

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РСФСР

Воронежский политехнический институт

На правах рукописи

Кущенко Виктор Анатольевич

УДК 658.51.001.57:681.3.06

СИСТЕМОНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АЛГОРИТМИЗАЦИЯ
УПРАВЛЕНИЯ СЕТЕВЫМИ ТРАНСПОРТНЫМИ ОБЪЕКТАМИ ГПС

диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

специальность 05.13.07 – Автоматизация технологических процессов и
производств (промышленность)

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор С.Л.Подвальный

Воронеж – 1986

Содержание

Введение	4
1. Модели и алгоритмы оперативного управления системами транспортными объектами	7
1.1. Алгоритмы определения топологических и временных параметров сетевых транспортных объектов	7
1.2. Модели транспортных сетей и их элементов	14
1.2.1. Аналитические модели	14
1.2.2. Имитационные модели	17
1.3. Методы контроля параметров входных и выходных потоков сетевых транспортных объектов	18
1.4. Системное решение задач автоматизации оперативного управления сетевыми транспортными объектами	20
2. Методы и средства автоматизации моделирования транспортных сетей	22
2.1. Формализованное описание объекта управления	22
2.2. Теоретико-множественное представление параметров сетевых транспортных объектов	25
2.3. Диалоговый язык интерпретации транспортных сетей	28
2.4. Аппаратные средства в системе моделирования транспортных сетей	29
2.4.1. Аппаратная реализация моделей сетевых транспортных объектов	30
2.4.2. Аппаратная реализация модели транспортной сети	32
3. Алгоритмы оперативной идентификации параметров транспортных сетей	37
3.1. Метод определения входных и выходных потоков по данным наполнения транспортных объектов	37
3.1.1. Алгоритмы функционирования аппаратных средств обработки параметров транспортных объектов	37
3.1.2. Алгоритмы идентификации параметров транспортной сети по наполнению транспортных объектов	38
3.2. Метод определения входных и выходных потоков сетевых транспортных объектов по данным наполнения накопителей	40
3.2.1. Алгоритмы функционирования аппаратных средств обработки параметров накопителей	40
3.2.2. Алгоритмы идентификации параметров транспортной сети по наполнению накопителей	42
3.3. Метод оперативного контроля структуры и интенсивности потоков подвижных объектов	43
3.3.1. Алгоритмы функционирования аппаратных средств контроля параметров траекторий подвижных объектов	43
3.3.2. Алгоритмы идентификации транспортной сети по параметрам траекторий подвижных объектов	45
3.4. Модифицированный алгоритм восстановления матриц корреспонденций подвижных объектов	48
4. Алгоритмы оперативного управления сетевыми транспортными объектами	49
4.1. Алгоритмы поиска гиперсвязных сетевых транспортных объектов	49

4.2. Алгоритмы определения временных параметров функционирования сетевых транспортных объектов	53
4.3. Алгоритмы функционирования элементов контура управления транспортной сетью	57
4.4. Модель элементов комплекса аппаратных средств управления	59
5. Практическая реализация моделей и алгоритмов управления и проектирования транспортных сетей	62
5.1. Решение задачи идентификации параметров сетевых транспортных объектов	62
5.2. Машинная лимитация сетевых транспортных объектов	64
5.3. Задача проектирования сетевых транспортных объектов	65
Заключение	67
Литература	70
Приложения	78

Введение

Актуальность темы. На XXVII съезде КПСС подчеркивалось, что темпы экономического роста в решающей мере зависят от машиностроения. Именно в этой области создаются новые орудия труда, системы машин, определяющий прогресс в других отраслях народного хозяйства. Здесь закладываются основы широкого выхода на принципиально новые, ресурсосберегающие технологии, повышения производительности труда и качества продукции.

В связи с этим особое развитие получает робототехника и создаваемые на ее основе гибкие производственные системы (ГПС). Одним из основных элементов ГПС являются транспортные объекты, объединенные в сеть в соответствии с конкретной технологической схемой. От эффективности функционирования сетевых транспортных объектов (СТО) зависит и эффективность работы ГПС в целом.

В настоящее время достаточно подробно исследован ряд вопросов в рамках СТО ГПС (например, моделирования, идентификации) применительно к характерным особенностям их конкретных типов. Однако отсутствует общий подход, позволяющий на единой методологической основе осуществлять решение задач автоматизированного управления различными СТО ГПС в реальном масштабе времени. В частности не полностью исследованы задачи формализованного описания и вариативного преобразования структуры моделей СТО, задачи идентификации и методы топологического, временного управления. В связи с этим, исследуемые в диссертационной работе вопросы, связанные с разработкой комплекса процедур, обеспечивающих системное решение задач автоматизации управления сетевыми транспортными объектами гибких производственных систем (далее называемыми транспортными сетями), являются актуальными.

Тема выполнена в соответствии с координационным планом работ по целевой комплексной программе О.Ц. 026 ГКНТ СССР, раздел 03, задание 03.01.04; координационным планом Минвуза СССР (комиссия №6 «Автоматизированные системы управления технологическими процессами», секция «Техническая кибернетика»); одним из основных научных направлений Воронежского политехнического института «Разработка и внедрение математических методов и алгоритмов управления сложными объектами и системами».

Цель исследования. Целью исследования является разработка системы моделей и алгоритмов, обеспечивающих решение задач автоматизации управления сетевыми транспортными объектами ГПС в реальном масштабе времени.

В соответствии с указанной целью исследования в рамках диссертационной работы, поставлены следующие задачи:

- разработка имитационных моделей сетевых транспортных объектов ГПС и языковых средств их формализованного описания;
- разработка метода формализации структурных преобразований СТО ГПС, необходимого для реализации автоматизированного исследования их моделей;
- разработка подсистем идентификации транспортных сетей;
- создание комплекса алгоритмов адаптивного управления АСУТП;
- разработка структуры средств аппаратной поддержки и алгоритмов ее рационального синтеза.

