# ВВЕДЕНИЕ

Борьба с вирусами по большому счету улучшает атакуемую ими популяцию с точки зрения приобретения индивидуального и коллективного иммунитета к инфекциям. Зачастую эта трансформация происходит через эпидемические процессы, изучение и прогнозирование которых призвана осуществлять эпидемиология. Базовым для этой науки является тезис о том, что масштаб эпидемии и скорость распространения инфекции напрямую зависят от коммуникабельности элементов вирусно-атакуемой среды. Именно теснота контактов элементов в структуре пространства их обитания во многом обусловливает эпидемические вспышки. Это свойство присуще как медико-биологическим, так и информационно-телекоммуникационным системам, для которых популярные до сих пор модели вирусования дают обобщенную картину динамики эпидемии через дифференциальные уравнения, переменных состояния множеств элементов, образующих сеть, с различным эпидемическим статусом.

Однако тренд мультисетевой организации пространства, стремительно прогрессирующий в последнее десятилетие, внес существенные коррективы в представления о развитии эпидемических процессов, и новая (сетевая) эпидемиология вынуждена была теперь исходить из топологии взаимосвязи элементов сети. Здесь существенную роль стали играть такие факторы, как: география расположения источников инфицирования в топологии сети; ее соотнесение с сетевой иерархией и кластеризацией; специфика восприятия распространяющейся инфекции для отдельных кластеров и пользователей сети, а также другие структурно-параметрические особенности вирусно-атакуемой сетевой архитектуры в динамике развития и регулирования эпидемических процессов в ней.

В свою очередь для информационного пространства объектом исследования стали такие вредоносы, как компьютерные (для корпоративных сетей) и психологические (для социальных сетей) вирусы, риски их распространения в сетевых структурах различного назначения. При этом на передний план вышли задачи прогнозирования хода информационных эпидемий и управления эпидемическими процессами (через выработку индивидуального и коллективного иммунитета и т. п.) для многообразия сетевых (компьютерных и/или психологических) вирусов. В этой связи первыми интернет-вакцинами следует считать компьютерные антивирусные средства, арсенал которых и сегодня непрерывно совершенствуется по мере появления новых вредоносов. Подобная работа сейчас начинает активно разворачиваться и в отношении психологических интернет-вирусов, наносящих все более значительный ущерб социоинформационному пространству как отдельных стран, так и целых континентов.

Вышеизложенное стало основой для настоящего издания, которое в учебных целях через инструментальное подобие кибернетической вирусологии реализует общеметодический подход к описанию эпидемических процессов в информационных сетях, социотехнически объединяющих как гаджеты, так и их пользователей.

ГЛАВА
1

# Формализация описания сетевых структур и процессов

## 1.1. Основы топологического описания сетей

### *Элементы теории графов для описания сетевых структур*

Наиболее значимые результаты в анализе сетей относятся к теории графов [1.37, 1.41, 1.46, 1.58, 1.59, 1.64], математический аппарат который опирается на свойства топологии исследуемых структур. В этой связи принято выделять два непересекающихся множества. Элементы одного из них по определенному закону связаны между собой элементами другого [1.37, 1.41]. В частности, речь может идти о множестве переменных и множестве функционалов, устанавливающих связь между переменными математической модели исследуемой системы. В теории электронных сетей такими множествами являются, например, множество узловых потенциалов и множество передач из узла в узел цепи [1.41, 1.46, 1.59].

Как видно из приведенных примеров, элементы второго множества явно имеют транспортно-связный характер и обеспечивают некоторую доставку к элементам первого множества, выполняющих функции концентрации и перераспределения, т. е. носящих узловой характер. Эти узлы и трассы легли в основу теории общей топологии [1.29, 1.42, 1.50] и представления структурированных объектов с помощью графов [1.37, 1.59, 1.64], где множество связываемых элементов называют множеством вершин, а множество связывающих элементов — множеством ребер. Отсюда подобное представление стали называть топологическим [1.37, 1.46]. Наряду со своей наглядностью (изображение на плоскости), в дальнейшем топологические модели продемонстрировали [1.64] и целый ряд других преимуществ (удобство и безизбыточность символьных расчетов, структурного синтеза и др.).

