

УДК 681.5.01

**Автоматизация процессов управления городским пассажирским
транспортом в современных условиях
(часть 1)**

(Automation of urban passenger transport management processes in modern conditions).

В.А. Кущенко к.т.н., ректор.

(V.A. Kushchenko Ph.D., Rector.)

E-mail: mveo@yandex.ru

Новый международный университет Виртуальных компьютерных систем

(International University of Virtual Computer Systems)

<https://vks-ai.ru/>

Аннотация

Работа представляет собой набор статей, описывающий устройства, алгоритмы и программные комплексы управления городским пассажирским транспортом, транспортными и людскими потоками. Материал излагался в качестве лекций по предмету: управление социальными объектами, в Новом Христианском университете Виртуального Космического Сознания.

Ключевые слова: городская транспортная сеть, пассажирский транспорт, автоматизация управления транспортными потоками.

Annotation

The work is a set of articles describing devices, algorithms and software systems for managing urban passenger transport, transport and human flows. The material was presented as lectures on the subject: management of social objects, at the New Christian University of Virtual Cosmic Consciousness. Keywords: urban transport network, passenger transport, automation of traffic flow management.

Раздел 1. Системное моделирование и алгоритмизация управления сетевыми транспортными объектами

1 Модели и алгоритмы оперативного управления транспортными системами и объектами

1.1 Модели и алгоритмы оперативного управления системами транспортными объектами

В данной части с системных позиций анализируются известные подходы к решению вопросов автоматизации принятия решений, моделирования и идентификации применительно к условиям сетевых транспортных объектов. На основе проведенной классификации существующих методов определены недостающие технологические звенья

в процедурах управления в реальном масштабе времени. Предлагается системное решение задач автоматизации оперативного управления СТО.

1.2 Алгоритмы определения топологических и временных параметров сетевых транспортных объектов

Алгоритмы топологического и временного управления относятся к методам принятия решений по изменению параметров транспортной сети с целью ее адаптации к новым условиям функционирования. Если эта процедура совершается в реальном масштабе времени, то она носит название оперативной, в противном случае, долговременной [2]. Ниже приводится анализ наиболее распространенных в настоящее время, алгоритмов топологического и временного управления СТО. Анализ производится согласно разработанному классификационному графу (рис.1), вершинам которого поставлены в соответствие, исследуемые в этом параграфе методы оперативного управления (и реализующие их алгоритмы). Рассматриваемые здесь процедуры можно подразделить на группы алгоритмов управления топологией изолированных СТО и транспортной сети в целом. Рассмотрим первую группу алгоритмов. В [3] предлагается метод определения, так называемых, экспрессных сетевых транспортных объектов. При этом (путем непосредственного измерения) определяется матрица корреспонденций подвижных объектов (ПО). По найденной матрице рассчитывается их поток на каждом участке СТО (между накопителями). После определения величины загруженности каждого из участков выбираются те из них, которые имеют наибольшую величину этого параметра. Учитывая технологические ограничения, принимается схема сетевого транспортного объекта. Метод, изложенный в [3], может применяться без ЭВМ, и основан на знании оператором системы оперативного управления транспортной сетью сложившихся потоков подвижных объектов в СТО. При оперативном управлении сильно связной сетью, наличии мощных и быстроизменяющихся потоков ПО, необходимо применение ЭВМ и точных методов управления. Метод по [3] не вскрывает структуру потоков ПО и, следовательно, является приближенным.

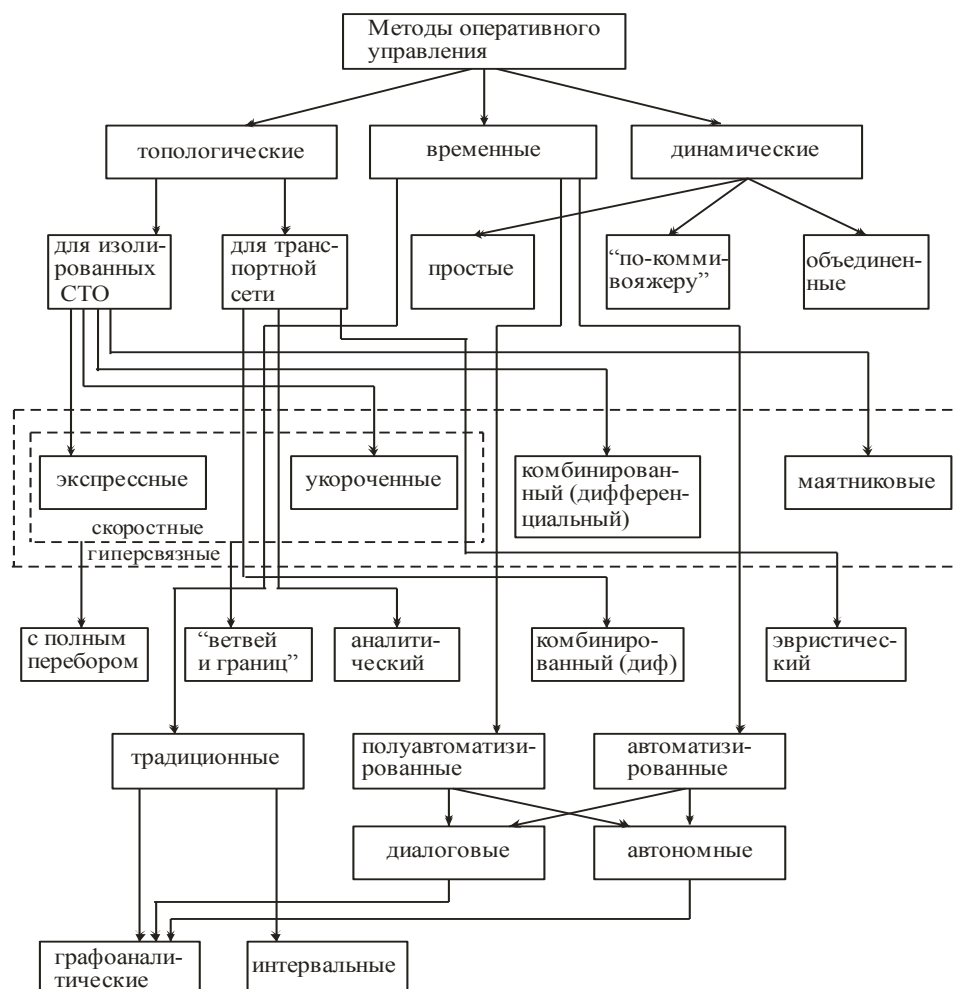


Рис. 1.

В работах [4+6] излагаются методы расчета, так называемых скоростных СТО (экспрессных и укороченных), которые на классификационном графе (рис.1) обведены пунктирной линией.

Сущность алгоритмов расчета схем скоростного СТО заключается в том, что на первом этапе определяется количество функционирующих транспортных объектов (ТО) в СТО. Это делается по формуле:

$$A = (P_{max} \cdot toб) / (V \cdot \gamma \cdot (T_k - T_n)) \quad (1.1)$$

где используются величина максимально потока ПО на участках СТО (P_{max}), время оборота транспортного объекта ($toб$) в СТО (с учетом технологических задержек), величина возможного наполнения ТО (V), коэффициент использования транспортного объекта (γ) и величина времени функционирования СТО ($T_p = (T_k - T_n)$). Далее для выбранной комбинации накопителей (λ_c), входящих в СТО, по заданной матрице затрат времени на каждом участке, определяется величина $toб$. После нахождения количества транспортных объектов в обычном СТО (A_o) и скоростном (A_c) рассчитываются значения интервалов их

движения и число совершенных оборотов за период функционирования. По комбинации λc , используя матрицу корреспонденций ПО, рассчитывается количество подвижных объектов, обслуживаемых обычным и скоростным СТО. При этом распределение подвижных объектов происходит согласно следующим выражениям (характерных для многих аналитических моделей):

$$P_{ij}^0 = (P_{ij} \frac{t_{06}^c \cdot A_0}{A_c \cdot t_{06}^c}) / (1 + \frac{t_{06}^c \cdot A_0}{A_c \cdot t_{06}^c}); P_{ij}^c = P_{ij} / (1 + \frac{t_{06}^c \cdot A_0}{A_c \cdot t_{06}^c}) \quad (1.2)$$

где используются элементы корреспонденций ПО (P_{ij}).

Далее определяются затраты времени путем подсчета суммы произведений элементов упомянутой матрицы на величину равную половине временного интервала следования между транспортными объектами в СТО. Путем изменения комбинации накопителей входящих в скоростной СТО и числа ТО функционирующих в нем, выбирается вариант скоростного сетевого транспортного объекта с минимальными временными затратами на перемещение ПО. При наличии большого числа накопителей (входящих в исходный сетевой транспортный объект), ненаправленный перебор альтернативных вариантов ведет к большим временным затратам, даже с использованием быстродействующих ЭВМ. Так например, число вариантов схем укороченных и экспрессных СТО по [7], соответственно равно:

$$a^y = \sum_{i=3}^n (i - 3), \quad a^z = 2^{n-2} - 1 \quad (1.3)$$

где n – число накопителей в СТО. Таким образом, для поиска оптимального решения необходим алгоритм, исключающий полный перебор возможных вариантов. Один из таких алгоритмов предложен в [8]. Здесь задача нахождения скоростных сетевых транспортных объектов также ставится как комбинаторная. При этом для нахождения оптимальной комбинации λc используется метод «ветвей и границ». Здесь вводится булев вектор:

$$\lambda c = \{\lambda 1, \lambda 2, \dots, \lambda i, \dots, \lambda n\} \quad (1.4)$$

где: $\lambda i = \begin{cases} 1, & \text{если накопитель входит в скоростной СТО;} \\ 0, & \text{если не входит.} \end{cases}$

Суммарные затраты времени подвижных объектов в СТО за время T_r , определяются по аналитической зависимости сложного вида [8], учитывающей затраты времени ПО на ожидание транспортного объекта в накопителях и перемещение между ними. В качестве целевой функции здесь (как и во многих аналогических работах) используется комплексный показатель вида

$$g_n = \sum_{i=1}^{d=n-1} (C_{ij} P_{ij} l_{ij}) / (\sum_{i=1}^{j=i} t_{ij}) \quad (1.5)$$

Содержащий переменную характеризующую количество вариантов схем скоростных СТО (k), найденную например, по формулам (1.3), количество накопителей в СТО (n),

себестоимость перемещения ПО из i -го в j -ый накопитель (C_{ij}), протяженность участков СТО (l_{ij}), во время перемещения ПО между i -ым и j -ым накопителями (t_{ij}). Процедура поиска скоростных СТО с помощью метода «ветвей и границ» (как это излагается в [8]), находят лишь квазиоптимальное решение, поскольку определение λ_s , здесь никак не связано со структурой потоков ПО в сетевом транспортном объекте. Как и в предыдущих случаях большое время поиска решения и недостаточная точность, не позволяют применять этот алгоритм в контуре оперативного управления. Кроме этого, используемые в этих и далее анализируемых методах, значения элементов матриц корреспонденций определяются с недостаточной точностью, что сказывается на качестве решений.