Методика исследования. Теоретические исследования, выполненные в работе, базируются на методах системного анализа (теории исследования операций, аппарате имитационных моделей, теории графов, методах формальных грамматик). Ряд вопросов, касающихся аппаратной поддержки алгоритмического обеспечения, основан на методах синтеза дискретных устройств и общей теории программирования. Достоверность теоретических исследований подтверждается данными экспериментального исследования на практической задаче, где проверяется адекватность моделей на дискретном множестве исходных данных реального процесса.

Научная новизна. Разработано формализованное описание транспортных сетей ГПС в виде теоретико-множественной модели, что дает возможность, в рамках предложенного аппарата, исследовать различные типы реальных СТО, направленно изменяя значения оптимизируемых показателей по выпуску конечных объектов производства и по загрузке оборудования.

Построены имитационные модели изолированного, гиперсвязного СТО и транспортной сети ГПС в целом, отличающиеся реляционным представлением параметров, задающих структуру объекта управления, что обеспечивает возможность применения разработанных в работе лингвистических средств автоматизации процессов, их корректировки и аппаратной поддержки алгоритмического обеспечения моделирования в контуре управления в реальном масштабе времени.

Разработаны алгоритмы адаптивного управления СТО ГПС, отличающиеся введением процедуры поиска параметров их рациональной топологии и временных режимов функционирования, совмещающих в едином итеративном процессе диалоговый режим по оценке допустимых вариантов и автоматический режим направленного перебора на дискретном множестве переменных.

Предложены алгоритмы идентификации параметров объекта управления, отличающиеся комплексным решением поставленной задачи, использующие информацию о нагрузочных потоках СТО ГПС в накопителях, транспортных агрегатах и характеристики траекторий подвижных объектов.

Практическая ценность. Для конкретных технологических процессов производства электродвигателей реализованы разработанные математические приемы и вычислительные процедуры при синтезе оптимизационных моделей технологических режимов функционирования их сетевых транспортных объектов. Сформированы оптимизационные модели выбора структуры транспортной сети гибкого автоматизированного производства интегральных микросхем в условиях действия случайных возмущений. Определена и практически реализована алгоритмическая структура и произведен выбор технических средств автоматизированной системы управления сетевыми транспортными объектами ремонтного участка.

Внедрение полученных результатов в производство позволило обеспечить повышение производительности оборудования, в условиях действия случайных возмущений на конкретный технологический процесс. Реальный экономический эффект от внедрения в промышленно-эксплуатационном узле технологической связи составил 83 тыс.р.

Результаты, выносимые автором на защиту:

- формализованное описание сетевых транспортных объектов гибких производственных систем;

- имитационные модели изолированного, гиперсвязного СТО и транспортной сети ГПС в целом с человеко-машинными процедурами их корректировки в реальном масштабе времени;
- адаптивные алгоритмы топологического и временного управления и структура технических средств АСУТП;
- алгоритмы идентификации параметров транспортных сетей ГПС по информации в накопителях, в транспортных агрегатах и по характеристикам траекторий подвижных объектов;
- программные модули для реализации практических задач управления сетевыми транспортными объектами, обеспечивающие практическое применение полученных результатов.

Внедрение работы. Научные результаты, изложенные в диссертации, получены при непосредственном участии автора в госбюджетной научно-исследовательской работе по теме «Создать библиотеку программных модулей для оптимизации системного проектирования технологических процессов и автоматизированных систем управления технологическими процессами» (НИР 03.02.14.04. целевой комплексной программы О.Ц. 026 ГКНТ СССР, раздел 03, утвержден Постановлением ГКНТ СССР и Госплана СССР от 12.12.1980 г. №473/249, №ГР 01830070132).

Основные положения диссертационной работы нашли практическое применение в НПО «Энергия», Промышленно-эксплуатационном узле технологической связи (г. Воронеж), что подтверждено соответствующими актами внедрения. Экономический эффект от внедрения результатов диссертации составляет 83 тыс.р.

Основные программные модули приняты в СОФАП при Киевском ПКБ АСУ.

Апробация работы. Основные теоретические положения, результаты и выводы были доложены на:

- межреспубликанской научно-технической конференции «Электрические цепи и системы», Пермь, 1980 г.;
- научно-технической конференции «Экономия ресурсов и повышение технико-экономических показателей электротехнических систем и устройств», Воронеж, 1982 г.;
- Всероссийской научно-технической конференции «Оптимизация радиотехнических систем и их элементов», Воронеж, 1982 г.;
- научно-технической конференции «Математика – народному хозяйству», Воронеж, 1984, 1985 гг.;
- II Всесоюзной конференции молодых ученых и специалистов, М., ВНИИЭМ, 1984 г.;
- научно-технической конференции «Автоматизация технологических процессов и промышленных установок», Пермь, 1984 г.;
- Всесоюзной научно-технической конференции «Прикладные проблемы анализа и управления микросистемами», Алма-Ата, 1985 г.;
- Всесоюзном совещании Микро-ЭВМ в управляющих и информационных системах в промышленности СК», Воронеж, 1985 г.;
- научной сессии Воронежского государственного университета, Воронеж, 1985, 1986 гг.;

- научно-практических семинарах по гибким автоматизированным производствам, проводимых кафедрой автоматизированных и вычислительных систем ВПИ совместно с НИИ математики ВГУ.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 7 научных работ, в том числе получены авторское свидетельство и положительное решение ВНИИГПЭ на изобретения.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, приложений и содержит 130 страниц машинописного текста (без таблиц, рисунков, библиографии и приложений).

В первой главе с системных позиций анализируются известные подходы к решению вопросов автоматизации принятия решений, моделирования и идентификации применительно к условиям СТО.

Предлагается системное решение задач автоматизации оперативного управления транспортными сетями.

Во второй главе проводится формализованное описание объекта управления, разрабатывается комплекс имитационных моделей транспортных сетей и диалоговых средств их корректировки.

В третьей главе рассматривается комплекс аппаратных и алгоритмических средств идентификации параметров СТО.

В четвертой главе дается описание адаптивных алгоритмов оперативного поиска оптимальных значений топологических и временных параметров управления и алгоритмическая модель его элементов.

В пятой главе рассматривается общее описание программных средств реализующих системный подход решения задач оперативного управления сетевыми транспортными объектами.

