропускная способность в минуту будет ещё меньше, меньше даже той, которая была рассчитана при скорости 90 м/мин.

Так увеличивается ли пропускная способность потока пропорционально плотности или же уплотнение потока сокращает пропускную способность и скорость движения до полной его остановки?

Этот вопрос не получает своего однозначного разрешения даже в результате проведённых под руководством профессора С. В. Беляева натурных наблюдений. Результаты обследований в части основных показателей представлены на графике, где по оси абсцисс нанесены величины уплотнения потока в пределах от 0,20 до 1,20 м, а ординаты указывают соответствующие этим величинам значения скорости и пропускной способности. Для ясности масштаб пропускной способности принят на графике вдвое крупнее масштаба скоростей.

Из рассмотрения графика можно убедиться, что результаты многочисленных обследований образуют компактные группы, выявляющие значительную закономерность процесса. Построение обёртывающих кривых по наименьшим из полученных значений позволяет дать общую формулировку этой закономерности. Скорость движения вообще невелика, но не падает ниже некоторого предела, составляющего для наибольших плотностей около 17 м в минуту, и постепенно возрастает по мере снижения плотности. Наоборот, пропускная способность потока достигает максимальных значений при наибольших плотностях, доходя до 50 человек в минуту, и снижается постепенно с уменьшением плотности.

Далее принимается не самое безупречное решение. Этот график целесообразно дополнить данными четвёртой серии обследований, характеризующими процесс эвакуации в пределах выхода из помещения. Сопоставляя эти данные с упомянутыми выше результатами наблюдений над эвакуацией трамвайных вагонов, можно убедиться в их полной аналогии. В том и другом случае повышенная плотность потоков влечёт резкое снижение пропускной способности и при физически предельном уплотнении около 0,20 м на человека доводит пропускную способность примерно до 25 человек в минуту. Соответствующая скорость движения определяется по этим данным в  $0,20 \times 25 = 5$  м в минуту. Нанося эти крайние значения на график, возможно экстраполировать кривые горизонтального движения до встречи с указанными точками, что на графике показано пунктиром.

Здесь допускается объединение данных, относящихся к разным сериям натуральных наблюдений движения по различным видам пути (горизонтальному и проёму). Это объединение производится в том интервале плотности, где для движения по одному виду пути (горизонтальному) эмпирические данные отсутствуют, а для другого (проёма) - имеются лишь приблизительные предельные значения. Необходимые для такого объединения условия не анализируются, а может быть исследователи и не осознают необходимости такого анализа. В результате, при движении элементарного потока по горизонтальным путям его пропускная способность в минуту при уплотнении до определённой величины увеличивается, а при её достижении снижается; при движении же по лестнице вниз - только увеличивается. Такой итог натуральных обследований, к сожалению, не разрешает вызвавших их вопросов и всё так же затрудняет не только установление связи между плотностью и пропускной способностью, но и разрешение вопроса о том, увеличивает или уменьшает пропускную способность уплотнение потоков. Пропускная способность потока, чел./мин

Между тем, выявление этой связи необходимо для разрешения основных задач эвакуации. Только на основе этой связи возможно по уплотнению определить пропускную способность эвакуационных путей в минуту и необходимую ширину их для осуществления эвакуации в заданный срок.

Такой итог обследований ставит под сомнение и логику нормирования, состоящую в назначении нормируемых значений скорости на 1 м/мин ниже обнаруженных при натуральных наблюдениях, т. е. 16 м/мин при движении по

горизонтальным путям, 10 м/мин - по лестнице вниз и 8 м/мин - по лестнице вверх. При этом нарушается и установленное соотношение (1.3), поскольку при  $V = 16$  м/мин и  $qi = 25$  чел./мин значение плотности должно составлять только 0,64 м/чел., а не 0,20 м/мин, которому соответствует принятое минимальное значение  $q_r$ .

Отсутствие исходных эмпирических данных вынуждает к попытке компенсировать их упрощённой моделью изменений скорости элементарного потока при его уплотнении и, используя установленное соотношение (1.3), выстроить искомую связь между плотностью и пропускной способностью.

## **1.2. Структура людского потока**

Исследования были организованы Центральным научно-исследовательским институтом противопожарной обороны (ЦНИИПО) МВД СССР практически сразу же после окончания второй мировой войны и проводились под руководством А. И. Милинского с 1946 по 1950 гг. Непосредственной целью исследования явилось выяснение количественных показателей, характеризующих режим движения потоков людей при эвакуации помещений и зданий массового назначения, и закономерностей, которым этот процесс подчиняется.

Принципиальная методологическая позиция этих исследований со стояла в том, что изображение двигающейся толпы в виде элементарных потоков является искусственным и не отвечающим действительному местоположению людей в потоке, ибо на самом деле последний всегда представляет собой беспорядочную, в физическом смысле, массу людей, образуемую только положением ограждающих эвакуационный путь конструкций. Пристальное внимание этому вопросу уделялось и в последующих исследованиях. В результате было сформулировано следующее словесное описание структуры людского потока.

«Размещение людей в потоке имеет всегда неравномерный и часто случайный характер. Расстояние между идущими людьми постоянно меняется, возникают местные уплотнения, которые затем рассасываются и возникают снова. Эти изменения неустойчивы во времени. Людской поток обычно имеет вытянутую сигарообразную форму. При этом головная и замыкающая часть состоят из небольшого количества людей, двигающихся с большей или меньшей скоростью, чем основная масса людей в потоке».

Особенности кинетики людского потока проявляются в том, что в аварийных, а часто и в нормальных условиях движения, головная часть потока уходит с

большей скоростью вперёд и по длине и числу людей возрастает, а замыкающая часть, наоборот, уменьшается. Происходит так называемое переформирование потока за счёт растекания его головной части, поэтому для аварийных условий необходимо обязательно учитывать растекание потока и, следовательно, постепенное изменение его плотности.

Поскольку число людей, составляющих головную и замыкающую части, относительно невелико сравнению с основной массой, рекомендуется принимать поток в форме прямоугольника. Такое упрощение позволяет очень просто оценивать плотность людского потока как отношение количества людей, в нём занимаемой ими площади.

При любом из сравниваемых описаний людского потока сохраняется возможность установить соотношение между параметрами основных характеристик: плотностью, скоростью, пропускной способностью единицы его ширины, между выражениями их зависимостей и влияния на них вида пути при движении по горизонтальной плоскости пола, по лестнице вниз или вверх. Однако различия моделей структуры людского потока, используемых в этих описаниях, не могут не сказаться на используемых характеристиках поведения людей в потоке, а следовательно, не могут не проявиться и в качественных и количественных показателях параметров состоящих из них потоков.

Наиболее наглядно это проявляется в том, что структура людского потока, состоящая из элементарных потоков, не предусматривает возможности выхода человека из элементарного потока для обгона впереди идущих людей. Этот маневр вызовет размещение обгоняющих людей между людьми в соседних элементарных потоках, нарушение ритма их движения. Следовательно, нарушатся и соотношения между частотой и длиной шагов, которые активно используются в этой модели и каким-то образом подсчитываются даже при проведении натуральных наблюдений. Поскольку обследования состояли в определении времени, нужного для прохождения толпой некоторого участка пути заранее измеренной длины, и в подсчёте числа шагов, непосредственно вычислялась скорость движения и число шагов в минуту, а также средняя длина шага.

Естественные сомнения в возможности подсчитать в толпе индивидуальное число шагов составляющих её людей заставляет обратить внимание на методы получения результатов в тех или иных натуральных наблюдениях. Тем более, что модели, более близкие к реальности, требуют учёта тех аспектов, которых не было в более грубых моделях; выявляют характеристики людского потока,

которые не отображались прежней моделью, и, естественно, требуют методов наблюдений, способных регистрировать их параметры в реальном потоке. Так, в модели элементарных потоков даже не ставится вопроса о том, что же будет происходить на границе участков различных видов пути, имеющих одинаковую ширину, но различную минутную пропускную способность элементарных потоков при движении по ним. Например, при переходе людского потока с горизонтального пути на лестницу. Для этого случая, как и подобных ему, не было ни теории, ни эмпирических данных.