В [9] предлагается подход (получивший название комбинированного или дифференциального), отличающий от предыдущих. Здесь процедура организации комбинированных режимов функционирования СТО рассматривается как экстремальная задача на минимизацию затрат времени подвижных объектов в искомом сетевом транспортном объекте. В качестве переменной, по которой производится оптимизация, принята доля подвижных объектов (K_j), которые должны останавливаться в накопителе с номером j (входящего в комбинированный СТО). Зависимость затрат времени подвижных объектов в искомом СТО (T_j) от K_j , имеет следующий вид (приводим в качестве примера подобных аналитических выражений):

$$T_j = g_j \left[\left(P + \frac{1}{2} \right) \frac{t_{06}}{NK_j} + \frac{\sigma^2 NK_j}{2t_{06}} \right] + \bar{g}_j \left[\left(P + \frac{1}{2} \right) \frac{t_{06} (t_{06} - \delta)}{N (t_{06} + \delta K_j)} + \frac{\sigma^2 N (t_{06} - \delta K_j)}{2t_{06} (t_{06} - \delta)} \right] - \bar{g}_j \frac{\delta t_{06} (1 - K_j)}{(t_{06} - \delta K_j)} \quad (1.6)$$

Зависимость содержит следующие переменные определяющие состояние СТО (по [9]): количество подвижных объектов проходимых через j -ый накопитель (g_j), количество ПО не проходимых через j -ый накопитель ($\bar{g}_j$), количество ПО не взаимодействующих с j -ым накопителем ($\bar{g}_j$), число транспортных объектов в СТО (N), среднее время задержки ТО в j -ом накопителе (δ), нерегулярность движения ТО (σ), вероятность отказа загрузки ПО в транспортный объект (P). Тогда математическая модель рассматриваемой задачи представляет собой совокупность дифференциальных управлений вида:

$$\frac{\delta T_j}{\delta K_j} = 0; j = 1, 2, \dots, m \quad (1.7)$$

Путем введения дополнительных упрощений, в [9] получается зависимость K_j от перечисленных параметров СТО. В [9] не исследуется область работоспособности предлагаемой аналитической модели лежащей в основе метода. Необходимость же в таком исследовании очевидна, поскольку изменение набора параметров СТО ведет к нарушению исходных приближений и, следовательно, к изменению вида аналитических зависимостей. Кроме того, метод лишь приблизительно оценивает возможные очереди в накопителях. Приблизительный учет этого параметра СТО для оперативного управления недопустим,

поскольку все реальные сетевые транспортные объекты имеют накопителя, которые как раз и служат для согласования характеристик функционирования СТО с потоком заявок.

В [10] излагается метод определения, так называемых, маятниковых СТО. Этот метод, в таком виде как он приведен в [10], не реализуем на ЭВМ. В случае же использования маятниковых СТО, поиск их возможен с помощью вышеописанных алгоритмов. При этом часть исходного СТО необходимо рассматривать как изолированный сетевой транспортный объект.

Вышеприведенные алгоритмы являются разновидностями алгоритма поиска, так называемого, гиперсвязного сетевого транспортного объекта. Описание алгоритма нахождения этого СТО приводится в четвертой главе. Дело в том, что скоростные, комбинированные (найденные дифференциальным методом) и маятниковые СТО могут получиться как результат действия вышеназванного алгоритма в зависимости от структуры потоков подвижных объектов.

Кроме методов топологического управления для изолированных СТО, к настоящему времени разработаны такие методы (и реализующие их алгоритмы) и для транспортной сети в целом. Эти алгоритмы образуют вторую группу методов топологического управления на классификационном графе рис.1. Наиболее полно эти методы исследовались в [11]. Здесь рассматриваются три уровня оперативного управления (ОУ): состоянием транспортной сети, участков транспортной сети и сетевыми транспортными объектами. Отклонения реального режима функционирования от заранее рассчитанного здесь подразделяются на существенные и не существенные. При существенных отклонениях наблюдается изменение многих параметров транспортной сети. При несущественных происходят изменения лишь во временных графиках транспортных объектов. По существу в [11] предлагается аналитическая модель транспортной сети (конкретного типа) и алгоритм (получивший название аналитического) оперативного управления ее состоянием. Этот алгоритм позволяет рассчитывать лишь приблизительные значения выбранных параметров, поскольку не определяет собственно траекторию движения ТО в сети. Используемые в [11] параметры трудно поддаются автоматизированному измерению и их недостаточно для полного воспроизведения исследуемого процесса. Необходимая здесь процедура распознавания сложившейся ситуации в транспортной сети, требует классификации этих состояний, что является затруднительным. Использование в контуре оперативного управления этого метода сводится лишь к получению предварительных оценок желаемого состояния транспортной сети. В методе отсутствуют процедуры автоматизирующие процесс перехода сети в новое состояние, которое может быть и не достижимым (поскольку аналитическая модель здесь не учитывает трудно формализуемых ограничений, накладываемых на процесс функционирования взаимодействием совокупности сетевых транспортных объектов и служб, обеспечивающих их бесперебойную работу).

Дифференциальный метод топологического управления (изложенный в [9]) пригоден и для применения к совокупности сетевых транспортных объектов. При этом он обладает теми же недостатками, что и в случае применения к изолированным СТО. В [12] приводится

описание, так называемого, эвристического метода топологического управления. Этот метод применим для специальных транспортных сетей имеющих достаточно простую структуру. Но в некоторых случаях (при определенном распределении подвижных объектов в СТО), он может использоваться и в контуре оперативного управления.

Проанализированные две группы алгоритмов топологического управления обладают следующими общими недостатками: малое быстродействие и невысокая точность. Кроме этого, отсутствие развитых диалоговых (интерфейсных) средств, как с лицом, принимающим решение (ЛПР), так и с алгоритмами определения временных параметров функционирования СТО затрудняет или делает невозможным их применение в контуре оперативного управления. Системное решение задач автоматизации оперативного управления требует устранения перечисленных недостатков.

Рассмотрим процедуры временного управления. Графики движения транспортных объектов представляют собой набор временных отметок в контрольных точках СТО. Они могут определяться одновременно с принятием топологических управляющих воздействий или эти процедуры разделены. Проанализируем группу алгоритмов относящихся ко второму случаю. Существующие в настоящее время алгоритмы определения временных режимов функционирования СТО (согласно классификационному графу рис.1), можно разделить на подгруппы по степени применения ЭВМ: традиционные (без применения вычислительной техники), полу автоматизированные и автоматизированные. В [13] изложен один из традиционных методов нахождения временных режимов ТО, входящих в изолированный сетевой транспортный объект. Этот метод (получивший название графоаналитического) наиболее широко используется в практике долговременного управления. Сущность метода заключается в том, что на первом этапе формируются режимы функционирования ТО исходя из технических характеристик и технологических ограничений различных служб, участвующих в поддержании работоспособности СТО [2, 14]. На втором этапе делается расчет режимов функционирования ТО, в зависимости от нагрузки на сетевой транспортный объект со стороны потоков подвижных объектов. Поскольку требования служб и требования, формируемые потоками ПО, не совпадают, то на третьем этапе (в результате повторных расчетов) достигается компромиссный вариант. К недостаткам графоаналитического метода следует отнести его большую трудоемкость и связанные с этим малое быстродействие и низкая точность. В большинстве случаев принимается первый допустимый вариант временных режимов СТО. Анализ вариантов (с целью поиска оптимального) затруднен. К разновидностям традиционных методов относятся, так называемые, интервальные методы определения временных режимов СТО. По [15], для каждого транспортного объекта определяют лишь границы основных режимов: вход в СТО, технологический отстой, выход из СТО и т.д.

При этом не детализируются элементы траектории транспортных объектов во времени. Интервальные методы являются упрощенным подходом к управлению сетевыми транспортными объектами и применимы в системах, допускающих не жесткую синхронизацию. Применение их в контуре автоматизированного оперативного управления СТО затруднено в связи с отсутствием регламентированной последовательности действий

согласно этим методам (поскольку они основаны, в большей степени, на опыте и интуиции ЛПР). В [16, 17] излагается полуавтоматизированный метод составления графиков транспортных объектов. С помощью ЭВМ для каждого сетевого транспортного объекта, по существующим нормам времени [14], составляется трафарет. Этот трафарет представляет собой набор временных шкал. Процесс нахождения временных параметров СТО состоит в перенесении на трафарет цифровых цепочек рейсов ТО. Если процедура выполняется в пакетном режиме, то это автономный полуавтоматизированный метод. Если же ЛПР постоянно взаимодействует с ЭВМ, то это диалоговый полуавтоматизированный метод определения временных режимов функционирования СТО. Недостатком этих методов является их низкое быстродействие и отсутствие возможности применения оптимизационных процедур. Отличие полуавтоматизированного метода от полностью автоматизированного заключается в полном использовании последним ЭВМ для числовых операций. В [18] предлагается вариант диалогового подхода к нахождению временных параметров СТО. Как замечено в [19], это в настоящее время наиболее перспективный путь формирования временных параметров СТО, объединяющий вычислительные возможности ЭВМ и содержательный анализ ЛПР. Но упомянутый метод, как он изложен в [18] недостаточно развит для целей оперативного управления, его диалоговые средства не достаточно детализируют ситуации в СТО, что не позволяет ЛПР принимать эффективные решения. Алгоритм (реализующий этот метод) информационно несовместим с другими процедурами управления. Если алгоритм выполняется без диалога с ЛПР, то это автономный автоматизированный метод [20, 21], который обладает теми же недостатками, что и автономный полуавтоматизированный метод формирования временных режимов СТО.