Диссертационная работа выполнена на кафедре автоматизированных и вычислительных систем Воронежского политехнического института.

1. Модели и алгоритмы оперативного управления сетевыми транспортными объектами

В данной главе 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.

1.1. 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 сильносвязной 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.

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 λ_c , 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):

$$P_{ij}^0 = (P_{ij} \frac{t_{o6}^c \cdot A_o}{A_c \cdot t_{o6}^c}) / (1 + \frac{t_{o6}^c \cdot A_o}{A_c \cdot t_{o6}^c}); P_{ij}^c = P_{ij} / (1 + \frac{t_{o6}^c \cdot A_o}{A_c \cdot t_{o6}^c}), \quad (1.2)$$

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 λ_c 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_c , 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 вышеуказанного 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), полуавтоматизированные 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:

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

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:

$$D_j^k = \min_{j,l} D_{jl}^{k-1} + d_{ij}^k, \quad (1.9)$$

использующей значения минимальной стоимости достижения предыдущего состояния (D_{jl}^{k-1}) в базе l [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.

1.2. Модели транспортных сетей и их элементов.

1.2.1. 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. 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 символического моделирования элементов СТО изложены в [32+36].

В [37] предлагается аналитическая символическая 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 невзаимодействии 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].

1.2.2. 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.

1.3. 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. 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 (источков 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 нагрузки 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.

1.4. 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.

2. Методы и средства автоматизации моделирования транспортных связей

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.

2.1. 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 отстои 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 H_j транспортной сети, расстояние (в единицах времени, длины, затрат и пр.) до которых от H_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 (B – 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, H, 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 (M – 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 M – 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):

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

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

Например:

Формула см.

$$\begin{aligned} D_i \rightarrow H_r \rightarrow H_{r+1} \rightarrow H_d^+ \rightarrow H_{r+2} \rightarrow D_i; \\ D_i \rightarrow \bar{H}_l \rightarrow \bar{H}_{l+1} \rightarrow \dots \rightarrow \bar{H}_{l+k} \rightarrow H_t^0 \rightarrow \\ \rightarrow H_h^+ \rightarrow H_c \rightarrow H_{l+n} \rightarrow H_{l+1} \rightarrow D_{j+1}. \end{aligned} \quad (2.7)$$

В этой работе транспортная сеть представляется как совокупность СТО. Сетевой транспортный объект определен на элементах M – 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:

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

$$\hat{C}_3 = \langle H, H^+, H^0, K^M, \tilde{E} \rangle.$$

$\hat{C}$ – 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:

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

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.

2.2. 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. T – 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 T – 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 T – сети. В случае, если t_r – является математическим ожиданием появления m – объекта, то это множество может дополнено вероятностными параметрами среднеекватратического 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. T – 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 $\hat{N}$ – накопителях. Логика поведения $\hat{E}$ – агрегатов в $\hat{N}$ – накопителях представлена множеством

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

определяемое принадлежностью $\hat{E}_l$ – агрегата к его $\hat{c}_k$ – объекту. Логика поведения m – объекта (принадлежащего R_{ij} – группе) в N_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 N – 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 N – 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 N – 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

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

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

V и M – 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 V и M – сетей [82, 87].

Приведенное выше описание параметров T – 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 N_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 T – сети, то m – объект не может покинуть H_j – накопитель, иначе как с помощью $\hat{E}$ – агрегата, принадлежащего заданному множеством (2.31) $\hat{c}$ – объекту.

В случае, если

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

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

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

и отражает d – альтернативную логику поведения m – объектов [87] в H_j – накопителе T – сети. Содержательно это означает, что m – объект R_{ij} – группы, попав в H_i – накопитель T – 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 – накопителя, 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 B – сети попадает в S_g (т.к. $Z_l = O$ и $K_n^M = S_g$ в (2.33)) и либо покидает T – 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 T – сети (G^T), называется ориентированный граф, вершинами которого служат IS – объекты и H – накопители, а дугами траектории возможного движения m – объектов по B – сетям и M – сетям в $\hat{E}$ – агрегатах.

Определение 2. Сжатым графом (G^{CT}) графа G^T , называется граф, вершины которого отображают узлы (U) T – сети и H – 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 T – сети ГПТ изложена в [82]. T – сеть ГАП отличается от транспортной сети ГПТ (в модельном представлении) тем, что последняя содержит фиктивные $\hat{e}$ – 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 T – сетей ГАП при ограничениях на перемещение $\hat{E}$ – агрегатов. $\hat{E}$ – траектории здесь детерминированы и порядок следования $\hat{E}$ – агрегатов строго задан [103].

2.3. Диалоговый язык интерпретации транспортных сетей

На лингвистическом уровне (в рамках системы автоматизации (моделирования) T – 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. $\langle \text{программа} \rangle ::= \langle \text{список операторов} \rangle$
2. $\langle \text{список операторов} \rangle ::= \langle \text{оператор} \rangle \mid \langle \text{список операторов} \rangle$
3. $\langle \text{оператор} \rangle ::= \langle \text{оператор модификации} \rangle \mid \langle \text{служебный оператор} \rangle$
4. $\langle \text{служебный оператор} \rangle ::= \langle \text{оператор входа} \rangle \mid \langle \text{оператор выхода} \rangle \mid \langle \text{оператор вызова таблиц} \rangle \mid \langle \text{оператор присвоения} \rangle \mid \langle \text{оператор продолжения} \rangle$

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 | V HR | 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 | Б | ... | 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 приложении 2.

2.4. Аппаратные средства в системе моделирования транспортных сетей

При решении задач оперативного управления транспортными сетями, важным является обеспечение процедуры принятия решений в реальном масштабе времени. Применение для этих целей высокопроизводительных ЭВМ (в настоящее время) является нецелесообразным [110, 111]. В этой связи возникает задача разработки специализированных устройств моделирования транспортных сетей и их

элементов, необходимых для повышения быстродействия программных средств моделирования.