Таблица 1.1

Разновидности вершин и ребер для типов сетей (графов)

| Тип сети | Вершины сети | Ребра сети |
|---|---|---|
| Электрическая сеть | Электростанции и электроподстанции | Линии электропередачи |
| Газотранспортная сеть | Газовые месторождения и хранилища, станции перекачки газа, газоналивные хабы | Газопроводы и логистика морской транспортировки сжиженного газа |
| Сотовые сети | Сотовый телефон, базовые станции сети | Каналы беспроводной связи |
| Железнодорожные сети | Железнодорожные станции | Маршруты поездов |
| Сети розничной торговли | Супермаркеты, магазины, торговые точки, интернет-магазины | Логистика доставки розничных товаров |
| Сети оптовой торговли | Оптовые склады продукции | Логистика доставки товара |
| Сети биржевой торговли | Брокерские фирмы и клиенты | Каналы связи для участников торгов |
| Социальные сети | Пользователи, порталы, сайты, блоги, аккаунты и т. п. | Запросы пользователей на контент |
| Интернет | Хабы, концентраторы, хосты | Физические и виртуальные маршруты |

В качестве примера в табл. 1.1 сведены вершины и ребра для различных типов сетевых структур [1.43–1.45, 1.47–1.49, 1.51, 1.54, 1.56–1.58, 1.60, 1.62, 1.69, 1.70–1.77, 1.79–1.82], многообразие которых сегодня простирается от сферы финансов до розничной и биржевой торговли, от глобальной паутины до транспортировки энергоносителей, от сетевой до железнодорожных, автомобильных и авиационных связей.

На основании вышеизложенного практически любую сетевую структуру можно описать, если задать множества вершин и ребер, а также закон (предикат), устанавливающий взаимную принадлежность (инциденцию) элементов этих множеств. В этом случае топологически сеть (и соответствующий ей граф) задается в виде

$$G = G(X, A, \Gamma), \tag{1.1}$$

если даны непустое множество вершин $X \neq \varnothing$, не пересекающееся с ним множество ребер $A$ ($A \cap X = \varnothing$) и предикат (инцидентор) Г. Обычно Г является трехместным предикатом [1.64], т. е. определенным на всех упорядоченных тройках — $x_i$, $x_j$ и $a_k$, для которых $x_i, x_j \in X$ и $a_k \in A$. Аналитически предикат описывается [1.52] логическим высказыванием следующего вида:

$$\Gamma(x_i, a_k, x_j), \tag{1.2}$$

которое означает, что ребро $a_k$ соединяет вершины $x_i$ и $x_j$. Вершины $x_i$ и $x_j$ называются смежными, а ребро $a_k$ — инцидентным этим вершинам.

Геометрически сеть принято изображать графом, т. е. совокупностью точек, взаимно однозначно соответствующих элементам множества вершин $X$, и связывающих их линий, взаимно однозначно соответствующих элементам множества ребер $A$. Например, высказыванию (1.2) соответствует граф, показанный на рис. 1.1,$a$. Следует отметить, что в начертании графа существует определенная свобода.

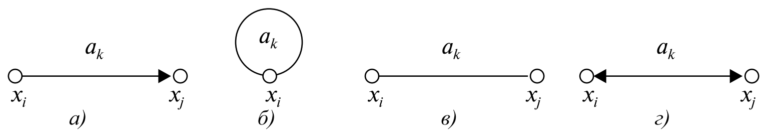


**Рис. 1.1.** Разновидности ребер графа

Так, например, на чертеже ребра, соединяющие две вершины, могут изображаться прямыми или кривыми, короткими или длинными линиями. Существует также свобода в выборе места положения на чертеже вершин графа, но с точки зрения наглядности описания целесообразно располагать их так, чтобы в начертании графа число пересечений различных ребер было минимальным.