Достоверность эмпирических данных определяет состоятельность построенных на них практических выводов и обоснованность теоретических обобщений, ведущих к постижению сущности наблюдаемых явлений и процессов, поэтому методы проведения натуральных наблюдений постоянно совершенствуются на протяжении всей истории исследований людских потоков.

## **2. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОТОКОВ**

### **2.1. Визуальный метод**

В исследованиях людских потоков известны: визуальный метод, методы кинофотосъемки и видеонаблюдений, информационные возможности которых различны.

Цель проведения - установление количественных зависимостей между основными параметрами людских потоков. Поскольку до этого исследованиями Института архитектуры ВАХ на качественном уровне была показана взаимосвязь между плотностью людского потока и его скоростью и пропускной способностью, то ставилась задача провести одновременные замеры значений плотности и соответствующих им значений скорости и пропускной способности с тем, чтобы найти количественное выражение этих зависимостей. Для этого было необходимо:

- выяснить, в какой степени влияет и влияет ли вообще на пропускную способность выходов число, тип и направление эвакуационных путей, подводящих потоки к этим выходам (этим ситуациям соответствуют схемы;
- определить, может ли изменяться при одной и той же плотности потока скорость его движения в случае резкого уменьшения или увеличения ширины пути, изменения направления движения, разветвления и объединения потоков, и в какой мере могут происходить эти изменения.

Варианты планировочных решений эвакуационных путей, весьма распространены в зданиях и поэтому не составляло большого труда найти в них

необходимые опытные участки. Поскольку предполагалось, что на характер движения людских

потоков могут оказывать влияние также и специфические особенности зданий различного назначения, то эти участки выбирались в самых разнообразных зданиях:

- театры, кинотеатры, клубы, концертные залы, цирки, дома культуры, стадионы - 2084 замера;
- школы, техникумы, вузы - 1257 замеров;
- заводы, фабрики - 1059 замеров;
- рынки, крупные магазины, учреждения питания - 890 замеров;
- вокзалы, пристани, станции метрополитена и трамвая - 748 замеров.

Из общего числа 6038 замеров, на измерение пропускной способности приходилось 2303, скорости потока при движении по горизонтальным путям - 2804, по лестнице вниз - 420, по лестнице вверх - 363 замера при одновременных измерениях соответствующих значений плотности потока. Наблюдения проводились в зданиях крупных городов страны, находящихся в различных природно-климатических регионах (Москва, Санкт-Петербург, Нижний Новгород, Екатеринбург, Новосибирск, Харьков, Баку, Тбилиси, Ташкент, Киев, Львов, Донецк, Одесса, Челябинск). В этих городах наблюдения проводили наиболее квалифицированные сотрудники местных органов пожарной охраны. До сегодняшнего дня это самое массовое обследование, проведенное визуальным методом.

В общей сложности было проведено 8055 обследований, в которых приняли участие 164 наблюдателя. Эти исследования показали не только трудоёмкость проведения достаточно большого объема натурных наблюдений визуальным методом, но и на необходимость внимательного контроля соблюдения, казалось бы, простейшей техники их выполнения, которая состоит в следующем.

При измерениях пропускной способности на сложных участках эвакуационных путей (схемы 3-6), когда к проему одновременно двигаются несколько потоков с разных сторон, техника замеров остается прежней, с той лишь разницей, что в этом случае измеряется ширина всех участков пути, подводящих к исследуемому проему.

В исполнении разных исследователей эта простейшая техника замеров имеет некоторые модификации. Например, вместо выбора заметного человека из потока в поток включается второй наблюдатель, который старается двигаться со скоростью окружающих его людей. Этот наблюдатель фиксирует время своего

движения от начала участка наблюдения до его конечной границы. На этой границе стоит другой наблюдатель, который, включив секундомер, одновременно с наблюдателем в потоке считает число людей, прошедших мимо него до момента подхода наблюдателя в потоке. Для того чтобы не было сбоев в счете, когда он ведется наблюдателем «про себя», можно вести счет вслух и записывать его на диктофон. Чтобы не происходило сбоев в счете людей или фиксации времени их движения одним и тем же наблюдателем, эти операции поручаются двум разным наблюдателям (счётчику и хронометристу). Все перечисленные модификации диктуются стремлением повысить точность получаемых результатов.

Разделение функций счётчиков и хронометристов особенно четко было осуществлено при проведении экспериментов на специально построенном манеже. Эксперимент проводился в 1972-1973 гг. под руководством В. А. Копылова для исследования трудно наблюдаемых в натуре аспектов движения людских потоков при высоких плотностях. Состав экспериментальных потоков формировался слушателями Высшей инженерной пожарно-технической школы МВД СССР и служащими частей пожарных подразделений.

Опыт использования визуального метода показал, что он предельно прост, но имеет существенные недостатки:

- зависимость точности замеров параметров людских потоков от подготовленности и субъективных качеств наблюдателя;
- необходимость участия большого количества наблюдателей для получения достаточно представительной совокупности эмпирических данных;
- трудность определения непосредственно в ходе довольно скоротечных наблюдений точного количества людей на опытных участках при их большой ширине или плотностях потока на них более 6 чел./м;
- невозможность зафиксировать и провести анализ кинематики движения потока: последовательных изменений местоположения людей в процессе движения, соответствующих изменений плотности потоков на площади участков, особенностей прохождения проемов при высоких плотностях и индивидуальных реакций людей на происходящие изменения ситуации.

Очевидно, что отмеченные недостатки в значительной мере устраняются, если процесс движения людского потока можно было бы зафиксировать на кино- или видеопленку или какой-то другой носитель и затем проанализировать в камеральных условиях.

## **2.2. Методы кинофотосъёмки и видеонаблюдения**

Метод видеонаблюдения был впервые применен в 1988 г. при исследованиях людских потоков на станциях и пересадочных узлах метрополитена с использованием стационарных систем телевизионного контроля и переносных телевизионных камер. Система телевизионного контроля состоит из телевизионной камеры наблюдения, которая транслирует изображение на монитор, и пульта оператора, при подключении к которому видеоманитора изображение записывается на видеокассету. Видеокассеты затем могут быть просмотрены в камеральных условиях, где изображение с них проецируется на экран телевизора или на специальный экран большого размера.

Для проведения натуральных наблюдений при помощи фото-, кино-или телесъемки (видеонаблюдения) выбирается нужный участок коммуникационного пути и составляется чертеж с указанием всех необходимых размеров его плана. При этом на плане фиксируется и положение всех характерных элементов и точек участка, которые на снимке можно будет использовать как ориентирующие точки. Кино-, фото- или телевизионную камеру рекомендуется устанавливать так, чтобы оптическая ось аппарата была вертикальна к плоскости снимаемого участка (предметная плоскость). Тогда на снимке получается геометрически неискаженный, уменьшенный в определенном масштабе план участка. Для контроля на пол участка может наноситься опорная сетка (наиболее удобный размер 1 x 1 м).

Однако характерной особенностью наблюдений людских потоков является то, что участники потоков загораживают своими телами эту сетку в предметной плоскости. Поэтому сетку приходится поднимать на уровень и выше роста человека, создавая параллельно опорной сетке расчетную масштабную сетку. Она может создаваться различными способами: это и точки - «маяки», устанавливаемые на вертикальных штангах в местах пересечения линий периметра опорной сетки, это и временно закрепленные на этом уровне нити (ленты) или планки (например, они хорошо просматриваются на снимках трансформируемого манежа). Затем устанавливают съемочную камеру и производят съемку участка с масштабной сеткой без людей. Получается контрольный кадр с масштабной сеткой. После этого масштабная сетка демонтируется, если она может помешать движению людей.

Съемка движения людского потока производится при неизменном положении фиксирующей камеры в течение всего времени наблюдения. При использовании кино- или телекамер фиксация перемещения людей ведется непрерывно, при использовании фотоаппарата - дискретно через равные интервалы времени  $\Delta t$ , отмеряемые секундомером. При фотографировании величина этого интервала определяется затратами времени, необходимого на смену кадра, и возможностью соблюсти равенство интервалов съемки. Поэтому величина  $\Delta t$  обычно составляет от 3 до 5 с.