Рассмотренные выше методы эффективны в условиях большой интенсивности потоков подвижных объектов в транспортной сети. В противном случае, часто бывает целесообразно оперировать, так называемыми, динамическими методами, составляющими третью группу методов оперативного управления в классификационном графе (рис.1).

Отличие этих методов от проанализированных заключается в том, что здесь процедура нахождения топологических и временных параметров сетевых транспортных объектов совмещены. СТО в таких транспортных сетях не детерминированы неизменным набором накопителей, а постоянно претерпевают изменения в процессе функционирования (такие СТО иногда называют гибкими). Транспортные объекты в этом случае, подаются в накопители по требованию (при наличии заявок от подвижных объектов). Такая процедура позволяет адаптировать пространственно-временное расположение транспортных объектов к фактическому спросу на них в транспортной сети. Согласно классификационному графу (рис.1), динамические методы оперативного управления можно подразделить на простые, методы, основанные на модификации алгоритма коммивояжера и объединенные. В [22+25] делается описание вариантов первой группы методов. При подаче заявки от накопителя, выбирается свободный транспортный объект и направляется в вызывающий накопитель. В случае отсутствия свободного ТО, заявка ждет его освобождения. Для простых систем [26, 27], такой алгоритм управления допустим, и является эффективным. Но при увеличении

числа накопителей и транспортных объектов в СТО возникает необходимость в использовании более развитых алгоритмов управления, воспроизводящих (при необходимости) и вышеописанный вариант. В [28+30] приводится описание алгоритма специальной задачи коммивояжера.

После обработки заказов от накопителей, оптимизируемая последовательность (представляющая один из вариантов траектории транспортного объекта) имеет вид:

$$R = \{a_1, ..., a_i, ..., a_n\} \quad (1.8)$$

где a_i – номер накопителя в транспортной сети. Задача состоит в том, чтобы определить наиболее короткий (и допустимый) во времени путь от a_1 до a_n . Причем каждый из a_i входит в оптимальную последовательность только один раз. Поиск решения в этом алгоритме разбивается на несколько частей. Каждая часть характеризуется состоянием, которое было достигнуто на предыдущей ступени.

На каждой ступени осуществляется выбор между множеством решений (которые устанавливают состояние следующей ступени) исходя из целевой функции вида:

$$D_j^k = \min D_{jl}^{k-1} + d_{ij}^k \quad (1.9)$$

использующей значения минимальной стоимости достижения предыдущего состояния (D_{jl}^{k-1}) в базе I [30] и стоимость перехода от предыдущего к последующему состоянию (d_{ij}^k). К недостаткам методов основанных на модифицированном алгоритме коммивояжера следует отнести невозможность их применения для оперативного управления в случаях большого числа ТО и накопителей в транспортной сети. Кроме этого, метод не позволяет определить число ТО, необходимых для обеспечения обслуживания заявок находящихся в накопителях СТО. В случае детерминированных сетевых транспортных объектов, применение описанного алгоритма является неэффективным. Метод по [29], определяя временные параметры гибкого СТО, не учитывает технологические ограничения, накладываемые на сетевой транспортный объект условиями его функционирования [2]. Несмотря на перечисленные недостатки, метод является перспективным для оперативного управления и в четвертой главе описывается процедура его использования в качестве составной части, так называемого, объединенного метода оперативного управления (составляющую третью группу динамических методов на классификационном графе рис.1). Этот метод включает в себя процедуры нахождения гибких и гиперсвязных СТО, а также временных режимов функционирования транспортных объектов.

В рассмотренных методах оперативного управления сетевыми транспортными объектами, как существенно важная часть, применяются модели СТО или их совокупностей (образующих транспортную сеть). Следовательно, для системного исследования вопросов оперативного управления необходимо проанализировать известные модели транспортных сетей и их элементов.

1.3 Модели транспортных сетей и их элементов.

1.3.1 Аналитические модели

Важным вопросом в создании систем оперативного управления сетевыми транспортными объектами, является процесс их формализованного описания. К настоящему времени предложен большой спектр аналитических, имитационных и комбинированных моделей, которые поставлены в соответствие вершинам классификационного графа, изображенного на рис.2. Хронологически первыми возникли аналитические модели СТО и их частей. В [31] предложены аналитические модели накопителей, транспортных объектов и участков СТО при ограничениях на вид функции поступления подвижных и транспортных объектов. Эти модели (согласно рис.2) относятся, к так называемым, символическим моделям. Целью упомянутой работы было определение среднего времени ожидания обслуживания транспортными объектами, находящихся в накопителях СТО подвижных объектов. При этом моделирование участка СТО заключается в распределении поступающих в накопитель ТО по некоторому вероятностному закону.

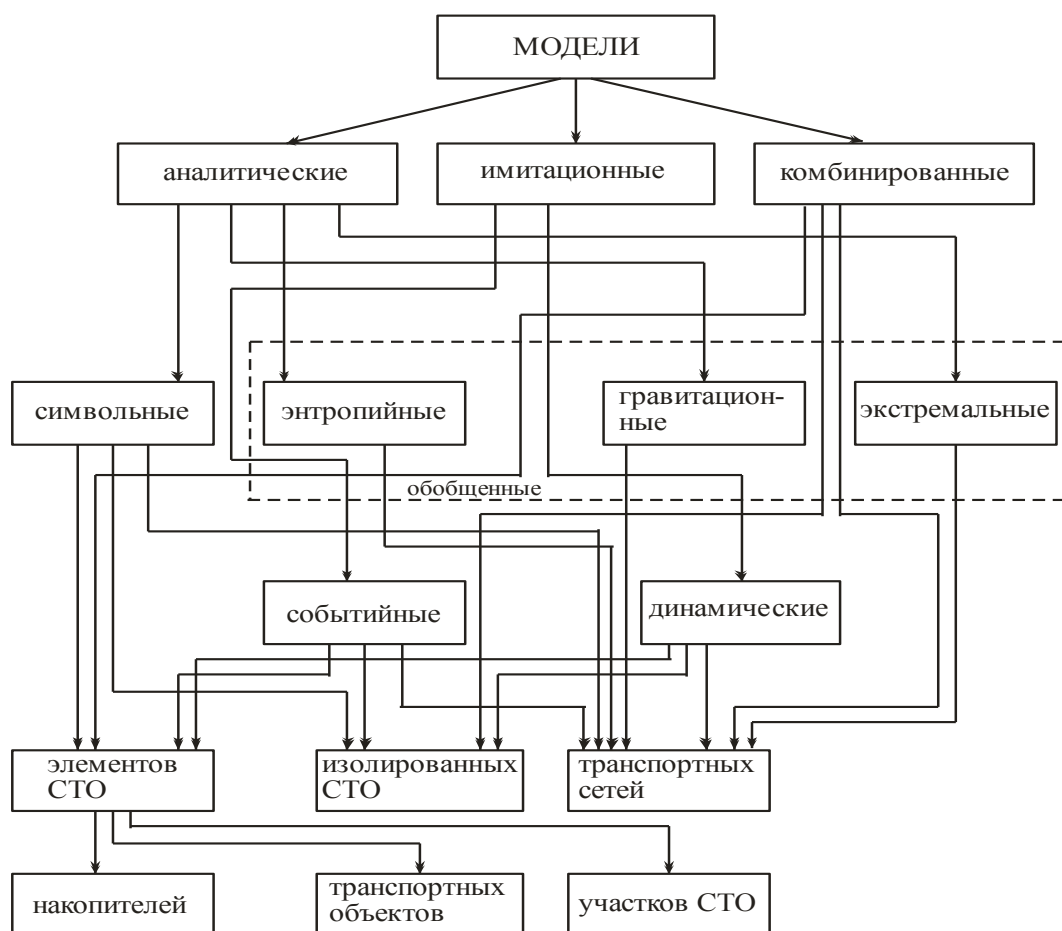


Рис. 2. Классификационный граф моделей транспортных сетей и их элементов

Моделирование процесса появления свободных мест в ТО, также происходит путем задания функции распределения. Постулируется, что поток подвижных объектов является неординарным и задан производящей функцией. Изменение исходных предпосылок распределения величин задающих интенсивности поступления свободных мест в ТО, подвижных и транспортных объектов в накопители, в общем случае образуют различные аналитические зависимости искомого времени ожидания от параметров СТО. Найти же аналитические выражения при реальных функциях распределения является затруднительным [2]. Различные аспекты аналитического символьного моделирования элементов СТО изложены в [32+36].

В [37] предлагается аналитическая символьная модель изолированного сетевого транспортного объекта. Рассмотрим подробно те допущения, при которых строится эта и аналогичные модели. Считается, что интервалы поступления транспортных объектов в накопители СТО распределены по некоторому вероятностному закону. Подвижные объекты поступают в накопитель группами, размер которых определяет случайная величина. Моменты поступления образуют пуассоновский поток событий заданный интенсивностями. Производящая функция длины группы определена аналитическим выражением. Постулируется, что подвижный объект находится в накопителе до тех пор, пока не будет обслужен. Обслуживание накопителя транспортным объектом происходит мгновенно.