### *Элементы и части графы сети*

Исходя из определения сети (1.1), для всякого её элемента $a_k \in \mathrm{A}$ справедливо [1.52] одно и только одно из следующих высказываний:

$$\exists x_i, x_j [x_i \neq x_j \& \Gamma(x_i, a_k, x_j) \& \bar{\Gamma}(x_j, a_k, x_i)]; \tag{1.3}$$

$$\exists x_i [\Gamma(x_i, a_k, x_i)]; \tag{1.4}$$

$$\exists x_i, x_j [x_i \neq x_j \& \Gamma(x_i, a_k, x_j) \& \Gamma(x_j, a_k, x_i)]. \tag{1.5}$$

Логические высказывания (1.3)–(1.5) позволяют классифицировать ребра на ориентированные (направленные) ребра — дуги (1.3), петли — (1.4) и неориентированные (ненаправленные) ребра — звенья (1.5). Графически высказывания (1.3)–(1.5) соответственно иллюстрируются на рис. 1.1,$a$, *б* и *в*. Уместно отметить, что в ряде практических случаев (имеются в виду унисторные графы) звенья (рис. 1.1,*в*) в соответствии с высказыванием (1.5) изображаются совокупностью двух (слитых в одну) дуг (рис. 1.1,*г*). При изучении таких свойств графов, которые не зависят от направления его дуг, удобно пользоваться предикатом

$$\tilde{\Gamma}(x_i, a_k, x_j) \leftrightarrow \Gamma(x_i, a_k, x_j) \vee \Gamma(x_j, a_k, x_i), \tag{1.6}$$

называемым полуинцидентором и применяемым в социальных сетях.

При описании физических сетей каждому ребру уместно ставить в соответствии вес $\delta(a_k)$, именуемый весом ребра $a_k$ и равный конкретной физической величине.

Что касается вершин графа, их уместно отождествлять с переменными, описывающими состояние объекта. Например, при решении ряда технических задач (обобщенный сигнальный граф) пользуются понятием взвешенной вершины (веса вершины), которое может быть трактовано как вес петли, инцидентной данной вершине [1.64].

В качестве разновидностей элементов в графе могут быть выделены цепи и циклы. Цепью называется [1.46] последовательность

$$x_0 a_1 x_1 a_2 x_2 \ldots x_{N-1} a_N x_N \tag{1.7}$$

элементов графа, для которой справедливо высказывание

$$\&_{i=0}^{N-1}\Gamma(x_i, a_{i+1}, x_{i+1}). \tag{1.8}$$

Такая цепь графа изображена на рис. 1.2,$a$.

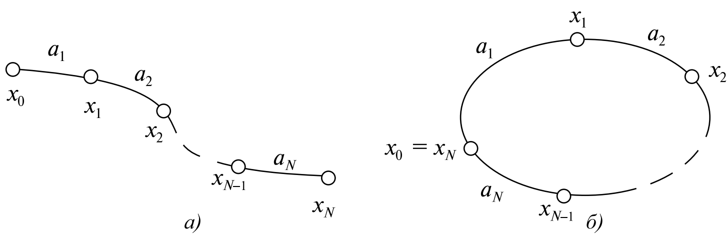


**Рис. 1.2.** Примеры цепи ($a$) и цикла (*б*)

Циклом графа называется замкнутая цепь $x_0 = x_N$. Примером цикла может служить граф, изображенный на рис. 1.2,*б*.

Весьма важную роль при описании сетей с помощью графов играют такие их элементы, как путь и контур. Путем $P_{0,N}$ из вершины $x_0$ в вершину $x_N$ называется [1.41] конечная цепь

$$x_0 a_1 x_1 a_2 x_2 \ldots x_{N-1} a_N x_N, \tag{1.9}$$

для которой истинно высказывание

$$\&_{i=0}^{N-1}\Gamma(x_i, a_{i+1}, x_{i+1}).$$

Пример графического изображения пути показан на рис. 1.3,$a$. В качестве количественных характеристик пути $P$ используются также понятия, как длина пути $l(P)$ и вес пути $\delta(P)$.