Для передачи изображения, как в кино-, фото-, так и в телевизионной камере используется центральное проецирование. При центральном проецировании изображение предмета на какой-либо поверхности  $P$  осуществляется лучами, сходящимися в одной точке  $S$ , называемой центром проекции. В отличие от центрального, при ортогональном (прямоугольном) проецировании все точки предмета проецируются на горизонтальную плоскость отвесными линиями. Именно так строится план исследуемого участка в проектной документации.

Человеческое зрение является примером центрального проецирования. При рассматривании предмета лучи света, исходящие из его точек, проходят через центр хрусталика и на глазном дне дают обратное изображение предмета, которое физиологически воспринимается человеком как прямое. При фотографировании хрусталику соответствует объектив камеры, а главному дну - фотографическая плоскость (фотопластинка, плёнка, цифровая матрица). Оптический центр объектива служит центром проекции.

Центральному проецированию свойственна перспективность изображения. Это свойство необходимо человеку для его ориентации в пространстве, но вносит значительные трудности сопоставления фототехнически получаемых изображений (снимков) с планом участка, построенного на основе ортогональных проекций. Эти трудности особенно существенны при необходимости установки камеры под углом к предметной плоскости. Например, по снимкам, сделанным в последовательные моменты времени перед входами в общественное здание, проблематично с необходимой точностью «на глаз» определить произошедшие перемещения людей.

В натуральных наблюдениях такая необходимость установки камеры под углом существует практически всегда, поскольку небольшая возможная высота размещения камеры в помещениях зданий и сооружений и её установка под прямым углом не позволяют охватить значительную длину участков движения людских потоков. Расположение же оптической оси камеры под острым углом к

предметной плоскости приводит к изменениям масштаба снимка, к смещениям точек на нем, к искажениям направлений и площадей. Это становится очевидным при построении опорной и расчетной сеток, соответствующих тому же участку пути перед входами в общественное здание.

Поэтому, когда допускается установка фото- или киноаппарата с вертикальной оптической осью не только над центром участка, но и под углом, т. е. с наклонной оптической осью следует весьма ответственно контролировать вызванные этим изменения геометрии изображений. В этих случаях при высоте съемки 4-6 м погрешности в определении параметров людских потоков могут составлять от 15 до 30 %.

Величина изменений геометрии изображений при съемке под углом может быть вычислена по формулам геометрических преобразований. Но многочисленность и сложность необходимых вычислений заставляют практиков искать другие способы учета происходящих трансформации изображений. Таким способом является трансформирование. Трансформированием называется преобразование центральной проекции, полученной при наклонном положении главного луча съемки, в центральную проекцию соответствующую его отвесному положению при установке съёмочной камеры под углом  $90^\circ$ . В аэрофотогеодезии, где эта операция широко применяется, известны способы фотомеханического, оптико-графического и графического трансформирования.

Фотомеханическое трансформирование осуществляется на специальных оптико-механических приборах. Оно распространено при массовом производстве картографической продукции. При меньших объемах производства и ограниченных площадях съемки используется оптико-графическое трансформирование. Оно выполняется при помощи специальных проекторов, перемещаемых не только в вертикальном направлении, но и на нужные углы в двух взаимно перпендикулярных направлениях. При помощи таких перемещений оптическое изображение ориентирующих точек и центральной точки на снимке, заложенном в проектор, совмещается с их положением на основе вычерчиваемого плана или экран-планшета, где они заранее нанесены. При наличии таких мультипроекторов оптико-графическое трансформирование может применяться и для обработки снятых под большим углом снимков людских потоков, однако неизвестен ни один такой случай.

В исследованиях людских потоков сравнительно поздно был освоен способ графического трансформирования, использующий построение так называемых взаимно проективных сеток. Это такие сетки, линии которых проходят через

соответственные точки на снимке и на плане. Затем по сеткам переносят ситуацию со снимка на план.

Применение графического трансформирования, позволило впервые зафиксировать при помощи киносъемки изменения параметров людских потоков. Впервые обширные видеонаблюдения в сложных условиях их организации на станциях и в пересадочных узлах метрополитена были осуществлены И. И. Исаевич. Наблюдения проводились в распределительном зале станций (885 наблюдений), на участках пути перед (2871) и после (999) эскалатора, на платформах станций (505), в кассовых и распределительных залах (301) и перед автоматическими контрольными пунктами (396).

Идея графического трансформирования аналогична копированию рисунка по клеткам. При копировании на рисунок оригинала накладывалась сетка с определенным размером клеток, а на основе будущей копии вычерчивается проективная сетка с таким же количеством более мелких или более крупных клеток (в зависимости от необходимой величины копии). Затем в каждую клетку сетки копии «вписывают» линии, подобные линиям рисунка оригинала, ориентируясь на их расположение относительно сторон соответствующих клеток оригинала.

При обработке натуральных наблюдений людских потоков главным является построение на снимке перспективной расчетной сетки, соответствующей прямоугольной сетке предметной плоскости пола с тем, чтобы идентифицировать действительное положение людей на плане участка пути их движения.

### **2.3. Области применения методов**

Скорость движения людей в потоке при визуальном методе, по значениям которой определяется затем и скорость потока в целом, это - векторная величина, направление которой соответствует общему направлению движения всего потока, т. е. перпендикулярно поперечным сечениям пути. При визуальном методе, определяя скорость по «заметному» человеку, не фиксируют траекторию его движения. Фиксируют только время пересечений им начальной и конечной границ участка пути. Как он перемещался между ними остаётся вне внимания наблюдателей. Поэтому для методической общности следовало бы и при других методах определять значение скорости движения человека в потоке по формуле. Но, как видно из изложения методик, в них определяются

индивидуальные скорости движения людей. При этом скорость движения потока трактуется как случайная скорость движения людей в нём.

Следует обратить внимание также на то, что кинограмма, несмотря на ограниченную протяженность охватываемого ею пути, фиксирует движение наблюдаемых людей по участку постоянной ширины и по участку перед сужением пути, граница которого приблизительно совпадает с первоначальным расположением участников 1 и 4. Видно, что направления их индивидуального движения явно определяются сужением пути. Естественно, что на этом участке происходит дополнительное уплотнение потока и соответствующее снижение скорости движения людей в нём. Свидетельством этого являются значительно меньшие значения скоростей движения этих двух участников, чем двух других (2 и 3). Выбор этого примера построения кинограммы производился специально для того, чтобы подчеркнуть необходимость внимательного отношения к определению границ анализируемых участков движения людских потоков и к определению значений плотностей, при которых устанавливаются скорости движения наблюдаемых людей. Совершенно очевидно, что несоблюдение такой требуемой «чистоты» в получении исходных данных натуральных наблюдений и экспериментов приведет затем к погрешностям результатов, получаемых на их основе.

Сопоставление визуального метода наблюдений с методами кино- и видеонаблюдений показывает несомненное информационное и техническое преимущество последних. Однако очевидная оперативная простота и приспособляемость к неудобным ситуациям наблюдений часто делают визуальный метод незаменимым.

К визуальному методу пришлось прибегнуть и в 2005 г. при определении пропускной способности турникетов, установленных в подземном переходе с платформ пригородного сообщения Ярославского вокзала г. Москвы на станцию метрополитена Комсомольская.

Подобная ситуация сложилась и при проведении необъявленных эвакуации посетителей торговых центров фирмы Marks and Spenser в Северной Ирландии. Для сопоставления значений скоростей движения посетителей торговых центров Северной Ирландии со значениями ранее полученных скоростей движения людей в крупных магазинах России, пришлось провести дополнительные визуальные наблюдения. Следует заметить, что в рамках исследования процесса эвакуации из крупных торговых комплексов, значительное внимание уделялось

анализу поведения персонала и посетителей при пожаре. В таком случае предъявляются менее жесткие требования к проведению видеонаблюдений и обработки результатов.

Современные методы видеомонтажа на компьютерах дают возможность получить видеозапись движения людей по исследуемому участку с наложенной на изображение сеткой, позволяющей снимать значения исследуемых параметров людского потока с учётом неизбежных перспективных искажений.