2. 4. 1. Аппаратная реализация моделей сетевых транспортных объектов

Многие задачи по управлению транспортной сетью можно разделить на локальные и принимать решения относительно изолированных СТО или некоторой их группы. Это, например, задача определения оптимального числа транспортных объектов в СТО, скорости их движения, величин образующихся очередей подвижных объектов в накопителях [53, 58] и т.д. На рис. 4-7 приведена укрупненная блок схема алгоритма моделирования изолированного сетевого транспортного объекта, а на рис.8 структурная схема специализированного устройства моделирования, реализующего этот алгоритм. Моделирующий алгоритм имитирует поведение подвижных и транспортных объектов в накопителях СТО. По приходу подвижного объекта в накопитель он становится последним в очередь (если она есть) и ожидает транспортный объект. По приходу ТО, подвижные объекты (стоящие в очереди) начинают загружаться в транспортный объект по принципу: первый пришел в накопитель, первый вошел в транспортный объект. При посадке очередного ПО проверяется условие наличия свободных мест в транспортном объекте. Находясь в ТО, подвижный объект перемещается до того накопителя, номер которого ему определен заранее, по прибытию в этот накопитель, подвижный объект покидает СТО. На загрузку и выгрузку ПО в накопителях отведено заданное время.

Транспортные объекты к началу моделирования распределены равномерно по всему СТО. Условием отправления ТО из накопителя, является либо полная его загрузка, либо отсутствие подвижных объектов в накопителе. Входные переменные описывающие состояние модели и выходные параметры, получаемые в результате моделирования приведены в приложении 3. В [82] приводится реализация этого же алгоритма в терминах языка моделирования дискретных систем [53, 12]. В аппаратной реализации модель изолированного СТО состоит (рис.8) из блока накопления статистических данных (БС), блока потоков подвижных объектов (БП), блока движения транспортных объектов (БД), блока наполнения ТО подвижными объектами (БН), блока взаимодействия транспортных с подвижными объектами (БВ). Принципиальные схемы реализации блоков приводятся в [82]. К регистру сопряжения с управляющей вычислительной машиной [113], может быть подключено несколько специализированных устройств моделирования ИСТО.

Расширением этой модели является модель гиперсвязных сетевых транспортных объектов (ГСТО). Блок схема алгоритма моделирования приведена на рис.9-11 (в терминах языка моделирования дискретных систем [112]). Рассмотрим второй сегмент модели (описание первого сегмента, аналогично первому сегменту модели ИСТО, служащего для подготовки данных моделирования, приведено в [82]). Блоки GEN (здесь и далее названия блоков сокращены [82, 112]) порождают транзакты инициаторы (и-транзакты) для обеих направлений движения транспортных объектов в модели ГСТО. Блоки ASS и ADV (рис.9) параметрам и-транзактов присваивают признак направления и задерживают их на время равное

интервалу поступления подвижных объектов в ГСТО. SPL – блоки расщепляют и-транзакты на два. Один транзакт остается и-транзактом, а второй имитирует функционирование подвижного объекта (п-транзакт). И-транзакт попадает в TEST блок, который делает проверку: не последний ли п-транзакт пришел в модель. Если это последний п-транзакт (заданного направления), то и-транзакт поступает в блок PRINT, где фиксируется модельное время [86] прихода последнего транзакта. Далее и-транзакт удаляется из модели. После этого п-транзакты (этого направления) в модель не поступают, но процесс моделирования продолжается, поскольку время моделирования не закончилось. Если и-транзакт не последний (заданного направления), то TRANS – блоки посылают его вновь в ADV – блок, который задерживает и-транзакт на интервал времени поступления подвижных объектов в реальный ГСТО. Далее с этим и-транзактом повторяется вышеописанная процедура. И-транзакты (из упомянутых SPL – блоков) поступают в блоки ASS и TEST (рис.9), где получают номера накопителей входа в ГСТО и выхода из него. Далее п-транзакты попадают в QUE – блок, формирующий их очереди. Имитацию функционирования накопителей осуществляет UNLINK – блок (рис.9). Второй сегмент моделирующего алгоритма имеет несколько групп блоков GEN, ASS, ADV, TRANS, задающих набор СТО входящих в гиперсвязный сетевой транспортный объект (на рис.10 эти блоки обведены пунктирной линией). Изменение количества этих групп имитирует ввод и удаление сетевого транспортного объекта. В каждой из таких групп GEN – блок порождает число транзактов (т-транзактов) равное количеству ТО, функционирующих в СТО. Блоки ASS присваивают им идентификаторы соответствующие номеру СТО в ГСТО. Блок TRANS (в соответствующих случаях) посылает т-транзакты в общую последовательность блоков имитирующих движение транспортных объектов. ASS- блок (в этой последовательности) с помощью матрицы МН1 [82, 112], задает траекторию движения имитируемого ТО. Каждая строка МН1 относится к отдельному СТО. Следующие блоки ASS, посредством матрицы МН2, задают время прибытия ТО в следующий для него накопитель (который имитируется блоком UNLINK). UNLINK – блок удаляет все п-транзакты с номером накопителя, куда прибыл имитируемый ТО. Эта процедура происходит через блок TER. Блоки ASS и SAV здесь производят сбор статистических данных моделирования. Далее блок ADV имитирует задержку ТО в накопителе на время выгрузки подвижных объектов. Если имитируемый ТО полон, то TEST- блок посылает соответствующий т-транзакт в ADV – блок, имитирующий перемещение транспортного объекта до очередного накопителя. Если это конечный накопитель, то следующие блоки TEST и TRANS, назначают начальную последовательность проходимых накопителей. Если это не конечный накопитель, то т-транзакт будет имитировать движение до очередного накопителя (согласно МН1). Если имитируемый ТО незагружен полностью, то SAV – блоки осуществляют расчет статистических характеристик моделирования (приложение 3). Далее UNLINK – блок имитирует процесс выгрузки ПО из накопителей. При этом каждый из п-транзактов находящихся в блоке UNLINK, проходит последовательность блоков проверки (по ссылке А рис.10, 11). При этом ASS – блоки подготавливают проверяемые параметры. Если п-транзакт, находящийся в упомянутом блоке UNLINK относится не к тому накопителю, куда прибыл имитируемый ТО, то TEST –