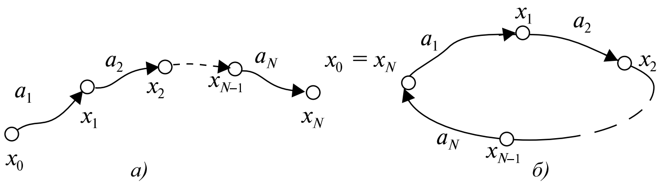


**Рис. 1.3.** Примеры пути (*а*) и контура (*б*) графа сети

Таблица 1.2

Веса вершин и ребер для различных типов сетей (графов)

| Тип сети | Веса вершин сети | Веса ребер сети |
|---|---|---|
| Электрическая сеть | Объем генерированной или накопленной электроэнергии | Потери при передаче электроэнергии |
| Газотранспортная сеть | Объем добытого и аккумулированного газа | Пропускная способность газопровода, вместимость танкера сжиженного газа |
| Сотовые сети | Персональные данные абонента | Доступность и надежность канала связи |
| Железнодорожные сети | Объем принимаемых составов | Скорость и объем грузопотока перемещающихся составов |
| Сети розничной торговли | Объем выручки по каждому элементу сети | Товарооборот по каналам поставки |
| Сети оптовой торговли | Объем аккумулированных и реализованных партий товара | Объем поставляемых по ребрам сети товаров |
| Сети биржевой торговли | Курсы валют и акций, показатели биржевых площадок | Объемы торгов по каналам связи |
| Интернет | Объем и ценность сгенерированного контента | Пропускная способность интернет-трафика |
| Социальные сети | Количество пользователей и ресурсов сети | Интенсивность обращения к ресурсам |

Процедуру, при которой каждому ребру и каждой вершине графа ставится в соответствие их вес, который определяется физической сущностью данного элемента структуры (см., например, табл. 1.2) будем называть «взвешиванием».

Соответственно, графы, полученные в результате процедуры взвешивания, будем называть «взвешенными» графами.

Необходимо отметить, что взвешивание элементов сетевого графа необходимо далеко не всегда. Так, например, в описании социальных сетей нередко это не требуется, если идет речь о росте графа и степенях его вершин. Вместе с тем полноценная оценка параметров сети невозможна без взвешивания ее элементов (по емкости их хранилищ, пропускной способности их каналов, эпистойкости, живучести и т. п.) в зависимости от объекта и предмета исследования.

### *Матрицы топологии сети*

По определению (1.1), граф сети считается заданным, если определена пара множеств $X$ и $A$ и трехместный индентор Г. Следовательно, задание графа требует трехмерной таблицы истинности. Описывая Г посредством трех двухместных предикатов, можно обойтись тремя двумерными таблицами. Использование пятизначной логики позволяет ограничиться только одной двумерной таблицей (матрицей).

Матрицей инциденций графа $G(X, A, \Gamma)$ называется [1.64] прямоугольная матрица

$$C = \begin{array}{c} \\ x_1 \\ \vdots \\ x_i \\ \vdots \\ x_n \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} a_1 & a_2 & \dots & a_j & \dots & a_m \end{array} \\ \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1j} & \dots & c_{1m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{i1} & c_{i2} & \dots & c_{ij} & \dots & c_{im} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nj} & \dots & c_{nm} \end{pmatrix} \end{array}, \tag{1.10}$$

где $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ — множество вершин графа $G$; $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ — множество ребер $G$.

Элементы матрицы $c_{ij}$ определяются по графу $G$ следующим образом:

- если $a_j$ — дуга, исходящая из вершины $x_i$, то $c_{ij} = \xi$;
- если $a_j$ — дуга, входящая в вершину $x_i$, то $c_{ij} = \eta$;
- если $a_j$ — петля при вершине $x_j$, то $c_{jj} = \zeta$;
- если $a_j$ — ребро, инцидентное вершине $x_i$, то $c_{ij} = \theta$;
- если $a_j$ — ребро, не инцидентное вершине $x_i$, то $c_{ij} = \theta$.