Казалось бы, дополнительная информация, которую дают методы кино-, фото- и видеонаблюдений о перемещениях и изменениях индивидуальных направлений движения людей в потоке, является излишней. На самом деле, она необходима для понимания кинематики структуры потока, поведения людей в потоке, моделирования потока на основе имитации индивидуальных перемещений людей в нем.

При любом многообразии возможных методов и их возрастающих технических возможностей тщательность подготовки натуральных наблюдений или экспериментов и добросовестность исследователей всегда остаются основным залогом достоверности получаемых эмпирических данных и корректности их последующей обработки.

### **3. УЧЕТ УСЛОВИЙ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ В ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЯХ**

#### **3.1. Задачи статистического изучения**

Статистика в настоящее время понимается как наука, изучающая количественные соотношения и зависимости в массовых явлениях. Статистическое изучение тех или иных явлений предусматривает последовательный ряд этапов:

- статистическое наблюдение;
- обработка статистических данных;
- выявление статистических зависимостей.

Некоторые уважаемые авторы публикаций по статистике распространяют статистическое изучение на установление «различных закономерностей» и на «всесторонний качественный анализ изучаемых явлений и процессов». Имея это в виду, уточним, все-таки, следующее.

Закономерность природы - это объективно существующая устойчивая причинно обусловленная связь между явлениями или свойствами материального мира. Поэтому её установление подразумевает не только выявление некоторой

связанности между наблюдаемыми свойствами явлений, но и выяснение «механизмов сцепления» между ними. Выяснение этих механизмов базируется на понимании того, в чём состоит причина и сущность наблюдаемого феномена взаимосвязи и формирования её вида, на понимании того, как и чем обуславливается именно та форма его проявления, в которой он предстаёт перед исследователем в различных ситуациях многочисленных воздействий природного или социального окружения.

Не всегда удаётся наблюдать одновременно и причину и её следствие. Может статься, что причина вызывает одновременно несколько порождаемых ею следствий - наблюдаемых свойств предмета или явлений, которые под воздействием общей причины изменяются, так сказать, параллельно. Этот параллелизм изменения наблюдаемых признаков, безусловно, будет восприниматься как их взаимосвязанность, корреляция между ними. Но это ложная корреляция, поскольку ни один из них не является причиной изменений другого. Изменения этих признаков связаны через общую причину, а не непосредственно. Вполне возможно, что только взаимные изменения и именно в тех пропорциях, в которых они наблюдаются, могут стать причиной формирования нового свойства или явления. Тогда взаимные изменения признаков и будут причиной этих «вторичных» свойств и явлений, но это отнюдь не порождает причинно-следственных отношений непосредственно между ними. Если изменится одно из них или вовсе ликвидируется, то это не повлияет на изменения другого, поскольку его причина и механизм её влияния остались неизменными. Поэтому на установлении именно причинно обусловленных существенных связей основывается регистрация неизвестных ранее закономерностей (законов) природы и общества.

При регистрации открытий, установление какого-либо неизвестного ранее явления (процесса, связи, зависимости) без вскрытия его сущности рассматривается как научный факт, который, однако, не может составить научное открытие. Явление - это объективно существующая форма проявления сущности, и не может быть явления, которое не заключало бы в себе никакой информации о сущности. Но только в результате раскрытия сущности явления возможно перейти от констатации факта его наблюдения к пониманию его причинности и обусловленности. При этом вводится принципиальное различие между понятиями «связь» и «отношения». Связь имеет некое энергетическое обеспечение между элементами системы. Отношения же между элементами не

имеют такой энергетической обусловленности. Поэтому связи обеспечивают целостность системы элементов, отношения же никак не характеризуют целостность системы и могут выражать соотношения между элементами как внутри рассматриваемой системы, так и их соотношения с элементами других систем. Связи существуют вне зависимости от сознания человека, т. е. объективно. Отношения же могут быть и умозрительно созданными конструкциями, например, графическими или знаковыми.

К сожалению, не в каждом учебнике по статистике указывается, что статистической называется такая зависимость, при которой изменение значения одной из величин влечёт изменение распределения значений другой. Если статистическая зависимость проявляется в том, что при изменении одной из величин изменяется среднее значение другой, то такая статистическая зависимость называется корреляционной. Но наличие корреляции между двумя событиями не свидетельствует о причинно-следственной связи между ними. Это положение - прописная истина для специалистов по математической статистике, но оно совершенно непонятно для человека, математическое мышление которого сформировано детерминизмом школьной классической математики. Он видит, что в математической статистике используются те же, знакомые ему со школы, уравнения зависимости  $Y$  от  $X$ , в которых  $X$  - аргумент (причина), а  $Y$  - функция (следствие), и механизм их взаимосвязи (сцепления) определяется видом уравнения, в котором они записаны. Только в математической статистике эти уравнения называются уравнениями регрессии, а в школе их называли алгебраическими, тригонометрическими и т. п. Его не приучили думать о смысле величин, которые обозначены знаками  $X$  и  $Y$ , и сущности соотношений, в которых они ему представлены.

Математические методы дают возможность только оценить, насколько удачно выбрана та или иная форма описания наблюдаемой зависимости в виде математической модели, но ни в коей мере не «автоматизирует» процесс этого выбора. Установление причинно-следственных отношений, определяемых природой изучаемого аспекта материального мира, является задачей соответствующего комплекса естественных наук, которые располагают для этого необходимыми знаниями и методами. Их не могут подменить ни описательная, ни математическая статистика. Но когда эти закономерности реализуются через массовые проявления, подверженные влиянию разнообразных случайных воздействий, искажающих в той или иной мере эти

закономерности, «пробивающиеся» через случайность, тогда статистика становится компасом, указывая на наличие определенной зависимости между объектами и свойствами материального мира. Статистика способна придать качественно новое «звучание» этим затушеванным случайностью зависимостям. Но это ещё не закономерности, а указание на то, что их необходимо установить. Попытка приписать им эквивалентность закономерностям оказывается типичной ошибкой исследователей предметных областей науки. На неё указал ещё Г. Кимбл: «Наиболее часто встречающиеся при интерпретации регрессионных уравнений ошибки связаны с попытками приписать феномену регрессии несвойственный ему причинно-следственный характер. Подобный образ мышления - типичный пример совершения регрессионной ошибки: явлению, имеющему статистическую природу, даётся объяснение, носящее причинно-следственный характер». Пока это только эмпирические, т. е. выявленные по опытным данным, зависимости.

Людской поток — типичный представитель случайных (стохастических) процессов. Значения скорости движения любого человека в потоке зависит от многих факторов. Характер влияния некоторых из них, например, плотности потока и вида пути, был наглядно продемонстрирован ещё в начале становления научных исследований. Влияние других, например, физических возможностей и психологического настроения интуитивно было достаточно очевидно, хотя и потребовало длительных поисков объективного выражения. Поэтому очевидно, что скорость движения человека, а тем более потока, состоящего из многих людей, - всегда величина, которая может принять какое-то неизвестное заранее значение, т. е. случайная.

Поскольку скорость людского потока рассматривается как функция его плотности, то часто упускается из вида, что и плотность людского потока в процессе его движения также является случайной величиной. В натуральных наблюдениях только фиксируется, но не предопределяется то или иное её значение.

Так существуют ли закономерности в изменениях параметров людского потока и двигающихся в его составе людей? Или наблюдаемые корреляционные зависимости между ними и допустимо считать этими закономерности выясняя причинно-следственных отношений между ними? Эти вопросы отражают принципиальные позиции исследователей в теории людских потоков, а потому направление её развития. Смещение понятий «закономерность» и «зависимость» затушёвывают принципиальные различия между эмпиризмом и теорией науки.

В исследованиях людских потоков оно было преодолено только благодаря сильнейшему воздействию потребностей практики.

Казалось бы, обсуждаемые вопросы относятся к третьему этапу статистического изучения, но, оказывается, их недопонимание может сказаться и на интерпретации, и на организации результатов первых двух этапов. Эти два этапа отнесены к первичной статистической обработке данных натуральных наблюдений. В настоящее время имеется масса учебников по технике статистических вычислений, а компьютерные программы автоматизируют их настолько, что кажется и непосвященные люди, умеющие только работать с компьютерной программой, могут произвести необходимые статистические вычисления. Поэтому в этом разделе и не ставится задача повторить учебный материал техники математической статистики. Здесь хотелось обратить внимание на те аспекты применения статистики, в решении которых при исследованиях людских потоков были допущены в свое время те или иные упущения и, следовательно, имеется опасение их повторения. Не будем вдаваться в причины этих упущений, но некоторые из них настолько очевидны, что о них нельзя не сказать хотя бы несколько слов.