блок отправляет п-транзакт обратно в LINK – блок (рис.9 по ссылке В). В противном случае (для п-транзакта) следующий TEST – блок осуществляет проверку наличия для прибывшего ТО номера накопителя, который является последним накопителем для имитируемого подвижного объекта. Если просмотрены все элементы соответствующей строки МН1, то TEST – блок и блок TRANS пересылают п-транзакты обратно в блок LINK (по ссылке В рис.9). Если же имитируемый ПО может достичь на прибывшем транспортном объекте конечный для него накопитель, то блок DEP организует имитацию уменьшения очереди в накопителе и процесс загрузки ПО в транспортный объект. Стоящий перед DEP – блоком, блок TEST, осуществляет проверку загруженности имитируемого ТО. Если транспортный объект загружен полностью, то п-транзакт (по ссылке В) вновь попадает в блок LINK (рис.9). П-транзакты, которые прошли совокупность проверочных блоков, переходят в блок LINK (рис.11). Этот блок имитирует транспортные объекты с точки зрения их заполнения. После того, как из блока UNLINK (рис.10) пройдут все п-транзакты, т-транзакт проходит последовательность блоков осуществляющих сбор статистических характеристик моделирования и попадает в блок ADV. Этот блок имитирует задержку транспортного объекта в накопителе на время загрузки подвижных объектов. Далее т-транзакт проходит в следующий для него блок ADV, который имитирует перемещение ТО до следующего для него накопителя (эта процедура была описана выше). Время моделирования процесса задается четвертым сегментом моделирующего алгоритма, аналогичного четвертому сегменту модели ИСТО [82]. В специализированное устройство моделирования изолированного сетевого транспортного объекта (рис.8) вносятся изменения [87] согласно приведенному алгоритму. Оценку параметров функционирования специализированных устройств, целесообразно осуществлять, с помощью модели дискретных электронных компонентов аппаратных средств [114].

2.4.2. Аппаратная реализация модели транспортной сети

Последовательный принцип работы современных ЭВМ не позволяет использовать модульный подход к созданию моделей транспортных сетей. Этот подход предполагает расширение модели путем подключения требуемого количества блоков имитирующих элементы транспортной сети. В этом параграфе описывается алгоритм функционирования и структура специализированного устройства, обеспечивающих выполнение условия параллельного моделирования. Рассмотрим подробно моделирующий алгоритм. Интенсивности поступления подвижных объектов из истоков транспортной сети, определены множеством (2.17), которое может представлено одноименной матрицей следующего вида

$$(2.35) \quad \Lambda^t = \begin{vmatrix} 0 & \lambda_{12} & \lambda_{13} & \dots & \lambda_{1n} \\ \lambda_{21} & 0 & \lambda_{23} & \dots & \lambda_{2n} \\ \lambda_{m1} & \lambda_{m2} & \lambda_{m3} & \dots & \lambda_{mn} \end{vmatrix}$$

где n, m – количество стоков и истоков в транспортной сети соответственно. Путем преобразования (2.35) получим следующие матрицы:

$$\bar{\Lambda}_{(i=\overline{1,m})}^t = [(\gamma \cdot (\sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^n \lambda_{ij}) / (\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \lambda_{ij})) i] = [\lambda_i^1] \quad (2.36)$$

$$\bar{\Lambda}_{(j=\overline{1,n})}^t = [(\gamma \cdot (\sum_{j=1}^j \sum_{i=1}^m \lambda_{ij}) / (\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \lambda_{ij})) j] = [\lambda_j^2] \quad (2.37)$$

Здесь $\gamma = \text{const}$. Тогда алгоритм определения истока и стока для поступившего в систему моделирования п-транзакта выглядит следующим образом.

1⁰. Используя генератор случайных чисел, распределенных по равномерному закону [115] (ГСЧР) от нуля до γ , получаем число X_0 .

2⁰. В матрице (2.36) находим такие элементы, что выполнимо следующее условие

$$\lambda_{i-1}^1 < X_0 \leq \lambda_i^1 \quad (\lambda_0^1 = 0) \quad (2.38)$$

3⁰. Исток с номером i назначается для поступившего п-транзакта.

4⁰. Используя ГСЧР, аналогичным образом получаем число Y_0 .

5⁰. В матрице (2.37) находим такие элементы, что выполнимо следующее условие

$$\lambda_{j-1}^2 < X_0 \leq \lambda_j^2 \quad (\lambda_0^2 = 0) \quad (2.39)$$

6⁰. Сток с номером j назначается для поступившего п-транзакта.

Если дисциплина поступления п-транзактов в модель задана множеством (2.18), то вышеописанный алгоритм назначения истоков и стоков не используется, поскольку они заданы явным образом. На рис. 12 – 15 изображены укрупненные схемы сегментов моделирующего алгоритма транспортной сети. Первый сегмент (рис.12) организует процедуру поступления п-транзактов в модель и перемещение их от истока до накопителя или от истока до стока, в зависимости от параметров множества (2.19). При этом движение п-транзактов имитируется временной задержкой определяемой соответствующим элементом вспомогательной сети. В зависимости от параметров моделирования (задаваемых ЯИТС), генерация п-транзактов происходит согласно множеству (2.17) или (2.18). В случае, если п-транзакт перемещается до стока транспортной сети, то он переходит в четвертый сегмент алгоритма (рис.14). Второй сегмент алгоритма моделирования (рис.12) воспроизводит процедуру управления транспортными объектами в сети. При этом (в соответствующих случаях) происходит опрос моделируемых истоков (стоков), накопителей транспортной сети на наличие заявок со стороны п-транзактов. Конечным результатом функционирования этого сегмента является траектория т-транзактов в рамках сетевого транспортного объекта (определяемых множествами (2.25) – (2.27)). В простейшем случае траектории т-транзактов определены заранее и детерминированы [75]. В других случаях, эти траектории рассчитываются специальными алгоритмами [28-30, 82, 116], некоторые из которых изложены в четвертой главе. Третий сегмент алгоритма (рис.13) имитирует движение транспортного объекта в сети и взаимодействие его с ПО в накопителях. Первый блок этого сегмента генерирует т-транзакты в соответствии с множеством, задающим логику поведения ТО в основных и промежуточных накопителях [82]. Второй блок присваивает им идентификаторы соответствующих сетевых транспортных объектов, входящих в моделируемую сеть. Третий блок организует перемещение т-транзактов в соответствии с множествами (2.22) и (2.25). При этом элемент множества (2.25) K_j^M может соответствовать одному из элементов определенных кортежами (2.2) и (2.3). В соответствии с этим, третий блок имитирует перемещение т-транзакта к ($\hat{N}$ или $\hat{D}$) – накопителю. Если т-транзакт попадает в имитируемый $\hat{D}$ – накопитель, то он там задерживается на величину определяемую параметрами множества (2.27) и затем переходит вновь во второй блок. Если т-транзакт