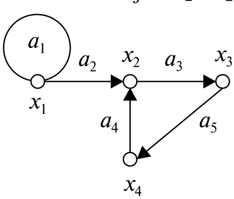


**Рис. 1.4.** Пример ориентированного графа

Следовательно, матрицей инциденций однозначно может быть определен всякий граф с пронумерованными вершинами и ребрами. Например, орграфу, изображенному на рис. 1.4, однозначно соответствует следующая матрица инциденций:

$$C = \begin{array}{c} \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 \end{array} \\ \begin{pmatrix} \zeta & \xi & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \eta & \xi & \eta & 0 \\ 0 & 0 & \eta & 0 & \xi \\ 0 & 0 & 0 & \xi & \eta \end{pmatrix} \end{array}. \tag{1.11}$$

Возможна и обратная постановка задачи, обусловливающая необходимость построения графа по матрице инциденций. Она не всегда имеет решение.

Необходимым условием существования решения обратной задачи является наличие одного либо двух ненулевых элементов в каждом столбце матрицы $C$. Если ненулевой элемент только один, то это $\zeta$, если таких элементов два, то это или $\xi$ и $\eta$, или $\theta$ и $\theta$.

Для описания графов используются также матрицы соседства (смежности), сечений и контуров. Однако недостаток вышеописанных матриц заключается в том, что они отражают только наличие или отсутствие инциденции между вершинами и ребрами и не учитывают веса ребер, которые зачастую присваиваются каждому из этих элементов при описании реальных объектов (в частности, сетей). В этом отношении более удобной следует считать матрицу $S$, элементы которой определяются следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} &\Gamma(x_i, a_{ii}, x_i) \to \mu_{ii} = \delta(a_{ii}); \\ &\Gamma(x_j, a_{jk}, x_k) \to \mu_{jk} = \delta(a_{jk}), \end{aligned} \tag{1.12}$$

где $i, j, k = 1, ..., n$; $G(X, A, \Gamma)$ — униграф, описываемый матрицей $S$; $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$. Назовем $S$ звездной матрицей графа. Нетрудно заметить, что $S$ есть квадратная матрица размерности $n \times n$. При этом диагональные элементы звездной матрицы соответствуют весам петель $a_{ii}$ в узлах $x_i$, а недиагональные элементы, расположенные на пересечении $j$-й строки и $k$-го столбца, соответствуют весам дуг $a_{jk}$, связывающих вершину $x_k$ с вершиной $x_j$. В общем случае строка $j$ матрицы $S$ содержит веса петли и входящих из вершин $j$ дуг:

$$\begin{pmatrix} \mu_{1j} & \ldots & \mu_{kj} & \ldots & \mu_{jj} & \ldots & \mu_{nj} \end{pmatrix}.$$

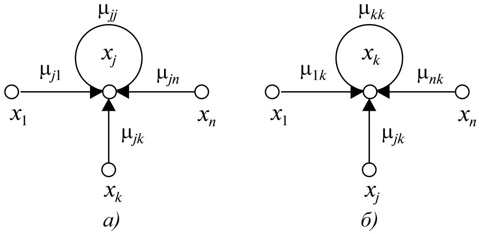


**Рис. 1.5.** Части графа, соответствующие строке ($a$) и столбцу ($б$) $\mu$-матрицы

Этой строке соответствует сходящаяся простая звезда с петлей в ее центре $x_j$ (рис. 1.5,$a$). Поэтому методика построения графа может быть сведена к последовательности построения сходящихся простых звезд и петель в каждом узле с последующим их объединением. Аналогично в общем случае столбцу $k$ матрицы $S$ соответствует расходящаяся простая звезда с петлей в ее центре $x_k$ (рис. 1.5,*б*):

$$\begin{pmatrix} \mu_{k1} \\ \dots \\ \mu_{kk} \\ \dots \\ \mu_{kj} \\ \dots \\ \mu_{kn} \end{pmatrix}.$$

Отсюда всякий орграф может быть построен путем объединения расходящихся простых звезд и петель, сформированных для каждой его вершины отдельно.