Первая причина состоит, по-видимому, в слишком медленном проникновении содержательного понимания идей и методологии статистических вычислений в среду исследователей людских потоков. Об этом свидетельствуют следующие факты. В публикациях С. В. Беляева не приводятся статистические данные натуральных наблюдений, выполненных его коллективом. Лишь некоторые из полученных значений присутствуют на приведённых им графиках. Способ определения для нормирования расчётных значений скоростей движения (на 1 м/мин ниже минимально наблюдаемых) говорит о том, что исследователи не были знакомы не только с теорией распределения крайних членов выборки, но и со статистическими характеристиками распределений случайных величин. Иначе невозможно найти объяснения столь наивному способу решения такой задачи.

Впервые данные натуральных наблюдений в виде статистических таблиц обнаруживаются в отчёте по научно-исследовательской работе кафедры архитектуры промышленных и гражданских зданий МИСИ. В последующих диссертационных работах они присутствуют регулярно. Однако в статьях, публикуемых в широкой печати как у нас в стране, так и за рубежом, приводятся, как правило, только итоговые результаты проведённых наблюдений. Статистические данные, послужившие для них основанием, остаются в авторских архивах, которые чаще всего недоступны другим ис-

следователям, тем более по прошествии ряда лет. По понятным причинам это относится, прежде всего, к зарубежным публикациям. Поэтому в нашей стране формируется своя статистическая база данных натуральных наблюдений людских потоков.

Следует также учитывать, что авторы публикаций склонны расширять сферу полученных ими результатов, трактуя соотношения как зависимости, зависимости как закономерности, частное как общее. Хотелось бы избежать таких непреднамеренных ошибок. Их истоки часто появляются, как показывает опыт исследований людских потоков, а также других, более обширных, областей знаний, на первых же этапах статистического изучения. Такому положению, как ни странно, способствует методика преподавания теории вероятностей и математической статистики в технических вузах. Эти дисциплины оперируют величинами, методике получения которых не уделяется должного внимания.

### **3.2. Виды статистических наблюдений**

Статистическое наблюдение состоит, прежде всего, в сборе сведений, регистрации интересующих исследователя фактов, относящихся к каждой единице наблюдаемой совокупности. По времени регистрации в статистике различают текущее (непрерывное) и прерывное наблюдения. В свою очередь прерывное наблюдение может проводиться единовременно (от случая к случаю) или периодически (через определенные равные интервалы времени). С точки зрения времени регистрации, наблюдения людских потоков относятся к прерывным единовременным наблюдениям, выполняющим, в буквальном смысле слова, роль моментальной фотографии состояния изучаемого процесса в определенный период времени, на определенную дату, в определенном месте.

Статистическое наблюдение может распространяться на все единицы изучаемой совокупности объектов (сплошное наблюдение) или только на часть её объектов (частичное наблюдение). Наблюдения людских потоков являются типичным примером частичного статистического наблюдения, поскольку сплошное наблюдение пешеходного движения всех людей невозможно выполнить просто физически. Существуют следующие виды несплошного наблюдения: наблюдения основного массива, анкетное, монографическое, выборочное.

Наблюдение основного массива состоит в исключении из общей совокупности трудно наблюдаемых и малозначимых объектов. Очевидно, что для этого необходимо знать заранее состав совокупности и оценить значимость

составляющих её единиц. Для исследований людских потоков этот вид наблюдений не характерен, поскольку всегда стремятся к наиболее полному учёту состава потока в наблюдаемом виде здания.

Монографическое наблюдение - это тщательное изучение одной единицы некоторой совокупности с целью получения более подробной информации обо всех её объектах или, наоборот, для выявления особенностей подобных единиц совокупности. К этому виду можно отнести наблюдения с целью определения средних скоростей при свободном движении половозрастных или профессиональных групп, например, мужчин или женщин, школьников и студентов. Такие данные, полученные для ограниченного диапазона плотностей, имеют, несмотря на их количественное выражение, лишь некий качественный эффект.

Анкетное наблюдение состоит в сборе ответов определенного круга лиц на интересующие исследователей вопросы. Специально составленные анкеты с этими вопросами рассылаются или раздаются опрашиваемым людям, которые собственноручно заполняют анкеты и возвращают их исследователям. Разновидностью этого вида наблюдений является интервьюирование (опрос), когда исследователи знакомят (письменно или устно) опрашиваемых людей с интересующими вопросами и сами записывают их ответы. При этом возможно уточнение задаваемых вопросов, если они недостаточно понятны респондентам. Об этом можно судить по их уточняющим вопросам или по неполноте их ответов на поставленные вопросы. Такие методы наблюдений неприменимы, естественно, для фиксации параметров движения людей в потоке, но они могут быть использованы для выяснения, например, личных ощущений людей при тех или иных значениях плотности потока. Наиболее широко анкетирование и интервьюирование было использовано для выяснения первых действий людей после получения сигнала о пожаре и для оценки рациональности поведения персонала при организации эвакуации. Такие данные важны не только сами по себе, но и дают возможность судить о психологическом состоянии эвакуируемых людей, что и было использовано при разработке расчетных зависимостей между параметрами людских потоков для нормирования.

Выборочное наблюдение - это наблюдение части общей совокупности объектов, отбираемой случайным образом, с целью регистрации всех интересующих показателей, распространяемых затем на всю совокупность. Важнейшим требованием является репрезентативность исследуемой выборки, т. е. её

представительность, с тем, чтобы показатели выборочного наблюдения были близки по своим значениям к показателям общей совокупности при сплошном наблюдении. Репрезентативность отбора зависит, в первую очередь, от объема и однородности как всей совокупности, так и произведенной выборки из неё. Выборочный метод всесторонне теоретически обоснован. Он позволяет оценить возможные расхождения между значениями показателей выборочного и сплошного наблюдения. Это основной вид статистического наблюдения людских потоков.

Организация наблюдения людских потоков, как и организация любого статистического наблюдения, является весьма сложным делом. Проведенное наблюдение должно обеспечивать полноту получаемых сведений, их достоверность и единообразие. Поэтому статистическое наблюдение должно производиться по заранее разработанному плану, предусматривающему решение методологических и организационных вопросов.

Методологические вопросы наблюдений включают определение цели, объекта и единицы наблюдения, разработку программы наблюдения.

При планировании любого статистического наблюдения должна быть сформулирована конкретная цель данного конкретного исследования, которая определяет его конкретные задачи и сведения, фиксируемые в процессе наблюдения. Для аналогичных исследований, проводимых в разное время, цель может видоизменяться.

Целью явилось установление закономерностей движения людских потоков при вынужденной эвакуации. Определяются следующие задачи:

1. Определение скорости движения по горизонтальным участкам при наличии и отсутствии сужений.
2. Определение скорости движения по лестницам.
3. Определение интенсивности движения и пропускной способности проемов и лестниц в зависимости от планировки путей эвакуации, различного соотношения ширины подводящего потока к ширине проёма и различных размеров дверей.
4. Проведение обмеров участков движения и установление физического предела плотности людского потока.
5. Уточнение коэффициента условий движения, полученного профессором В. М. Предтеченским теоретически.

Одновременно при определении цели наблюдения частично или полностью устанавливается и объект наблюдения - определенная совокупность отдельных

частей, элементов, единиц, характеристики которых и позволяют изучить объект в целом. Иначе можно сказать, что единицей наблюдения является тот элемент объекта наблюдения, который характеризуется рядом признаков и относительно которого ведется регистрация этих признаков. Такой единицей наблюдений в исследованиях людских потоков всегда является участник потока — человек. Он рассматривается как элемент системы, когда людской поток моделируется в виде сложной системы. Это настолько общепонятно, что в формулировке цели и задач исследований, предназначенной для специалистов, единица наблюдения часто не оговаривается. Так, например, при формулировке В. А. Копыловым задачи исследования «Определение скорости движения по лестницам» опускается указание единицы наблюдения - «скорости движения людей». Совершенно не обязательно, чтобы объект или единицы наблюдения указывались непосредственно при формулировке цели и задач исследования, но они должны четко оговариваться при их дальнейшем разъяснении, поскольку они позволяют формализовать границы исследований и определить, что или кто и с какой точки зрения должен быть обследован в процессе наблюдения.