попадает в имитируемые (H^- , H^+ , H^0) – накопители, то после обработки входных параметров этого транзакта четвертым блоком сегмента, он проходит в пятый блок. Здесь делается проверка условий разрешения входа т-транзакта в перечисленные выше накопители. Если разрешение существует, то т-транзакт задерживается на величину равную продолжительности режимов функционирования этих накопителей (определяемых соответствующими множествами) и вновь проходит в третий объект сегмента для дальнейшего движения. Если же условия входа не выполнены, то т-транзакт проходит в шестой блок, где становится в очередь. Седьмой блок, в каждую единицу модельного времени проверяет состояние очереди т-транзактов в шестом блоке. Если пятый блок дает разрешение на вход, то первый из очереди т-транзакт помещается в пятый блок и далее в третий блок для дальнейшего движения. Если время нахождения т-транзакта в очереди шестого блока превысило заданный интервал, то этот транзакт активизирует и-транзакт, который проходит в восьмой блок. Этот блок осуществляет пересылку п-транзактов (находящихся в упомянутом т-транзакте) в четвертый сегмент (рис.14, по ссылке К) на движение по вспомогательной сети (в соответствующих случаях). Далее и-транзакт проходит в пятый сегмент (рис.14, по ссылке И) для активизации процедур изменения параметров модели транспортной сети. Путем изменения значений переменных пятого блока, могут имитироваться сбойные ситуации в моделируемой сети (с помощью шестого сегмента, рис.15). Если ТО, согласно множеству (2.25) должен переместиться к (H) – накопителю, то имитирующий его т-транзакт проходит в блок 10 (рис.13). Этот блок осуществляет проверку возможности прохождения через него т-транзакта. Если моделируемый накопитель занят предыдущими т-транзактами, то вошедший в блок т-транзакт проходит в блок 11. Этот блок организует формирование очередей т-транзактов перед накопителем. Седьмой блок осуществляет проверку состояния очереди т-транзактов в блоке 11 сегмента. Если время нахождения т-транзакта в очереди блока 11 превысило заданный интервал, то этот транзакт активизирует и-транзакт, который проходит в восьмой блок, аналогично ситуации нахождения т-транзактов в шестом блоке. Если блок 10 дает разрешение на вход, то первый из очереди т-транзакт проходит в блок 12, где осуществляется переход п-транзактов (относящихся к вошедшему в блок т-транзакту) в четвертый сегмент (рис.14, по ссылке Р). Этот же блок задерживает т-транзакт на время выгрузки имитируемых подвижных объектов. Вошедший в блок 12 транзакт активизирует и-транзакт, который по ссылке А, также проходит в четвертый сегмент и активизирует блок проверки прибытия т-транзакта в имитируемый накопитель. Далее т-транзакт проходит в блок 13, который осуществляет выбор п-транзактов из очереди моделируемого накопителя (по ссылке С из четвертого сегмента). При этом т-транзакт переходит из блока 13 в блок 14, осуществляя проверку условий выпуска очередного п-транзакта. Если очередь не пуста и имитируемый ТО не загружен полностью, то осуществляется имитация загрузки следующего подвижного объекта. Далее этот блок задерживает т-транзакт на время осуществления загрузки имитируемых подвижных объектов. Если время загрузки не равно нулю, то т-транзакт вновь приходит в блок 13, где осуществляется впуск п-транзактов, попавших в очередь за время задержки т-транзакта в накопителе. Если время задержки равно нулю или превысило заданную величину, то т-транзакт проходит в третий блок для дальнейшего движения. Кроме того, этот транзакт делает неактивным соответствующий блок четвертого сегмента и-транзактом по ссылке Г. Четвертый сегмент моделирующего алгоритма (рис.14)