Далее используя положения теории систем массового обслуживания [31] выводятся формулы (аналитическая модель) имеющие обычно сложный вид. Практика использования таких аналитических моделей сводится к принятию достаточно правдоподобных гипотез о распределении входящих в СТО потоков подвижных объектов, о распределении интервалов следования транспортных объектов и получению аналитических выражений для производящей функции длины очередей ПО в накопителях. Если названные выше распределения являются простыми (нормальное, равномерное, Пуассона, Эрланга и т.д.), то окончательное выражение может быть получено в аналитическом виде. В противном случае такую зависимость в явном виде получить сложно. В [38, 39], также рассматриваются вопросы аналитического символьного моделирования изолированных сетевых транспортных объектов. Использование эмпирически полученных зависимостей [40+42] и методов факторного, регрессионного анализа, расширяют диапазон применения таких моделей. Но модели изолированных СТО не учитывают влияния сетевых транспортных объектов друг на друга в процессе функционирования, что ведет к недостаточной тонкости принимаемых на их основе решений.

В [43] предлагается аналитическая модель транспортной сети. Рассмотрим те допущения, которые используются в таких моделях. Считается, что время нахождения транспортного объекта в накопителе является случайной величиной со средним значением, зависящим от числа подвижных объектов обслуженных данным ТО. Интервал времени прибытия в накопитель двух транспортных объектов не меньше заданной постоянной величины. Участок между накопителями разбивается на отрезки безопасности, время

движения ТО по которым, является случайной величиной имеющей показательное распределение. Матрица корреспонденций подвижных объектов (полученная непосредственным измерением), путем реконструкции графа транспортной сети, модифицируется таким образом, что исключается переход ПО между сетевыми транспортными объектами. В каждом СТО число транспортных объектов является постоянной величиной. Взаимодействие ТО в СТО учитывается путем введения запрета на переход транспортным объектом на участок занятый другим таким объектом. Тогда, каждой вершине некоторого графа (заданного на множестве накопителей и участков СТО) ставится в соответствие прибор со случайным временем обслуживания (распределенным по показательному закону). Если этот прибор является накопителем, то математическое ожидание времени обслуживания зависит от числа подвижных объектов обслуженных ТО в накопителе. Если вершине графа соответствует участок СТО, то математическое ожидание обслуживания равно некоторому постоянному значению. Исходя из этих предпосылок и используя положения теории систем массового обслуживания [44], выводятся аналитические выражения описывающие (в рамках вышеприведенных допущений) транспортную сеть в математическом виде.

Приведем для примера зависимость затрат в единицу времени на поддержание функционирования транспортной сети (по [43]):

$$P = \sum_{k=1}^Q B_k \left(\sum_{i=1}^m \frac{\Pi_i^k}{m^k} + A_k \right) \Lambda^k + C_k N^k + \sum_{i,j=1}^m \frac{M_{ij}}{A_{ij}} \cdot \left(1 + m_{ij} \sum_{k=1}^Q \frac{\delta_i^k \delta_j^k N^k}{m^k} \right) \quad (1.10)$$

использующей значения элементов матрицы корреспонденций (M_{ij}), плотности потока заявок ПО и ТО (A^k), наполнения транспортных объектов (Π_i^k), число вершин графа транспортной сети на пути от i-го до j-го накопителя (m_{ij}), количество вершин упомянутого графа в определенном СТО (m^k), количество СТО в сети (Q), количество заявок в очереди (N^k), признаки включения в выбранный СТО вершин графа транспортной сети (δ_i^k, δ_j^k), количество накопителей в определенном СТО (m) и значения настроечных констант (A_k, B_k, C_k). Пользуясь полученной аналитической моделью, ведется поиск оптимальных параметров транспортной сети (например, алгоритмами, приведенными в первом параграфе). Если для долговременного проектирования положение о не взаимодействии СТО в процессе функционирования (беспересадочность подвижных объектов) является допустимым, то для оперативного управления (где требуется обосновать конкретные решения по СТО) такое допущение неприемлемо. Как и в предыдущих случаях на потоки подвижных объектов заранее накладываются ограничения, что существенно упрощает получаемые выражения за счет снижения их точности. Кроме того, изменение характеристик накопителей, параметров связей между ними, приводит к изменению структуры аналитических выражений, корректировка которых в оперативном режиме затруднена.

Кроме моделей, непосредственно включенных в контур управления, рассмотрим так называемые, обобщенные аналитические модели, используемые для предварительного определения некоторых параметров СТО (на классификационном графе вершины, соответствующие этим моделям, объединены пунктирной линией). Для конструирования таких моделей применяются гравитационный и энтропийный подходы [45+47], гипотезы положенные в основу выбора пути следования подвижных объектов. Широкое распространение получили, так называемые, экстремальные модели, которые основаны на гипотезе о движении ПО по траекториям в транспортной сети, имеющим экстремальные значения. При нахождении экстремальных путей на графе транспортной сети пользуются методами, изложенными в [48, 49]. В нашей стране в этой области получены важные результаты Федоровым В.Л. [50], Имельбаевым Ш.С., Шмутьяном Б.Л. [51], Диницем Е.А. [52]. Обобщенные модели, в силу приближенного определения параметров, не могут положены в основу систем моделирования применимых в контуре оперативного управления.

Как следует из проведенного анализа аналитических моделей, структура их существенно зависит от характера переменных и от точности исходных данных. Работа с аналитическими моделями затруднена сложностью вмешательства в их работу на промежуточных этапах моделирования. Аналитические модели трудно поддаются корректировке, без полного пересмотра положений, составляющих их основу. Сложность получаемых зависимостей ограничивает число учитываемых факторов и связей. Поэтому в настоящее время, все большее распространение получают имитационные модели транспортных сетей и их элементов [2]. Этому способствует и прогресс в области создания ЭВМ с большим объемом памяти и быстродействием. Кроме того, к настоящему моменту, разработаны пакеты прикладных программ имитационного моделирования и исследования дискретных систем [53].

1.3.2 Имитационные модели

По сравнению с аналитическими моделями, имитационные, в силу своей гибкости, хорошей адаптации к условиям моделирования [54], малой чувствительности к изменениям структуры и характера исходных параметров наиболее соответствуют особенностям применения системного анализа к сложным системам. Будем вести рассмотрение существующих имитационных моделей согласно рис.2. Имитационные модели подразделяются на событийные и динамические. В первой группе моделей, имитация осуществляется путем продвижения моделирующего процесса от события к событию. Во второй, путем воспроизведения событий в каждую единицу модельного времени. Рассмотрим имитационную событийную модель накопителя (приведенную в [53]). Модель состоит из двух сегментов. Первый сегмент имитирует поступление подвижных объектов в накопитель. При этом ПО либо попадает в транспортный объект, либо покидает накопитель

через некоторое время. Второй сегмент имитирует прибытие транспортного объекта в накопитель и процедуру выгрузки ПО из ТО. Интерпретатор системы [53] производит имитацию параллельного выполнения сегментов во времени. Модель нацелена на определение параметров очередей подвижных объектов в накопителе при определенной интенсивности поступления туда транспортных объектов. Модель не может включена в контур оперативного управления в силу ограниченности своего назначения. В [55] делается описание имитационной событийной модели СТО. Эта модель состоит из двух блоков: имитации движения ТО и перемещения подвижных объектов. Учет влияния потоков ПО на движение транспортных объектов происходит через время обслуживания ТО в накопителях СТО. Модель движения ТО состоит из подмоделей участков СТО, накопителей и подмодели транспортного объекта. Основной шаг имитационного алгоритма состоит в выборе ближайшего события. В новый момент времени делается перерасчет новой дислокации транспортных объектов. Модель нацелена на определение следующих характеристик: средний интервал движения транспортных объектов, среднее время ожидания ПО момента обслуживания, число отказов в обслуживании. Описанная модель требует расширения учитываемых переменных (характеристик среды движения, транспортных объектов, накопителей) и определяемых параметров для целей оперативного управления. Кроме этого имитационные модели СТО не учитывают перераспределения потоков подвижных объектов в процессе функционирования транспортной сети.

В работах [2, 56, 57] предлагаются варианты имитационных (событийных и динамических) моделей совокупности СТО. Например, в [2] рассматривается модель транспортной сети, включающей в себя подмодели движения ТО, процесса перемещения ПО. Модель состоит из набора функциональных блоков, каждый из которых ориентирован на выполнение определенной процедуры (имитации движения ТО, обслуживания ПО в накопителе, загрузки, выгрузки, обработки результатов моделирования). Информация о потоках подвижных объектов задается отдельно по каждому СТО. Для разделения потоков ПО в накопителях (через которые проходят несколько СТО) предлагаются упрощенные гипотезы, которые в случае большого числа ТО или большого числа накопителей в транспортной сети являются неточными. Эти модели используют недостаточное количество параметров характеризующих транспортную сеть. Данные, используемые в процессе моделирования, трудно поддаются корректировке. Поэтому адаптация моделей к конкретной сети затруднена. Вопросы имитационного моделирования транспортных сетей излагаются также в работах Андерсена Р.А. [58, 59]. Ограничением приведенных здесь моделей является то, что они недостаточно полно (как требуется для оперативного управления) описывают процесс функционирования транспортной сети. Особенно это касается процедуры взаимодействия СТО.

В работах Антошвили М.Е., Варелопуло Г.А., Хрущева М.В. [60] рассматриваются, так называемые, комбинированные модели сетевого транспортного объекта (рис.2). Существенным отличием этих моделей является то, что в них наряду с имитационными процедурами, широко используются и аналитические выражения (описывающих функционирование отдельных подсистем моделируемого объекта). Так, например, в [60]

поступление подвижных объектов, длительность времени загрузки и выгрузки заданы аналитическими выражениями. Такие же модели могут быть сгенерированы и для транспортной сети в целом. Эта группа моделей обладает теми же недостатками, что и соответствующие им имитационные и аналитические модели. Рассмотренные имитационные и комбинированные модели не имеют развитых диалоговых средств, что не позволяет автоматизировать процедуру их настройки на конкретное состояние транспортной сети. Эти модели не позволяют прогнозировать параметры транспортной сети, а время работы программных реализаций их является достаточно большим для целей оперативного управления. Набор параметров, используемых для моделирования явно недостаточен для точного описания объекта управления. В рассмотренных работах не исследовался вопрос возможности измерения тех или иных переменных моделирования и степени точности их определения. В связи с этим, системное решение задач автоматизации оперативного управления СТО требует устранения названных недостатков. Кроме того необходимо провести анализ методов определения параметров состояния управляемой транспортной сети.