После определения единиц наблюдения устанавливается перечень тех признаков, которыми каждая из них должна быть охарактеризована. Признаки могут быть количественные и качественные. При статистическом наблюдении регистрируется наличие тех или иных качественных признаков и величина количественного признака. Но таких признаков может быть множество. Это особенно характерно для такого многоаспектного процесса, как людской поток. Поэтому важно выбрать те признаки и поставить те вопросы, которые помогут наиболее полно решить задачи, необходимые для достижения намеченной цели статистического наблюдения.

Перечень признаков, градации их количественных показателей и количественные характеристики вносятся в заранее разработанные статистические формуляры, которые могут иметь различные наименования: список, протокол, анкета, форма и т. п.

При планировании статистического наблюдения важно заранее продумать организационные вопросы: исполнители, место, время, форма и способы наблюдения. Для проведения натуральных наблюдений людских потоков необходимо предварительное согласование с владельцами мест их проведения, службами их эксплуатации и органов охраны общественного порядка. Недостаточная проработка этих мероприятий может надолго задержать выполнение наблюдений или сорвать их вообще.

Следует также учитывать, что любое, даже тщательно подготовленное наблюдение может сопровождаться непреднамеренными или преднамеренными случайными и систематическими ошибками.

Случайные ошибки возникают, как правило, по вине наблюдателей -из-за их невнимательности, описок, неточности измерений. Они могут сказываться и на преувеличении, и преуменьшении значений и, в этом смысле, взаимно погашаются. Непреднамеренные систематические ошибки могут возникать за счет неточностей измерительных приборов, искажений изображений, ликвидации которых, как было показано, в натуральных наблюдениях людских потоков уделяется большое внимание.

С другим типом непреднамеренных ошибок можно столкнуться при проведении анкетирования участников наблюдаемых событий. Дело в том, что, как показали специальные исследования, опрос, проведенный спустя несколько часов после происшествия, снижает достоверность данных до 30-35 % с 80-90 % при опросе сразу же после события. Этот эффект следует учитывать при организации анкетного сбора данных с целью выяснения качественных показателей наблюдаемых событий, например, оценки участником эвакуации условий движения, динамики опасных факторов чрезвычайной ситуации или первых действий при их обнаружении. Причины такого эффекта искажения кроются в психике человека. Единственным способом борьбы с ним может быть своевременность опроса. Следует заметить, что техника получения достоверных данных при опросе весьма непростая и требует участия или консультации специалиста.

### **3.3. Систематизация данных**

Систематизация предполагает, прежде всего, классификацию собранных данных, их группировку. Как и любая классификация, группировка производится по классификационным признакам. Эти признаки должны быть определены ещё до сбора статистических данных, т. е. одновременно с разработкой плана и программы статистического наблюдения. Группировка данных с вычислением соответствующих показателей называется в статистике сводкой и является итогом второго этапа статистического исследования. Но уже на первом этапе его проведения должно быть продумано, какие группы и подгруппы будут выделены в изучаемой совокупности, какие показатели этих групп должны быть подсчитаны и в какой форме будет представлен результат сводки данных. Такая проработка позволяет наиболее рационально организовать

как первый, так и второй этап любого статистического исследования, и наблюдения людских потоков не являются исключением.

Цель сводки состоит в сведении данных статистического наблюдения единиц совокупности в группы по анализируемому признаку и в описании этих групп определенными обобщающими статистическими показателями, характеризующими общие свойства единиц группы и их совокупность в целом. Группировка эмпирических данных является центральным пунктом программы сводки. После группировки материал наблюдения принимает систематизированный характер.

Признаки, по которым группируются эмпирические данные, могут быть качественными или количественными. Качественные признаки выявляют общность свойств единиц наблюдения, объединяемых в группу, и распределение всей совокупности наблюдаемых единиц по установленным группам. Группировки, организованные по качественным признакам, называются атрибутивными рядами распределения. Качественные признаки не имеют количественного выражения и описываются словесно, например, участники людского потока могут описываться по половому признаку: мужчины, женщины; по видам инвалидности: с нарушением опорно-двигательного аппарата, слепые, с психическими нарушениями и т. п. Атрибутивные ряды описывают качественную структуру наблюдаемой совокупности единиц. В натуральных наблюдениях людских потоков после исследований С. В. Беляева группировка данных по атрибутивным признакам - первый шаг их систематизации во всех исследованиях. Это - их распределение по видам пути: горизонтальный, лестница вниз, лестница вверх, пандус, проём.

Группировки данных на основе количественных признаков называются вариационными рядами. Они могут быть дискретными (прерывными) и непрерывными. Значения (варианты) количественных признаков отличаются друг от друга по величине, которая может быть измерена. Варианты дискретного признака отличаются друг от друга на некоторую конкретную величину, а варианты непрерывного признака - на сколь угодно малую величину и в границах варьирования признака могут принимать любое значение. В статистике непрерывные вариационные ряды представляют в виде интервальных вариационных рядов. Для этого весь возможный или зафиксированный диапазон измерений признака подразделяют на равные интервалы и подсчитывают число наблюдений и, со значениями, попавшими в каждый из установленных интервалов.

Наиболее простым примером вторичной группировки является укрупнение интервалов, кратное начальным интервалам. В этом случае всё просто: в укрупнённый интервал попадут все данные вошедших в него первоначальных интервалов. Гораздо сложнее обстоит дело, когда приходится дробить первоначальные интервалы. В этом случае дробление данных, находящихся в первоначальном интервале, на части пропорциональные частям, на которые он делится, можно признать корректным только в том случае, если эти данные распределены равномерно по всей длине первоначального интервала. Однако такое механическое деление может привести к ошибкам вторичной группировки, если распределение данных внутри первоначального интервала отличается от равномерного. Чтобы их избежать, следует использовать закономерности действительного распределения значений исследуемых величин в разделяемых интервалах.

Другой пример вторичной группировки представляет объединение двух или более серий наблюдений одного и того же явления, проводимых в разное время и в различных условиях. Такое объединение данных производится, обычно, в целях увеличения совокупности анализируемых данных для повышения надёжности характеристик явления, определяемых на их основе. Однако для объединения совокупностей требуется их однородность. Качественная однородность статистических данных - основное требование статистической методологии, поскольку его нарушение делает вычисление сводных обобщающих характеристик операцией, не имеющей смысла. Для принятия гипотезы об однородности выборочных совокупностей наблюдений рассматриваемого признака в математической статистике разработаны методы, основывающиеся на оценке значимости или незначительности отличий их статистических характеристик.

Причиной неоднородности может быть наличие неизвестного исследователю фактора, влияющего на формирование данных объединяемых совокупностей. Именно такая ошибка была обнаружена при анализе методики, используемой для установления зависимости скорости людского потока от его плотности для движения по горизонтальному пути. Оказывается, для этого были объединены в общие совокупности значения скоростей движения в каждом интервале плотности, полученные при проведении натуральных наблюдений в зданиях различного назначения. Но во время проведения натуральных наблюдений в этих зданиях уровень эмоционального состояния людей (условия движения), также влияющий на скорость их движения, в различных сериях натуральных наблюдений,

по-видимому, значительно различался, предопределяя неоднородность полученных совокупностей данных. Контроль уровня эмоционального состояния людей был невозможен, а способ устранения его влияния при установлении искомой зависимости тогда не был найден. Методы же статистической проверки статистических гипотез (в данном случае - гипотезы об однородности выборок) исследователям, по-видимому, были неизвестны.

Разделяя наблюдаемую совокупность единиц на группы, при помощи группировок можно выявить структуру совокупности, выделить основные типы и формы наблюдаемого явления, установить наличие или отсутствие связей и взаимосвязей в анализируемом явлении. Соответствующие группировки статистических данных называют структурными, типологическими и аналитическими. Эти группировки строят по одному или нескольким признакам, т. е. они могут быть простыми или комбинированными.