Примером звездной матрицы может служить следующая матрица, построенная для графа (см. рис. 1.4):

$$M = \begin{array}{c} \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \end{array} \\ \begin{pmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 \\ a_2 & 0 & 0 & a_4 \\ 0 & a_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_5 & 0 \end{pmatrix} \end{array} \tag{1.13}$$

Приведенный пример свидетельствует о простоте формирования звездной матрицы. Достоинством матрицы $M$ следует также считать ее соответствие системе однородных уравнений линейных графов

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j = 0, \quad i = 1, ..., n, \tag{1.14}$$

или в матричной форме

$$MX = 0,$$

где $\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix}$ — вектор переменных состояний сети, соответствующих вершинам.

Система уравнений (1.14) широко используется [1.64] при описании линейных систем. При этом возможно отождествление определителей цепи (системы уравнений (1.14)) звездной матрицы и соответствующего ей графа, которые используются в качестве моделей исследуемых объектов.

К достоинствам матрицы $M$ следует отнести также ее удобство для формирования контурных и древесных суграфов, необходимых при вычислении симметричных и несимметричных алгебраических дополнений определителей описываемой линейной системы. С использованием метода обобщенных чисел процедура формирования таких суграфов может быть автоматизирована. Поэтому в дальнейшем при описании графов мы отдадим предпочтение звездной матрице и матрице смежности.

Последняя применяется в случаях, когда ориентация и взвешенность ребер не имеет значения. Тогда для рис. 1.10,*б* звездная матрица примет вид

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \qquad (1.15)$$

которая и является матрицей смежности. Для описания соцсетей эта форма довольно часто применяется. Дело в том, что взвешивание ребер и вершин графа является весьма сложной задачей и в сетях нередко достаточно рассматривать топологию связей [1.41] без какого-либо оценивания весов сетевых элементов.

## 1.2. Наполнители сетей

Сетевая структура, лишенная соответствующего наполнителя, в подавляющем множестве случаев не имеет практического применения. По артериям и капиллярам сети должна циркулировать её кровь-наполнитель, несущий сетевым элементам энергию, информацию и вещество (важнейшие атрибуты материи). Поэтому, как бы не были разнообразны [1.2, 1.12, 1.31] сети, для них характерно наличие наполнителя (табл. 1.3). Именно он собирается и обрабатывается в вершинах (узлах) сети (рис. 1.6) и транспортируется по ее ребрам. Концентрация и передача наполнителя — главная функция любой сети от электронной до биологической. Узлы и каналы передачи в обязательном порядке приспособлены под тип сети, т. е. под разновидность ее наполнителя (см. табл. 1.3). В вершинах сети обычно хранится, обрабатывается и фильтруется этот наполнитель (см. рис. 1.6). Обработка наполнителя разнообразна, и блок-схема реализующего её узла сети (см. рис. 1.6), разумеется, лишь обобщенно рассматривает набор ее операторов (на практике он может быть скромнее и подробнее). Так, в нефтетранспортных сетях из нефти получают новый нефтепродукт — бензин. В газотранспортных сетях обработка может предусматривать получение сжиженного газа для последующей его загрузки через терминал в танкеры. В банковских сетях носитель может претерпевать валютную конвертацию и т. п.