1.4 Методы контроля параметров входных и выходных потоков сетевых транспортных объектов

Главной целью процедуры идентификации транспортной сети, является определение параметров матрицы корреспонденций подвижных объектов этой сети и координат транспортных объектов (в области допустимых перемещений) в любой момент времени. Сетевые транспортные объекты функционируют в условиях постоянно изменяющихся потоков подвижных объектов. Для разных типов транспортных сетей (ГАП, ГПТ и пр.). Эти потоки имеют специфические особенности. Соответственно и методы их измерения обладают различиями. В этом параграфе рассматриваются только те из них, которые имеют общий характер для перечисленных или других типов СТО. Анализ проводится согласно разработанному (по [14, 61+84]) классификационному графу рис.3. В приложении 1 дана краткая аннотация каждого метода и приведен источник информации.

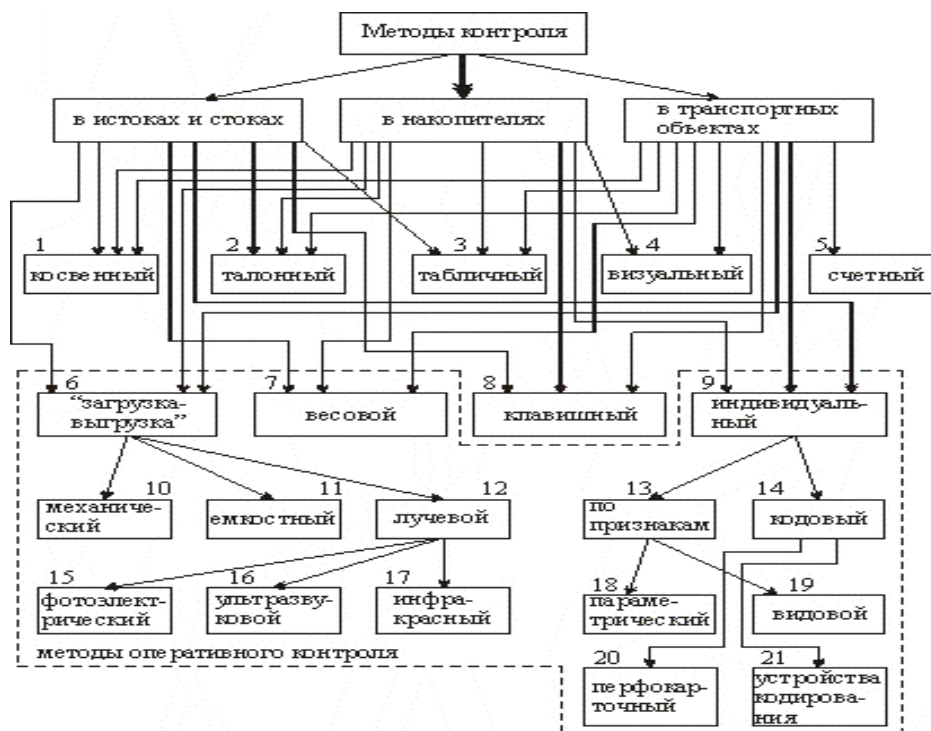


Рис. 3. Классификационный граф методов контроля параметров входных и выходных потоков сетевых транспортных объектов

Методы контроля параметров входных и выходных потоков можно разделить по месту проведения измерений: в истоках и стоках, накопителях или в транспортных объектах. Рассмотрим те из них, которые пригодны для контроля параметров входных и выходных потоков СТО в реальном масштабе времени (на классификационном графе они обведены пунктирной линией).

В [61+63] излагаются варианты, так называемого, весового метода получения требуемой информации. При этом устройства взвешивания (реализующие этот метод) устанавливаются либо в накопителях, либо в транспортных объектах. В первом и во втором случаях, реализуется процедура взвешивания ТО до и после накопителя. На основании данных взвешивания определяется информация о нагрузке на СТО. Недостатком этого метода является низкая точность (обусловленная функционированием устройств в среде не допускающим точную регулировку) и низкая информативность получаемых данных для целей оперативного управления. Вторую большую группу, составляют методы определения требуемых параметров на основе данных загрузки и выгрузки (истоков и стоков, накопителей и ТО). В свою очередь они подразделяются на методы, использующие механическое взаимодействие ПО с датчиками измерения, использующие изменение диэлектрической проницаемости при загрузке (выгрузке) ПО в ТО, пересечение лучей (световых, ультразвуковых, инфракрасных) излучаемых устройством измерения. В [64+67] излагается, так называемый, механический метод определения информации о нагрузке на СТО. При этом подвижные объекты взаимодействуют с контактными датчиками, которые определяют моменты времени их загрузки (выгрузки) в исток (или сток), накопитель или транспортный объект. Недостатком этого метода является недостаточная надежность функционирования реализующих его устройств, т.к. датчикам измерения приходится

работать в среде, которая достаточно быстро приводит их к отклонению от настроечных режимов (что требует, в свою очередь, частой регулировки). В [14] приводится описание, так называемого, емкостного метода получения информации. Этот метод основан на бесконтактной фиксации события загрузки (выгрузки) подвижных объектов (путем использования эффекта изменения ими диэлектрической проницаемости среды). Наряду с преимуществами (по сравнению с предыдущими методами), он обладает малой помехозащищенностью, что не привело к его широкому применению. Тем же недостатком обладают, так называемые световой (фотоэлектрический) и ультразвуковой методы [68+70], которые уже относятся к группе лучевых методов. Рассмотренные методы (и реализующие их устройства) обладают еще и тем недостатком, что они не рассматривают задачу контроля нагрузочных параметров СТО в ее системном виде. Устройства не образуют информационной сети сбора данных и не имеют достаточно развитых алгоритмических моделей обработки получаемой информации.

Системное решение задач автоматизации оперативного управления СТО требует основания параметров подлежащих измерению и разработки аппаратных средств комплексного их контроля. В третьей главе излагается, так называемый, инфракрасный метод [71, 72] контроля характеристик загрузки и выгрузки подвижных объектов в истоках (стоках), накопителях и транспортных объектах, который позволяет в большинстве случаев, устранить вышеназванные недостатки рассмотренных методов.

Проанализированные методы являются принципиально неточными, поскольку не выявляют структуру потоков подвижных объектов в транспортной сети. Третью группу методов (согласно классификационному графу рис.3), пригодных для оперативного контроля параметров входных и выходных потоков СТО, образуют, так называемые, индивидуальные методы. Сущность их заключается в фиксации индивидуальных признаков контролируемых подвижных объектов или их потоков. Первая часть этих методов использует признаки присущие самим подвижным объектам (размер, вес, цвет, и пр.), а вторая индивидуальный код присваиваемый подвижному объекту.

В [73] приводится описание, так называемого, параметрического метода. Сущность, которого заключается в измерении параметров подвижного объекта и распознавании их в требуемых случаях (при определении места и времени загрузки или выгрузки подвижного объекта). Как и все методы этой группы, он позволяет определять структуру потоков подвижных объектов. Этот метод является сложным для применения в системах контроля за параметрами транспортных сетей. Этим же недостатком обладает, так называемый, видовой метод (изложенный в [74]). С помощью сложной аппаратуры распознавания образов анализируются внешние характеристики подвижных объектов и на основе этого анализа формируются параметры загрузки на СТО.

В третьей главе описываются разработанные методы контроля, основанные на присвоении подвижным объектам индивидуальных кодов [75, 76]. Эти методы, в большинстве случаев, устраняют перечисленные выше недостатки методов этой группы. Важными параметрами транспортной сети для целей оперативного управления, являются значения координат транспортных объектов. Аппаратные средства их определения (и

методы, на основе которых они построены) достаточно подробно проанализированы в [2]. Общим недостатком при веденных в [2] аппаратных средств, является отсутствие системного подхода в выполняемых ими процедурах. Другими словами, технические средства и программное обеспечение не реализуют во взаимосвязи, проанализированные по параграфам этой главы, задачи оперативного управления.

1.5 Системное решение задач автоматизации оперативного управления сетевыми транспортными объектами

В рамках исследования различных сетевых транспортных объектов разработаны специальные методы идентификации, принятия решений и оптимизации. Проведенный системный анализ этих методов управления СТО позволяет заключить, что алгоритмическое содержание процесса оперативного управления транспортной сетью должно включать следующий набор локальных процедур: идентификация; прогнозирование; принятия топологических решений и расчета временных режимов функционирования СТО; оптимизация решений; настройки параметров транспортной сети, объединенных в единый циклический вычислительный процесс. На этапе идентификации транспортной сети определяются нагрузочные параметры СТО и расположение транспортных объектов в области допустимых перемещений. Эта процедура производится периодически, а также в моменты аварийных ситуаций. Система оперативного управления обладает текущей информацией о состоянии транспортной сети и в случае отклонения характеризующих ее параметров от настроечных, переходит к выполнению второй процедуры: прогнозирования. На этом этапе (с использованием модели транспортной сети) осуществляется прогноз ее нагрузочных параметров (значений элементов матриц корреспонденций СТО) вследствие перераспределения потоков подвижных объектов. Далее на третьем этапе используются методы адаптации топологических параметров СТО к новым потокам подвижных объектов. Если изменений в транспортной сети не произошло, то, следовательно, отклонение не существенно. В противном случае делается расчет временных режимов функционирования СТО. Третий и четвертый этапы тесно взаимосвязаны, ибо из множества решений должно быть выбрано оптимальное. На пятом этапе производятся настройки параметров транспортной сети (доведение принятых решений до исполнительных органов) и реальная ее адаптация к новым условиям функционирования. Далее повторяется вновь, первый этап контроля за правильностью исполнения принятых решений и верностью прогнозируемых параметров.