В качестве примера ниже приведены группировки данных, которые могли бы быть построены по результатам натурных наблюдений, проведённых под руководством А. И. Милинского.

Описание структуры проведённых наблюдений будет представлено ещё более подробно, если в подлежащее ввести ещё один признак - вид пути. Тогда число, стоящее в каждой ячейке этой таблицы, разобьётся ещё на четыре слагаемых. Очевидно, что такие группировки данных являются комбинационными.

Группировки, при помощи которых выявляется взаимосвязь между явлениями, называются аналитическими. При построении таких группировок одни показатели рассматриваются как факторы, другие - как результат их влияния, функции. Для того чтобы при помощи группировки выявить зависимость между показателями, необходимо, прежде всего, разгруппировать единицы совокупности по факторным признакам, для каждой выделенной группы рассчитать средние значения результирующего показателя, затем проследить за их изменениями от группы к группе.

В исследованиях людских потоков основной зависимой переменной является скорость потока. Группы значений скорости, соответствующие интервалам основного факторного признака - плотности потока, образуют выборочные совокупности значений скорости в установленных интервалах плотности. Влияние такого фактора, как вид пути, учитывается тем, что для каждого из них проводятся свои серии наблюдений, по результатам которых ищутся свои зависимости скорости от плотности потока. Влияние же такого фактора, как эмоциональное состояние людей, составляющих поток, пытаются учесть

косвенно, связывая его с функциональной эксплуатацией здания и вводя для этого весьма неопределенное понятие «условия движения». Однако, для сопоставления всей совокупности данных проведенных серий натуральных наблюдений возникает необходимость свести их в общую статистическую таблицу, комбинируя в ней все перечисленные факторы.

Анализируя динамику случайных процессов и приспособлявая к расчётам её параметров привычные математические соотношения и операции, необходимо постоянно контролировать корректность того огрубления характеристик реального процесса, которое допускается для упрощения его описания в виде привычных соотношений математического детерминизма. Приведённый пример - не единственный случай парадоксов, происходящих из-за допускаемой некорректности. Классической иллюстрацией тому является представление результатов натуральных наблюдений людских потоков, полученных в процессе первичной обработки данных натуральных наблюдений.

Для обеспечения безопасности людей, их эвакуация должна быть не только своевременной, но и беспрепятственной, без образования скоплений людей на границах смежных участков пути с плотностями большими, чем при возможной максимальной интенсивности движения. Иначе давление людей друг на друга достигает величин, приводящих к компрессионной асфиксии. Возникновение скоплений с максимальной плотностью размещения людей само по себе, без воздействия ОФП, является чрезвычайной ситуацией. Игнорирование вероятности возникновения таких ситуаций - это, прежде всего, незнание или непонимание результатов натуральных наблюдений, и, как следствие, очевидное введение в заблуждение людей относительно риска их нахождения в здании при возникновении в нем чрезвычайных ситуаций.

#### **4. ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ В ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЯХ**

Положения о сооружении лифтовых устройств для европейских стран закреплены как в законодательстве ЕС, так и в национальных законодательствах; для неевропейских стран действует только местное законодательство.

Законодательство ЕС:

- Положения 95/16/ЕС Европарламента;
- Положения 89/392/ЕС Европарламента;
- Идентификационные положения СЕ 93/68/EWG;

- Правила безопасности для сооружения и монтажа лифтов EN81;
- Электрический лифт EN81-1;
- Обычные системы управления.

Национальное законодательство:

- СНИПы и положения о сооружении высотных строений;
- Положения уполномоченных пожарных служб.

#### **4.1. Пассажирские лифты**

Необходимо дифференцировать лифты в высотных жилых домах, в обычных офисных зданиях, в «малых» офисных зданиях и «высоких» офисных зданиях. Разница в месте применения диктует требования для архитекторов, конструкторов и проектировщиков лифтов. Лифты высотных домов должны иметь мощность, отвечающую их специфике. Дело конструкторов лифтового хозяйства - определить необходимую мощность и подсчитать количество лифтов с учетом времени ожидания их подачи. В зависимости от ожидаемого использования требования к лифтам следует четко определить заранее. После этого уже можно перейти к расчету детального плана монтажа лифтов и необходимого графика их движения.

#### **4.2. Расчет графика движения пассажирских лифтов.**

В основе расчета графика движения лифтов лежат следующие параметры: для офисного здания - (планируемая) площадь офисов, для гостиниц - число номеров, для жилых домов - число и размер квартир. Площадь под офисами, число гостиничных номеров или квартир определяется по каждому этажу. Число и высота этажей также должны быть известны.

##### **4.2.1. Определение числа пассажиров**

Число людей на каждом этаже определяется по полезной площади. В соответствующей литературе приведены следующие показатели:

- офисное здание, занимаемое одной организацией - 8-10 кв. м на чел.;
- офисное здание, занимаемое многими организациями - 10-12 кв.м на чел.;
- жилые дома и гостиницы - 1,5-1,9 чел. на комнату.

С небольшим отклонением от вышеуказанного рекомендуются следующие параметры:

- жилые дома - 13 кв. м на чел.;
- гостиницы - 1,5-1,7 чел. на двухместный номер или 1 чел. на одноместный;

- жилые дома, в зависимости от размеров квартир - от 1,2 до 3 чел. на квартиру.

Данные показатели применимы для доростоящих зданий в Западной Европе, США и Канаде. Хотя вышеуказанные показатели определяют среднее число обитателей на каждом этаже и во всем здании в целом, реальные показатели могут отличаться значительно.

#### **4.2.2. Определение требуемой мощности по подъему**

Общая цифра, формируемая на основе средних показателей числа людей на этаже, используется для определения необходимой транспортировочной мощности каждой группы лифтов во время часа пик. Расчет графика движения ведется именно из показателей этого периода, поскольку потребность для этого времени поддается стандартизации и сравнению. Однако час пик не для всех типов зданий является критическим периодом. Оценка критического графика вне часа пик производится путем выбора конкретного процентного отношения в 5-минутной мощности по подъему (НС<sub>5</sub>).

#### **4.2.3. Среднее время ожидания или средняя продолжительность интервала**

В Германии среднее время ожидания обычно определяется устанавливаемой пропускной способностью лифта, тогда как в Америке - продолжительностью интервала времени ожидания (его соответствие нормативу). Это время означает продолжительность периода ожидания между пробегом двух лифтов в главном вестибюле во время утренних часов пик. Среднее время ожидания (интервал) - это показатель, используемый для определения эффективности лифтовой системы. В специальной литературе приведены следующие показатели интервалов:

Барни и Сантос, 1977:

- престижные офисные здания - 20-20,5 с;
- прочие здания - 25-30 с;
- жилые здания и гостиницы - 40-100 с.

Средний интервал в офисном здании определяется следующим образом:

<b>Средние интервалы, с</b>	<b>Оценка</b>
20—25,5	Очень хорошо
25—30	Хорошо
30—35	Удовлетворительно

35—40

Адекватно

Более 40

Неудовлетворительно

Время ожидания, безусловно, чувствуется и переносится лучше, когда помещение ожидания имеет улучшенную отделку и дизайн. Доступность показателя времени ожидания здесь также является положительным фактором.

#### **4.2.4. Вместимость кабины**

Площадь кабины рассчитывается, исходя из числа пассажиров, подлежащих перевозке одним рейсом с использованием мощности по подъему и при хорошем среднем показателе времени ожидания. Чистая площадь на одного пассажира желательна в размере 0,22 кв. м. Предпочтительны также лифты с высокими потолками, так как в них пассажиры лучше переносят давку, чем в лифтах с низкими потолками.

#### **4.2.5. Затраты времени на остановку.**

Затраты времени на остановку - это время поездки с этажа А на этаж Б без промежуточных остановок и с этажа Б на этаж А с одной промежуточной остановкой, плюс определенное время на открывание дверей. Термин Затраты времени на остановку придуман для выработки подходящей оценки качества, которая бы легко проверялась и годилась для расчета графика определения и утверждения качественного показателя работы лифта. Затраты можно быстро определить для каждого лифта, действуя секундомером. При расчете графика для высотных домов усовершенствованная лифтовая технология является основным предварительным условием минимизации и числа лифтов, и объема лифтовой шахты. При наличии эффективных приводов и системы управления ими, высококлассных открывающихся из центра раздвижных дверей шириной 1,1 м можно достичь величину затрат между 8,5 и 10,5 с, в зависимости от скорости лифта. Эти показатели включают время открывания дверей («время использования») в течение 2 с.