организует перемещение п-транзактов по участкам вспомогательной сети между (Н) – накопителями (если задан соответствующий технологический режим функционирования для моделируемой транспортной сети) и формирования очередей в этих накопителях. Первый блок сегмента (в соответствии с заданным модельным временем) гарантирует и-транзакты, которые активизируют второй и третий блоки сегмента. Второй блок осуществляет проверку прибытия т-транзактов в имитируемый накопитель. Если второй блок принял и-транзакт по ссылке А (соответствующий т-транзакт прибыл), то этот и-транзакт активизирует четвертый блок, который в соответствии с множеством (2.23) осуществляет формирование очередей п-транзактов, относящихся к прибывшему в моделируемый накопитель т-транзакту. П-транзакты из сформированной очереди (по ссылке С) поступают в соответствующий блок третьего сегмента, имитируя загрузку транспортного объекта. После прибытия и-транзакта по ссылке Г, второй блок делает пассивным четвертый блок. Третий блок рассматриваемого сегмента, в соответствии с множеством (2.23) (отражающего различные варианты алгоритма поведения имитируемого ПО в накопителях [117+119]), определяет те п-транзакты (стоящие в очередях накопителей), которые могут перемещаться по вспомогательной сети без имитируемых транспортных объектов. Кроме упомянутых п-транзактов, этот блок обрабатывает п-транзакты, поступившие по ссылке К из соответствующего блока третьего сегмента. Сформировав группу п-транзактов, третий блок перемещает их в пятый блок, который задерживает п-транзакты на величину равную соответствующему параметру вспомогательной сети (тем самым имитируется перемещение подвижных объектов). В соответствии со значениями элементов множества (2.23), п-транзакты, проходят либо в шестой блок имитирующий сток транспортной сети или в седьмой блок. В последнем блоке происходит формирование очередей прибывших п-транзактов в новых имитируемых накопителях. Шестой блок осуществляет прием п-транзактов (по ссылке Т) из первого сегмента, а седьмой блок (по ссылке Р) из соответствующего блока третьего сегмента. Если моделируемая транспортная сеть разомкнута, то п-транзакт выводится из модели. Если же сеть замкнута, то в соответствии с множеством (2.20), п-транзакт переходит в новый источник. Пятый сегмент моделирующего алгоритма (рис.14) предназначен для автоматического перераспределения п-транзактов (находящихся в накопителях и вне их), т-транзактов в случае аварийной ситуации [11, 89] и в случае изменения режима функционирования моделируемой транспортной сети. Первый блок упомянутого сегмента, переопределяет [82] входные параметры заданные шестым сегментом (по ссылке Л). Далее второй блок организует поиск траекторий п-транзактов в сжатом, а третий блок в обычном графе транспортной сети (согласно алгоритму описанному выше). После этого четвертый блок производит формирование параметров этих траекторий, а пятый блок переопределение соответствующих элементов реляционных таблиц, составляющих информационную базу модели [82]. Первый блок сегмента также активизирует и шестой блок, который формирует параметры траекторий для т-транзактов, найденных во втором сегменте алгоритма и переданных в шестой блок по ссылке П. Далее эти параметры поступают также в пятый блок для корректировки элементов соответствующих реляционных таблиц [87]. Седьмой блок, на основе измененных данных, производит корректировку переменных моделирующих алгоритмов. Второй блок сегмента (в автоматическом режиме) может быть активизирован и-транзактом из третьего сегмента. Шестой сегмент (рис.15), по существу, представляет

собой набор сервисных функций, позволяющих производить машинные эксперименты с имитационной моделью. Его первый блок, с помощью операторов языка интерпретации транспортных сетей (конструкции которого были описаны выше) задает параметры транспортной сети. Режимы ее функционирования и набор алгоритмов, который будет использован в процессе моделирования, (с помощью первого блока) определяется вторым блоком. Этот блок и осуществляет управление моделирующим монитором. Третий блок, на основе параметров первого блока, формирует набор параметров, конкретизирующий класс моделируемой транспортной сети и типы используемых в них СТО [82]. Кроме этого здесь определяется начальное положение имитируемых транспортных объектов, параметры загрузки, величины очередей в накопителях. Этот блок, при функционировании в контуре оперативного управления [74, 80], связан с процедурами оперативной идентификации объекта управления [71, 83, 84, 120] (часть которых описана в следующей главе). Рассчитанные параметры (по ссылке Л), настраивают блоки соответствующих сегментов модели. Третий блок, выполняет функции диагностики структуры составленной модели и обеспечения ее выполнения. При определенных исходных данных, модель транспортной сети позволяет прогнозировать перераспределение потоков подвижных объектов в СТО. Тем самым определяются новые матрицы подвижных объектов, которые получились в результате изменения параметров объекта управления. Получение прогнозируемых матриц корреспонденций изолированных СТО (аналогичных матрице (2.35)), позволяет отказаться во многих случаях от классификации аварийных ситуаций [11]. Путем применения соответствующих алгоритмов к параметрам ИСТО, можно адаптировать их к новым значениям элементов упомянутых матриц. Для этой цели используется, например, алгоритмы поиска гиперсвязных сетевых транспортных объектов (изложенный в четвертой главе). Другими словами, шестой сегмент, на основе организации интерактивного режима, позволяет использовать модель транспортной сети в качестве экспертной системы.

Вышеописанные алгоритмы моделирования транспортной сети определяют и структуру специализированных аппаратных средств, служащих для этих же целей (рис.16). Аппаратные средства моделирования состоят из блоков имитирующих истоки (ИС), стоки (СТ), накопители (НК), транспортные объекты (ТО). Связь между перечисленными блоками (работающими параллельно) осуществляется с помощью управляемой шины (коммутатора – КМ), которая также подключена к управляющей вычислительной машине. Эта машина соединена со специализированным устройством поиска траекторий в графе транспортной сети (УПТ) [87]. Блоки аппаратных средств моделирования транспортных сетей, выполняются специализированными устройствами [82] или путем использования микропроцессорных средств [121+123], функционирующих в соответствии с описанными алгоритмами.

Выводы.

1. Транспортная сеть, в теоретико-множественном плане, может быть представлена множествами специального вида, элементы которых определены таким образом, что структура алгоритмов моделирования не зависит от параметров сети и ее класса.
2. Поведение подвижных и транспортных объектов, можно промоделировать многоальтернативной логикой выбора сетевого транспортного объекта в накопителях транспортной сети в условиях ее корректировки в процессе моделирования.

3. Процедуры прогнозирования структуры и интенсивности потоков подвижных объектов сводят процесс оперативного управления транспортной сетью к принятию топологических и временных управляющих воздействий, адаптирующих транспортную сеть к новым потокам этих объектов.

4. Процедуру адаптации транспортной сети можно свести по существу, к локальной адаптации сетевых транспортных объектов, путем изменения параметров и введения гиперсвязных СТО.

5. Сочетание диалоговых и аппаратных средств моделирования и управления позволяют реализовать процедуру принятия решений в реальном масштабе времени.

3. Алгоритмы оперативной идентификации параметров транспортных сетей

Во второй главе рассмотрены модели прогнозирования и выбора оптимальных параметров, используемых в контуре системы оперативного управления сетевыми транспортными объектами. Настройка моделей в начальный момент, осуществляется на основе оперативной информации о состоянии объекта управления. Кроме этого, в процессе функционирования СТО имеют место аварийные ситуации, которые приводят к отклонениям параметров от расчетных значений [124, 125]. Эти отклонения влияют на характеристики потоков подвижных объектов, которые необходимо постоянно контролировать.