Из проведенного анализа моделей, алгоритмов и аппаратных средств следует, что для реализации предложенного системного решения задач автоматизации оперативного управления СТО, требуется провести детальное формализованное описание объекта управления с обоснованием контролируемых параметров. Необходимо разработать имитационную модель транспортной сети, способной выполнять операции по оптимизации и прогнозированию характеристик СТО в приемлемое для целей оперативного управления время. Учитывая сложность объекта, необходимо разработать совокупность диалоговых

средств корректировки структуры модели и режимов ее функционирования. Кроме этого, системный анализ известных решений показал, что требуется разработать комплексную систему контроля за нагрузочными параметрами СТО (с алгоритмическими моделями обработки получаемой информации), координатами транспортных объектов, точностью реализации найденных решений. Также из анализа следует, что необходимо разработать алгоритмы топологического и временного управления, информационно совместные со всеми элементами системы оперативного управления и развитыми диалоговыми средствами, для осуществления возможности учета, лицом, принимающим решения, трудно формализуемых факторов. Отсюда возникла постановка тех задач, которые приведены во введении. Решению этих задач и посвящены следующие главы.

Выводы:

1. Существующие алгоритмы определения топологических и временных параметров сетевых транспортных объектов не позволяют получать решение в реальном масштабе времени (в виду низкого быстродействия) и диалоговом режиме, не обладают средствами детализации результатов решения, обеспечивающих выбор эффективных управляющих воздействий.

2. Известные модели (аналитические и имитационные) транспортных сетей и их элементов не могут использоваться для прогнозирования состояния объекта управления. Их реализации в контуре оперативного управления (режим автоматизации моделирования) в реальном масштабе времени затруднены в виду отсутствия диалоговых средств настройки и корректировки моделей, а также специализированных аппаратных средств моделирования.

3. Эффективное решение задач оперативного управления транспортными сетями требует дополнительных исследований с позиций системного подхода в области информационного обеспечения алгоритмов идентификации и управления.

4. Процедура системного анализа задач автоматизации оперативного управления сетевыми транспортными объектами позволяет выявить недостающие технологические звенья, обеспечивающие комплексное решение этих задач, применительно к различным условиям транспортных сетей различной структуры и типов.

1.6 Методы и средства автоматизации моделирования транспортных сетей

В данной главе рассматривается формализованное описание транспортных сетей как объекта управления. Приводятся модели изолированного, гиперсвязного СТО и комплексная модель сети в целом. Показана возможность адаптации обобщенной модели транспортной сети к различным вариантам функционирования и типам СТО. Описывается комплекс диалоговых средств корректировки параметров обобщенной модели и аппаратный подход к моделированию сетевых транспортных объектов.

1.6.1 Формализованное описание объекта управления

Как показано в первой главе, для реализации системного решения задач оперативного управления сетевыми транспортными объектами, необходимо его строгое формализованное описание, в котором были бы отражены (с достаточной степенью точности) характерные атрибуты присущие реальному объекту. Для объектов рассматриваемого класса (транспортных сетей ГАП, сетей ГПТ, ТСС, конвейерных систем и т.д.), на концептуальном уровне можно сформировать множество главных компонентов. Для представления этого множества используем аппарат структурного описания сложных систем [85, 86].

В объекте управления можно выделить основные истоки и стоки, которые согласно [85] представимы следующим кортежем

$$IS = \langle I, S \rangle \quad (2.1)$$

I – исток порождает подвижные объекты в транспортную сеть, S – сток их поглощает. IS (SI) – объекты могут быть совмещены в области допустимых перемещений. Кроме того, если транспортная сеть замкнута, то ПО могут осуществлять переход из стока в сток.

Наряду с основными, объект управления может содержать и промежуточные (стационарные) истоки и стоки: $\hat{N}$ – накопители. Существующие в транспортной сети накопители могут служить различным целям. Если накопитель имеет возможность приема подвижных и транспортных объектов и выполняет буферные функции по совмещению характеристик входных потоков с параметрами функционирования СТО, то это N – накопитель. Если накопитель может взаимодействовать с транспортными и подвижными объектами, но служит для разрешения возможных конфликтов при пересечении траекторий ТО и ПО, то это N^+ – накопитель. Накопители взаимодействующие только с транспортными объектами и содержащие в себе участки СТО (участки безопасности), являются $\bar{N}$ – накопителями. Кроме этого, в транспортной сети существуют накопители в которых производятся различного рода промежуточные технологические отстой транспортных объектов (вместе с подвижными объектами), являющиеся N^0 – накопителями. Соответственно имеем

$$\hat{N} = \langle N, N^+, \bar{N}, N^0 \rangle \quad (2.2)$$

Совокупность N – накопителей могут образовывать узлы (U). В U_i входят те N_j транспортной сети, расстояние (в единицах времени, длины, затрат и пр.) до которых от N_k (выбранного за центральный для U_i) меньше или равно наперед заданной величине ε_u . Транспортная сеть может содержать основные и промежуточные накопители транспортных объектов (без подвижных объектов): $\hat{D}$ – накопители. Эти объекты сети характеризуются тем, что они поглощают и порождают транспортные объекты. Если время нахождения ТО в $\hat{D}$ – накопителе сравнимо с периодом функционирования транспортной сети, то это D –

накопители. Если же это время сравнимо с длительностью режимов функционирования самих ТО, то это $\bar{D}$ – накопители. Соответственно имеем

$$\hat{D} = \langle D, \bar{D} \rangle \quad (2.3)$$

В транспортной сети можно выделить две топологические структуры. Одна из них образует вспомогательную сеть (В – сеть) и характеризуется тем, что именно по ней могут перемещаться подвижные объекты (без транспортных объектов). Вспомогательная сеть может представлена неориентированным графом, вершинам которого поставлены в соответствии IS, Н, H^+ – объекты транспортной сети. Кроме этого, вспомогательная сеть содержит K^B – вершины, которые являются узлами упомянутого графа и которым не поставлены в соответствие элементы транспортной сети. Соответственно имеем

$$B = \langle IS, H, H^+, K^B \rangle \quad (2.4)$$

Вторая топологическая структура транспортной сети образует магистральную сеть (М – сеть), которая характеризуется тем, что по ней перемещаются транспортные объекты (с подвижными объектами и без них). Магистральная сеть может представлена ориентированным графом, вершинам которого поставлены в соответствие элементы транспортной сети имеющие возможность приема транспортных объектов ($\hat{D}$, $\hat{H}$). Кроме этого, магистральная сеть содержит K^M – вершины, которые являются узлами упомянутого ориентированного графа и которым не поставлены в соответствие элементы транспортной сети. Как и в предыдущем случае имеем

$$M = \langle \hat{D}, \hat{H}, K^M \rangle \quad (2.5)$$

Транспортные объекты, функционирующие в сети имеют различные по типу траектории (определенные на М – сети). Эти траектории могут быть детерминированы (на период функционирования транспортных объектов) или изменяется в зависимости от складывающейся ситуации (быть гибкими). Кроме того, на процесс перемещения транспортных объектов могут наложены ограничения упорядоченного следования в изолированных СТО. В связи с этим будем различать и соответствующие типы транспортных объектов ($\hat{E}$ – агрегатов):

$$\hat{E} = \langle \bar{E}, \tilde{E}, \bar{\bar{E}} \rangle \quad (2.6)$$

Траектории $\hat{E}$ – агрегатов могут включать различный набор элементов транспортной сети.

Например:

Формула см.

$$D_i \rightarrow H_r \rightarrow H_{r+1} \rightarrow H_d^+ \rightarrow H_{r+2} \rightarrow D_i;$$

$$D_i \rightarrow \bar{H}_l \rightarrow \bar{H}_{l+1} \rightarrow \dots \rightarrow \bar{H}_{l+k} \rightarrow H_t^0 \rightarrow (2.7) \\ \rightarrow H_h^+ \rightarrow H_c \rightarrow H_{l+n} \rightarrow H_{l+1} \rightarrow D_{j+1}$$

В этой работе транспортная сеть представляется как совокупность СТО. Сетевой транспортный объект определен на элементах М – сети и может содержать в своем составе различный набор $\hat{H}$ – накопителей, $\hat{E}$ – агрегатов. Другими словами, сетевой транспортный объект ($\hat{c}$ – объект) можно представить кортежем

$$\hat{C} = \langle \hat{H}, \hat{E}, K^M \rangle \quad (2.8)$$

В зависимости от типа используемых $\hat{E}$ – агрегатов, $\hat{c}$ – объекты подразделяются на строго детерминированные и гибкие:

$$\begin{aligned} \hat{C}_1 &= \langle H, \bar{H}, H^+, H^0, K^M, E \rangle \\ \hat{C}_2 &= \langle H, H^+, H^0, K^M, \bar{E} \rangle \\ \hat{C}_3 &= \langle H, H^+, H^0, K^M, \tilde{E} \rangle \end{aligned} \quad (2.9)$$

$\hat{C}$ – объекты принимают в свои H – накопители входной поток подвижных объектов и используя $\hat{E}$ – агрегаты, формируют выходной поток в этих же накопителях. Для создания целостной системы отношений введем обозначение подвижного объекта: m –объект. Совокупность m – объектов в некоторых случаях, образуют m – потоки. Рассмотрим некоторые возможные m – траектории для незамкнутых транспортных сетей:

$$\begin{aligned} I &\rightarrow S; \\ I &\rightarrow H \rightarrow S; \\ I &\rightarrow H \rightarrow \dots \rightarrow H \rightarrow S; \\ I &\rightarrow H \rightarrow \hat{E} \rightarrow H \rightarrow S; \\ I &\rightarrow H \rightarrow \hat{E} \rightarrow H \rightarrow \hat{E} \rightarrow \dots \rightarrow H \rightarrow \hat{E} \rightarrow H \rightarrow S. \end{aligned} \quad (2.10)$$

И для замкнутых сетей:

$$\begin{aligned} I &\rightarrow SI \rightarrow S; \\ I &\rightarrow H \rightarrow SI \rightarrow H \rightarrow SI \rightarrow H \rightarrow S; \\ I &\rightarrow H \rightarrow \dots \rightarrow H \rightarrow SI \rightarrow H \rightarrow \dots \rightarrow H \rightarrow SI \rightarrow \dots \rightarrow H \rightarrow S; \\ I &\rightarrow H \rightarrow \hat{E} \rightarrow H \rightarrow SI \rightarrow H \rightarrow \hat{E} \rightarrow H \rightarrow S; \\ I &\rightarrow H \rightarrow E \rightarrow H \rightarrow SI \rightarrow H \rightarrow E \rightarrow \dots \rightarrow H \rightarrow \hat{E} \rightarrow H \rightarrow S. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Характеристики порождения m – потоков в истоках могут быть детерминированы (для каждого m – объекта задается время его появления в транспортной сети) или

стохастическими (для истоков задается зависимость поступления m – потоков временным распределением [82]).