#### **4.2.6. Скорость**

Скорость лифта в высотном доме зависит от высоты подъема и выбирается на основе расчетов графиков движения лифта. Высокие скорости себя оправдывают только при больших расстояниях между остановками, так как в этом случае достигается повышенная средняя скорость. Экономия же времени даже при максимальных скоростях достаточно мала.

Самый быстрый лифт в офисном здании в Германии установлен на Потсда-мер-Плац в Берлине. Лифт доставляет пассажиров на смотровую площадку и максимальная скорость 8,5 м/с в течение одной секунды достигается при движении вверх. Пределы скоростей и ускорений, на самом деле, устанавливаются не техникой, а пассажирами. Большинство людей болезненно воспринимает слишком большие ускорения. Это результат перепада давления. Скоростные лифты требуют установки в шахте сложного оборудования для приводного механизма, особой конструкции кабины и противовеса, буферов и шкивов натяжения. За этим следуют дорогостоящие мероприятия по звукоизоляции. Кроме всего прочего, такие лифты весьма энергоемки.

### **4.3. Пожарные лифты**

Согласно национальному законодательству пожарные лифты подлежат установке в новых высотных домах сверх определенной нормы высоты. Эта норма в Европе в зависимости от страны колеблется от 18 до 30 м. В России она 28 м, в Японии — 31 м, в Австралии - 25 м, в Канаде -18м для жилых и 36 м для остальных зданий. В США все лифты пожарные.

Главная задача пожарного лифта, это помочь пожарным добраться до пожара. Если главный пожарный сочтет это возможным, пожарные лифты могут использоваться для спасательных операций. Таким образом, пожарные лифты здесь уже стали нормой и используются для транспортировки пассажиров и грузов.

Требования к пожарным лифтам установлены EN81-72, являющимися дополнением к EN81-1 и EN82-2. Лифты должны находиться в отдельной пожаробезопасной шахте.

Лифтовые площадки должны быть достаточного размера для того, чтобы можно было вынести носилки, а двери лифта после этого закрылись.

Кабины пожарных лифтов должны быть не менее 1,1 м шириной и не менее 1,4 м глубиной с входными дверями не менее 800 мм шириной. Минимальная грузоподъемность - 630 кг.

Если пожарные лифты специально предназначены для эвакуации и размещения носилок (или вход в кабину имеется с обеих сторон), ширина последней должна быть не менее 1,1 м, а ширина - не менее 2,1 м при ширине дверей не менее 900 мм. Минимальная грузоподъемность -1000 кг.

Пожарные лифты должны быть обеспечены отдельным энергоснабжением и поддерживать свою работоспособность во время пожара в течение не менее 90 (или 120) минут.

Скорость пожарного лифта должна обеспечивать возможность попадания на самый высокий этаж в течение 60 с.

Определенные элементы пожарного лифта должны иметь защиту от проникновения воды.

#### **4.4. Грузовые лифты**

Грузовые лифты в офисных высотных зданиях необходимы для поддержания текущего функционирования, под которым подразумевается доставка грузов в офисы, транспортировка мусора в сборные пункты, транспортировка технического оборудования и запчастей для поэтажного оборудования, перевозка мебели и офисного оборудования. Грузовые лифты также активно используются в ходе строительства, например, для перевозки людей и материалов. Соответственно проектируются и размеры кабин.

Грузовые лифты, особенно в высотных зданиях, могут выполнять функции пожарных, поскольку совмещение функций пассажирских и пожарных лифтов не допускается.

Функции грузовых лифтов в гостиницах аналогичны таковым в офисах. Дополнительно они могут использоваться для перевозки белья и доставки еды из ресторана в номера. В жилых домах грузовые лифты, как правило, не предусматриваются. Мелкие грузы там доставляются в пассажирских лифтах.

#### **4.5. Групповая диспетчеризация**

В этой системе пассажир выбирает нужный этаж, находясь еще на площадке, поэтому после входа в кабину необходимость в нажатии нужной кнопки отпадает. Выбор этажей производится по заказу каждого пассажира и система в состоянии сократить число промежуточных остановок, осуществляя доставку целых групп людей, выбравших одинаковый этаж. Эксплуатационные возможности лифта можно существенно расширить за счет снятия лишних остановок. Все это происходит за счет времени ожидания, поскольку пассажиры не могут просто сесть в очередную лифт, а вынуждены ждать прибытия предназначенного именно им лифта. Им может быть как следующий или следующий за ним лифт. Технология групповой диспетчеризации пока еще не

совсем совершенна и ожидает дальнейшего улучшения. Выбор системы управления влияет на число лифтов и их устройство в высотных домах.

#### **4.6. Конфигурации лифтов.**

Высотные дома этажностью около 25, как правило, обслуживает одна группа лифтов. На каждый этаж можно попасть без пересадки на одном лифте.

Возможности данного варианта исчерпываются, когда потребность в лифтах превышает 6 единиц. Тогда создается необходимость исследования возможности разделения лифтов на две группы.

Разделение на группы лифтов короткого и дальнего следования уменьшает число остановок каждого лифта, увеличивает эксплуатационные возможности и сокращает время ожидания. Число пассажиров в кабине уменьшается, что дает возможность ограничить размер кабины. Верхние этажи обслуживаются быстрее, при этом число остановок лифта по ходу уменьшается.

Подразделение лифтов на группы короткого и ближнего следования актуально для зданий от 20 до 35 этажей. Для зданий этажностью до 45 этажей представляется целесообразным ввести еще одну группу (короткого, дальнего и среднего следования), а этажностью до 60 этажей - четырех групп лифтов.

Тогда будет можно добраться до любого этажа из главного вестибюля в одной кабине, не меняя лифтов. Поездка из случайно выбранного этажа на этаж, обслуживаемый другой группой лифтов, требует только одной пересадки. С точки зрения перспективы технологии транспортировки данные решения полностью соответствуют обеспечению комфортности при доступе на любой этаж высотного дома. Единственный недостаток здесь - увеличенный размер шахты для более чем трех групп лифтов, а также увеличенная площадь этажа, которую требуется выделять под площадку ожидания. По мере увеличения числа этажей потребность в увеличении указанных параметров интенсивно возрастает.

#### **4.7. Группы двухэтажных лифтов**

Двухэтажные лифты имеют одну раму кабины и два ее вертикально соединенных этажа. Такие лифты требуют двухэтажных главных вестибюлей. В час пик нижний этаж кабины останавливается, например, на четных, а верхний на нечетных этажах. По сравнению с обычными лифтами двухэтажные имеют гораздо большую эксплуатационную способность при освобождении и заполнении здания. Сообщение между этажами при этом не улучшается. Недостатком для пассажиров представляются те остановки, которые требуются

только для пассажиров одного этажа лифта, и не нужны пассажирам другого этажа или людей на площадке ожидания. Двухэтажные лифты подходят как для экспресс-лифтов, совершающих поездки между главным и высотным вестибюлями, так и групп обычных лифтов для зданий с большими площадями этажей. Экспресс-лифты в здании Миллениум-Тауэр запланированы двухэтажными. В самом высоком здании в мире в башнях-близнецах Петронас в Куала-Лумпуре все пассажирские лифты двухэтажные. На каждом этаже от 120 до 200 рабочих станций (их число уменьшается по мере увеличения высоты). В европейских высотных домах, однако, больше 50-60 рабочих станций встречается редко, поэтому двухэтажные лифты применяются только в варианте экспресс.

Пока транспортировка «лучами» остается фантазией в научно-фантастических фильмах, высотные дома будут нуждаться в лифтах. По мере развития технологии в будущем лифты станут более эффективными и требующими меньшего объема шахт, а все это внесет свой вклад в строительство еще более высоких и экономически более оправданных зданий.