Таблица 1.3

Разновидности наполнителей по типам сетей

| Тип сети | Наполнитель сети |
|---|---|
| Электрическая сеть | Электрический ток |
| Газотранспортная сеть | Природный газ |
| Сотовая сеть | Радиосигнал |
| Железнодорожные сети | Грузы и пассажиры |
| Торговая сеть | Товары |
| Биржевая сеть | Котировки |
| Социальная сеть | Социальная информация |
| Интернет | Контент |

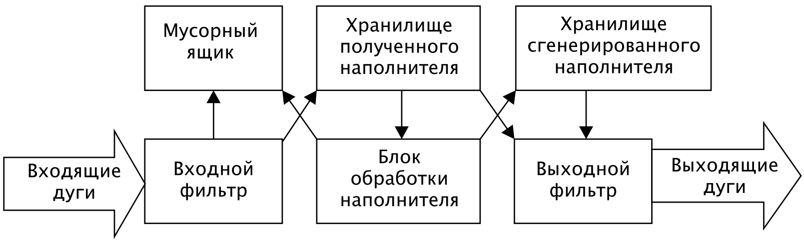


**Рис. 1.6.** Обобщенная блок-схема узла (вершины) сети с учетом обработки ее наполнителя

Однако вне зависимости от типа наполнитель обязательно присутствует в каждой сети, как кровь в любом живом организме.

В вышеизложенном контексте определения сети потребует не только задания ее графа $G$ (1.1), но и прояснение вопроса с сетевым наполнителем $F_{il}$. Таким образом, определить сеть $N_{et}$ можно, задав определяющий ее топологию граф и циркулирующие по этой структуре потоки наполнителя

$$N_{et} = N_{et}(F_{il}, G), \tag{1.16}$$

где $F_{il}$ — множество потоков наполнителя; $G$ — структура (топология) сети, заданная графом (1.16) или его матрицей (1.1).

В выражении (1.16) сеть имеет менее абстрактное, чем в (1.1), представление, ибо учитывается не только характер соединений её вершин, но и параметры передаваемого по ее ребрам наполнителя. Именно в этом принципиальное отличие предлагаемого определения сети (1.16).

Следует заметить, что $F_{il}$ и $G$ непересекающиеся ($F_{il} \cap G = \varnothing$) множества, но между их элементами очевидно должны существовать взаимно-однозначные соответствия маршрутизации (какой поток, по какой ветви, к какой вершине направляется).

В этом ракурсе последнее выражение (1.16) примет вид

$$N_{et} = N_{et}(F_{il}, G, M), \tag{1.17}$$

где $M$ — предикат (расписание) маршрутизации потоков $F_{il}$ в структуре $G$.

Полученное выражение (1.17) в сочетании с (1.1) следует рассматривать как наиболее полное определение сети, учитывающее как ее топологию $G$ и наполнитель $F_{il}$, так и маршрутизацию $M$ наполнителя в ее структуре.

При этом следует отметить, что все перечисленные в (1.17) множества являются функциями времени, по истечению которого могут изменяться потоки носителя и их маршруты и даже изменяться топология сети. За их синхронизацию отвечает расписание $M$. Характерным тому примером являются соцсети, пульсирующие своими связями, количеством пользователей, популярностью контентов и т. д. В отличие от корпоративных сетей здесь расписание $M$ носит явно стохастический характер.

Дальнейшее рассмотрение многообразия сетей в основном относится к структурам с информационным наполнителем [1.49].

## 1.3. Структурно-функциональное многообразие сетей с информационным наполнителем

Сегодня мы переживаем стремительное развитие сетевых структур как с точки зрения их топологии, так и с точки зрения расширения их функциональных возможностей. Растут не только количество их пользователей, но и само многообразие сетевого хозяйства. При этом увеличиваются и объемы прокачивания через него наполнителя (информации, нефти, газа и т. п.). В этой связи необходим системный анализ этого процесса, который важен не только в плане успешного функционирования сетей, но и в контексте обеспечения их безопасности.

В настоящем разделе делается попытка классификации для сетей с информационным наполнителем (рис. 1.7). Здесь выделяются два уровня классификации: структурный и функциональный. На первом уровне используется уже сложившееся разделение сетей по степеням их вершин, где учитывается закон распределения степеней, вершин (однородные, неоднородные и т. д.). На втором уровне учитывается их функциональное многообразие, особенно характерное для гетерогенных (неоднородных) структур.

Используя рис. 1.7, рассмотрим подробнее каждый из приведенных на этом рисунке видов сетей.