Учитывая вышеприведенные рассуждения и дополняя описание главных компонентов в соответствующих случаях представлениями m –объектов и $\hat{E}$ – агрегатов, транспортная сеть (T – сеть) на концептуальном уровне может определена кортежем

$$T = \langle M, B, IS, \hat{C}, \hat{D} \rangle \quad (2.12)$$

В свою очередь:

$$\begin{aligned} M &= \langle \hat{D}, \hat{H}, K^M, E \rangle \\ B &= \langle IS, H, H^+, K^B, m \rangle \\ IS &= \langle I, S, m \rangle \\ \hat{C} &= \langle H, E, K^M, m \rangle \\ \hat{D} &= \langle D, \bar{D}, \hat{E} \rangle \\ \hat{C}_1 &= \langle H, \bar{H}, H^+, H^0, K^M, \bar{\bar{E}}, m \rangle \\ \hat{C}_2 &= \langle H, H^+, H^0, K^M, \bar{E}, m \rangle \\ \hat{C}_3 &= \langle H, H^+, H^0, K^M, \tilde{E}, m \rangle \\ \hat{H} &= \langle H, H^+, \bar{H}, H^0, m \rangle \\ \hat{E} &= \langle \bar{E}, \tilde{E}, \bar{\bar{E}}, m \rangle \end{aligned} \quad (2.13)$$

В некоторых случаях удобно смешанную [22, 25, 26] T – сеть разделить на однородные (по выбранному критерию) подсети:

$$T = \langle T_1, T_2, ..., T_i, ..., T_k \rangle \quad (2.14)$$

Из истоков по элементам B – сети, m – объекты попадают в соответствующие H^+ , H – накопители и становятся там в очередь на обслуживание. $\hat{E}$ – агрегаты из $\hat{D}$ –накопителей (по элементам M – сети) проходят совокупность $\hat{H}$ – накопителей (соответствующей определенному $\hat{C}$ – объекту) и в H – накопителях производят обслуживание m – объектов (которые содержатся в них и которые находятся в очереди). Те m – объекты, которые попадают в стоки, покидают T – сеть (если T – сеть разомкнута) или переходят в истоки (если T – сеть замкнута).

Таким образом, в этом параграфе сделано формализованное описание транспортной сети с точки зрения компонентов ее управления. Для использования описания непосредственно в контуре оперативного управления СТО, необходимо детализировать параметры характеризующие главные компоненты T – сети и разработать алгоритмы связывающие их в систему моделирования, идентификации, управления.

1.6.2 Теоретико-множественное представление параметров сетевых транспортных объектов.

В этом параграфе, при теоретико-множественном описании выделенных компонентов транспортной сети, будем рассматривать только те параметры, которые необходимы для представления разработанных далее моделей. Совокупность же переменных, которые использованы в контуре управления, представлены в приложениях к данной работе. Т – сеть (в выбранный момент времени t) характеризуется множеством всех IS – объектов

$$IS^t = \{ (IS_k) \} \quad (2.15)$$

Каждый из IS_k – объектов расположен в области допустимых перемещений m – объектов и (или) $\hat{E}$ – агрегатов. Положение IS – объекта задается координатами (здесь и далее координаты определяются в выбранном базисе $\langle xoy \rangle$):

$$K_t^{IS} = \{ (IS_k, x_k, y_k) \} \quad (2.16)$$

Связь между I_i – истоком и S_j – стоком может быть задана двумя различными способами. Если Т – сеть является стохастической (в отношении появления m – объектов), то ее можно представить множеством:

$$A^t = \{ (I_i, S_j, A_{ij}) \} \quad (2.17)$$

где A_{ij} – вектор, характеризующий поступление m – объектов следующих из I_i – истока в S_j – сток (являющийся параметрами некоторого вероятностного закона распределения). В другом случае, эта связь может быть задана в виде:

$$A = \{ (I_i, S_j, m_r, t_r) \} \quad (2.18)$$

где m_r – кодовый номер m – объекта, t_r – время его появления. Множество (2.18) может формироваться и в процессе функционирования Т – сети. В случае, если t_r – является математическим ожиданием появления m – объекта, то это множество может дополнено вероятностными параметрами среднеквадратического отклонения. Логика поведения m – объектов в I – истоке, S – стоке может задана множествами:

$$A_j^{Im} = \{ (I_j, Q_l, \varepsilon_n) \} \quad (2.19)$$

$$A_j^{Sm} = \{ (S_j, L_k) \} \quad (2.20)$$

где ε_n – процентное соотношение группы m – объектов перемещающихся в Q_l – объект ($Q_l = H_l V S_l$), ко всему количеству m – объектов появившихся в I_j – истоке. Т – сеть, также описывается множеством накопителей

$$\hat{H}^t = \{ (\hat{H}_k) \} \quad (2.21)$$

которые как и IS – объекты заданы в области допустимых перемещений своими координатами. Через $\hat{H}$ – накопители проходят как $\hat{E}$ – агрегаты, так и m – объекты. Это предполагает определение характеристик поведения этих объектов в $\hat{H}$ – накопителях. Логика поведения $\hat{E}$ – агрегатов в $\hat{H}$ – накопителях представлена множеством

$$A_j^{HE} = \{ (H_j, \hat{E}_l, \hat{c}_k) \} \quad (2.22)$$

определяемое принадлежностью $\hat{E}_l$ – агрегата к его $\hat{c}_k$ – объекту. Логика поведения m – объекта (принадлежащего R_{ij} – группе) в H_j – накопителе задается следующим множеством:

$$A_j^{Hm} = \{ (R_{ij}, P_d, t_d^P, Z_l, K_n^m) \} \quad (2.23)$$

которое определяет тип сетевого транспортного объекта. Это множество содержит приоритет (P_d) $\hat{c}_l$ – объекта для m – объектов R_{ij} – группы, время действия этого приоритета (t_d^P) и K_n^m – вершину выхода m – объекта из $\hat{c}_l$ – объекта по заданному приоритету (при этом K_n^m – вершина M – сети может соответствовать H – накопителю или S – стоку). Множеством, также может задан алгоритм функционирования H^+ – объектов

$$A^{H+} = \{ (H_j^+, t_j^E, t_j^m, \varphi_j) \} \quad (2.24)$$

где t_j^E, t_j^m – время действия H_j^+ – накопителя в первом и втором состоянии [82], φ_j – начальная фаза функционирования упомянутого накопителя. H_j^0 – накопитель характеризуется параметрами технологического отстоя $\hat{E}$ – агрегатов. Состояние H_k^- – накопителя определяется переменной dk .

При этом

$$d_k = \begin{cases} 1, \text{если } H_k^- \text{ свободен;} \\ 0, \text{если } H_k^- \text{ занят } \hat{E} \text{ – агрегатом.} \end{cases}$$

Узлы T – сети определяются множеством входящих в них H – накопителей. $\hat{D}$ – накопители задаются множествами всех $\hat{E}$ – агрегатов, координат своего положения и логикой поведения $\hat{E}$ – агрегатов (определенной аналогично множеству (2.22) для H – накопителей). Сетевые транспортные объекты могут определяться различными способами. Например, множеством всех вершин M – сети:

$$\hat{c}^{Mk} = \{ K_j^M \} \quad (2.25)$$

множеством $\hat{E}$ – агрегатов входящих в $\hat{c}_k$ – объект

$$\hat{c}^{Ek} = \{E_j\} \quad (2.26)$$

множеством, определяющим временные режимы функционирования $\hat{c}_k$ – объекта

$$G_E^k = \{ (\hat{E}_i, P_l, \hat{H}_j, t_l^a, t_l^b) \} \quad (2.27)$$

которое содержит номера режимов (P_l), время их начала и окончания (t_l^a, t_l^b) и $\hat{H}_j$ – накопители проведения этих режимов (если требуется).

В и М – сети определяются множеством своих вершин и соответствующих им координат в области допустимых перемещений. Кроме этого, многим вершинам этих сетей, поставлены в соответствие (определенным множеством) элементы транспортной сети. Множествами также определены параметры дуг, связывающие вершины соответствующих В и М – сетей [82, 87].

Приведенное выше описание параметров Т – сетей с помощью множеств, позволяет на одной методологической основе исследовать сетевые транспортные объекты различных типов. Множество (2.23) при следующих значениях своих параметров

$$d = 1; P_d = 1; t_d^P = \infty; Z_l = \hat{c}_l \quad (2.28)$$

и K_n^M соответствует H_n имеет вид

$$A_j^{Hm} = \{ (R_{ij}, \hat{c}_l, H_n) \} \quad (2.29)$$

В этом случае, множество (2.29) описывает логику поведения m – объектов в H_j – накопителе изолированного $\hat{c}_l$ – объекта [37, 58, 88, 89]. Содержательно это означает, что m – объект, попав в H_j – накопитель, ожидает обслуживания $\hat{E}$ – агрегатом (принадлежащего только $\hat{c}_l$ – объекту) и не может его покинуть. По прибытии $\hat{E}$ – агрегата, m – объект попадает в него (если это не противоречит условиям загрузки) и перемещается до H_n – накопителя, где покидает $\hat{c}_l$ – объект.

Если элементы множества (2.23) имеют следующие значения своих параметров

$$d > 1; P_1 = P_2 = \dots = P_d; t_1^P = t_2^P = \dots = t_d^P = \infty; Z_l = \hat{c}_l \quad (2.30)$$

и K_n^M , как и в предыдущем случае, соответствует H_n , то оно принимает вид

$$A_j^{Hm} = \{ (R_{ij}, \hat{c}_k, H_r), \dots, (R_{ij}, \hat{c}_d, H_r) \} \quad (2.31)$$

В этом случае множество (2.31) описывает логику поведения m – объектов в H_j – накопителе гиперсвязных [82] $\hat{c}_k, \dots, \hat{c}_d$ – объектах. Содержательно это означает, что m – объект, попав в H_j – накопитель может переместиться в $\hat{H}_r$ – накопитель, используя $\hat{c}$ – объекты, которые этот накопитель содержат. Поскольку время действия приоритета больше времени

функционирования Т – сети, то m – объект не может покинуть H_j – накопитель, иначе как с помощью $\hat{E}$ – агрегата, принадлежащего заданному множеству (2.31) $\hat{c}$ – объекту.

В случае, если

$$\begin{aligned} & d > 1; P_1 \neq P_2 \neq \dots \neq P_d, \\ & 0 < t_d^P < \infty; Z_l = \hat{c}_l \vee 0 \end{aligned} \quad (2.32)$$

и K_n^M принимает значения (в соответствующих случаях) H_n или S_n , то множество (2.23) имеет вид

$$A_j^{Hm} = \left\{ (R_{ij}, P_1, t_1^P, \hat{c}_l, H_k), \dots, (R_{ij}, P_d, t_d^P, \hat{c}_k, H_l), \right. \\ \left. (R_{hr}, P_1, t_1^P, \hat{c}_l, H_n), \dots, (R_{hr}, P_m, t_d^P, 0, S_g) \right\} \quad (2.33)$$

и отражает d – альтернативную логику поведения m – объектов [87] в H_j – накопителе Т – сети. Содержательно это означает, что m – объект R_{ij} – группы, попав в H_i – накопитель Т – сети, становится в очередь и ожидает прибытия $\hat{E}$ – агрегата, принадлежащего $\hat{l}$ – объекту с приоритетом P_1 ($\hat{c}_l$). Если за время t_1^P , ожидаемый $\hat{E}$ – агрегат прибывает в H_j – накопитель, то m – объект попадает в этот $\hat{E}$ – агрегат и достигая H_k – накопитель, вновь становится в очередь. По истечении времени приоритета t_1^P , m – объект имеет возможность пользоваться следующим приоритетом (при этом остаются в силе и предыдущие P_d). При достижении времени действия P_m – приоритета (по множеству (2.33)), m – объект по элементам В – сети попадает в S_g (т.к. $Z_l = 0$ и $K_n^M = S_g$ в (2.33)) и либо покидает Т – сеть, либо переходит в I – исток в соответствии с множеством (2.20). Если в случаях описания изолированного и гиперсвязного сетевых транспортных объектов, принять значение t_d^P как и в (2.32), то m – объекты могут покидать H_j – накопитель не получив обслуживания.

Для нахождения элементов множества (2.23) можно использовать известные алгоритмы поиска кратчайших путей на графах отображающих соответствующие транспортные сети [90+93]. Эти алгоритмы можно модифицировать (с целью повышения быстродействия), учитывая специфику транспортных сетей имеющих совмещенные участки. Для этого дадим несколько определений.

Определение 1. Графом Т – сети (G^T), называется ориентированный граф, вершинами которого служат IS – объекты и Н – накопители, а дугами траектории возможного движения m – объектов по В – сетям и М – сетям в $\hat{E}$ – агрегатах.

Определение 2. Сжатым графом (G^{CT}) графа G^T , называется граф, вершины которого отображают узлы (U) Т – сети и Н – накопители (которые не вошли в узлы), а ориентированные дуги, связывая две вершины G^{CT} , отображают все ориентированные в этом направлении дуги G^T между этими вершинами.

Определение 3. Тружкой называется совокупность путей в графе G^{CT} ; совокупность путей в G^T , огражденных трубкой G^{CT} , называется пучком. Тогда модификация известных алгоритмов заключается в разделении процедуры поиска путей на два этапа: поиск в трубке G^{CT} и поиск в пучке. Как показали машинные эксперименты с модифицированными

алгоритмами, они способны дать сокращение времени поиска путей в графе транспортной сети в 10-20 раз (в зависимости от разветвленности исследуемой сети). Методика определения элементов множества (2.23) для Т – сети ГПТ изложена в [82]. Т – сеть ГАП отличается от транспортной сети ГПТ (в модельном представлении) тем, что последняя содержит фиктивные $\hat{c}$ – объекты, имитирующие функционирование обрабатывающих центров. Причем движение $\hat{E}$ – агрегатов в обратном направлении происходит мгновенно. Набор путей следования m – объектов декларируется технологическими схемами производственной программы. Для простых ГАП [94, 95], их транспортные сети элементарны. Для ГАП имеющих большую номенклатуру и мощные m – потоки [96+102] их сети приближаются по сложности к транспортным сетям ГПТ. Сети ТСС, в модельном представлении, являются комбинациями приведенных классов транспортных сетей. Для них путь следования m – объектов формируется на основе требований заказчика. Конвейерные системы (в модельном представлении), являются частным случаем Т – сетей ГАП при ограничениях на перемещение $\hat{E}$ – агрегатов. $\hat{E}$ – траектории здесь детерминированы и порядок следования $\hat{E}$ – агрегатов строго задан [103].

1.6.3 Диалоговый язык интерпретации транспортных сетей

На лингвистическом уровне (в рамках системы автоматизации (моделирования) Т – сеть может описана с помощью языка интерпретации транспортных сетей (ЯИТС), позволяющего автоматизировать процедуру формирования вариантов модели адекватных конкретному состоянию сети в сбойных режимах функционирования, а также при решении задач проектирования. В соответствии с определением языков в терминах формальных грамматик [85, 104], ЯИТС представляет собой четверку

$$L = \langle V, T, P, Z \rangle \quad (2.34)$$

где V – алфавит языка, $T \subseteq V$ – алфавит терминальных символов, P – конечный набор правил подстановки, Z – начальный символ. Синтаксические конструкции ЯИТС описываются следующей системой продукций, представленных в форме Бэкуса-Наура:

1. <программа>:: = <список операторов>
2. <список операторов>:: = <оператор> | <список операторов>
3. <оператор>:: = <оператор модификации> | <служебный оператор>
4. <служебный оператор>:: = <оператор входа> | <оператор выхода> | <оператор вызова таблиц> | <оператор присвоения> | <оператор продолжения>
5. <оператор модификации>:: = <оператор введения объекта> <оператор удаления объекта>
6. <оператор присвоения>:: = TSET<идентификатор>
7. <оператор введения объекта>:: = <оператор введения табличный> | <оператор введения автономный> | <оператор введения автоматический>

- 8.<оператор введения табличный>:: =
 {VISR|VHR|VMR|VUR|VHR|VPR|VLR|VKR|VCR|VBR|REGIM}.....<идентификатор>
 <оператор вызова таблиц>
- 9.<оператор введения автономный>:: =
 {VISA|VBA|VCA|VYHA|VDA|VLA|VKA|VUA|VHA|VMA|REGIMA}<идентификатор><терм> ... <терм>
- 10.<оператор удаления объекта>:: = {UIS|UH|UB|UM|UK|UU|UYH|UC|UD|UCI| }...
 <идентификатор>
- 11.<оператор введения объекта автоматический>:: =
 {VISAA|VHAA|VMAA|VCAA|VUAA|VYHA|VDAAA|VLAA|VKAA|VBAA
 }<идентификатор>VVOD<терм>
- 12.<оператор входа>:: = DIAL<идентификатор>
- 13.<оператор выхода> :: = ER<идентификатор>
- 14.<оператор продолжения>:: =PG<терм> | TB<терм>
- 15.<оператор вызова таблиц>:: = TAB<терм> ... <терм>
- 16.<идентификатор>:: = <набор цифр> | <набор литер> | <набор литер и цифр >
- 17.<терм>:: = <набор цифр> | <набор цифр и литер>
- 18.<набор цифр>:: = <0 | 1 | 2 | ... | 9>
- 19.<набор литер>:: = <A | B | C | ... | Z | A | B | ... |Я>

В соответствии с видом правил подстановки имеем

$U:: = NVU:: = WN$, где $N \subseteq T$, $UAW \subseteq V - T$.

Определяемая данной системой продукций, грамматика ЯИТС относится к классу регулярных, контекстно-свободных грамматик с фразовой структурой [105].

Для представления транспортной сети на уровне данных (в рамках предложенного подхода к моделированию) использована реляционная модель [106, 107]. Другими словами параметры транспортных сетей определяются таким образом, что их изменение не влияет на алгоритмы моделирующей системы [82]. Интерпретация параметров транспортных сетей как элементов реляционных таблиц, позволяет использовать подход к ее модификации аналогичный подходу к корректировке баз данных представленных реляционным способом [108, 109]. Для идентификации операторов в процессе настройки модели, используется набор зарезервированных ключевых слов, обозначения, и содержания которых приведены в /2/.

Литература

- 1 Патент РФ № 2399093 Цифровой процессор Кущенко В.А.-как информационная основа управляемого мира. 2010 г.
- 2.Патент РФ № 2399093 Процессор образов Кущенко В.А.– электронный мозг, 2012 г.
- 3 Патент РФ № 103805 Самовоспроизводящая клеточная структура Кущенко В.А.(ВК-формула жизни).2014 г.
- 4 Патент РФ № 106743. Модель управляемой посредством гравитационного взаимодействия планетной системы. Кущенко В.А. 2010 г.
- 5 В.А. Кущенко Устройства и комплексы обработки информации в неживых, живых и мыслящих системах принятия решений (управляемый мир). Книга 1-3, 750 стр., ISBN978-5-907426-68-9 г. Санкт-Петербург, 2017г.