В данной главе, согласно процедуре системного решения задач автоматизации оперативного управления СТО, рассматривается комплекс аппаратных средств и математических моделей для оперативной идентификации параметров транспортных сетей.

3.1. Метод определения входных и выходных потоков по данным наполнения транспортных объектов

Наиболее простым из методов оперативного формирования информации (по которой можно судить о состоянии транспортной сети), является метод, основанный на получении данных непосредственно в транспортных объектах. Несмотря на ясность этого метода [14], он не нашел должного распространения в связи с отсутствием надежных аппаратных средств получения упомянутой информации, каналов передачи данных и соответствующего математического обеспечения.

Лист потерян. Приемники 23, последовательно принимают эти сигналы и по линии связи передают их в полосовой фильтр 6. Этот фильтр выделяет сигнал с частотой модуляции, усиливает его и передает в детектор 7. Сигнал после детектора (в виде прямоугольного импульса) поступает на входы блоков 8. Этот сигнал проходит через тот входной ключ схемы (рис.18), который соответствует работающему в данный момент излучателю и ставит входной триггер в положение «ноль». При смене кода на счетчике 4, происходит выбор нового излучателя дешифратором 5 и нового ключа блоков 8. Следующий триггер (28, 29) устанавливается в исходное состояние. Такая же операция происходит со всеми остальными триггерами в блоках 8 [82]. Опрос излучателей 24 и входных ключей блоков 8, создает эффект двух лучей на канал загрузки подвижных объектов, порядок

пересечения которых дает возможность определить их направление движения. При загрузке, подвижный объект вначале пересекает первую линию между приемником и излучателем. При этом сигнал от соответствующего блока 8 поступает через элемент ИЛИ 10 на первый счетчик (13) загруженных подвижных объектов. Одновременно срабатывают элементы И-НЕ 32, 33 и элемент И 35. Происходит запираание элементов И 30 и 31 посредством триггера 38 (который в этом случае переходит в состояние «ноль»). После запираания входов соответствующего блока 8 сигнал на его выходах отсутствует. При дальнейшем осуществлении процедуры загрузки подвижного объекта, на выходе триггеров 28 и 29 появляются сигналы: «единица – единица», «ноль – единица» и «ноль – ноль». При выгрузке подвижного объекта, сигналы повторяются в обратной последовательности. В этом случае сигнал от блока 8 (за счет работы дешифратора 40 [71]) проходит через второй элемент ИЛИ 11 и увеличивает значение счетчика 14 выгруженных подвижных объектов. После состояния «ноль – ноль», устройство вновь готово к регистрации подвижных объектов. После того как транспортный объект покидает накопитель, сигнал с выхода коммутатора 15 отключает напряжение питания. Собранный информация передается в блок памяти 22 (содержащий схему управления памятью 17, запоминающие элементы 20 и регистр сопряжения 19) сигналом от ключа 21. При этом регистрирующие счетчики обнуляются, и гасится индикатор 9. По сигналу от ключа 21 в блок памяти, также записывается код реального времени, полученный от таймера (18). Описанное устройство является составным элементом аппаратных средств системы оперативного управления СТО. Посредством регистра 19, оно подключается к соответствующим блокам передачи информации (описанных в четвертой главе) устройств транспортных объектов [82, 128], которые образуют канал передачи данных в управляющий вычислительный комплекс.

3.1.2. Алгоритмы идентификации параметров транспортной сети по наполнению транспортных объектов

Комплекс вышеописанных аппаратных средств позволяет системе управления обладать следующей информацией:

$$A^- = \{\alpha_{lij}(t)\}; B^- = \{\beta_{lij}(t)\}, \quad (3.1)$$

где $\alpha_{lij}(t)$, $\beta_{lij}(t)$ – дискретные функции соответственно числа загруженных и выгруженных подвижных объектов в зависимости от времени, $l = \overline{1, \bar{0}}$ – номер сетевого транспортного объекта, $i = \overline{1, \bar{n}}$ – номер накопителя в СТО (или, в соответствующих случаях, в сети), $j = \overline{1, \bar{m}}$ – номер транспортного объекта в СТО. При измерении в течении времени функционирования сетевого транспортного объекта ΔT , согласно [14] имеем:

$$A_{\varepsilon li} = \sum_{t=t_{\varepsilon}}^{t_{\varepsilon}+\Delta t} \sum_{j=1}^m \alpha_{lij}(t); \quad (3.2)$$

$$B_{\varepsilon li} = \sum_{t=t_{\varepsilon}}^{t_{\varepsilon}+\Delta t} \sum_{j=1}^m \beta_{lij}(t); \quad (3.3)$$

где $A_{\varepsilon li}$, $B_{\varepsilon li}$ – соответственно число загруженных и выгруженных подвижных объектов в i – ом накопителе СТО в интервале времени $\varepsilon = \overline{1, \bar{\eta}}$; $\eta = [\Delta T / \Delta t]$; $\Delta t = \text{const}$. Тогда:

$$\bar{Q}_{\varepsilon lj} = \sum_{t=t_{\varepsilon}}^{t_{\varepsilon}+\Delta t} \sum_{i=1}^n \beta_{lij}(t) \quad (3.4)$$

является числом обслуженных ПО транспортным объектом с номером j (входящих в СТО с номером l) за интервал ε ;

$$Q_{\varepsilon l} = \sum_{j=1}^m \bar{Q}_{\varepsilon lj} \quad (3.5)$$

является числом обслуженных ПО сетевым транспортным объектом с номером l за интервал ε ;

$$\bar{Q}_\varepsilon = \sum_{l=1}^{\theta} \bar{Q}_{\varepsilon l} \quad (3.6)$$

является числом обслуженных ПО всей транспортной сетью за ε – интервал времени;

$$\bar{Q} = \sum_{\varepsilon=1}^{\bar{n}} \bar{Q}_\varepsilon \quad (3.7)$$

является числом обслуженных ПО управляемой транспортной сетью за время ее функционирования. Кроме того, из множеств (3.1) можно получить следующую информацию:

$$\bar{H}_{lj(i,i+1)}(t) = h_{lj(i,i+1)}(t) + \alpha_{lij}(t) - \beta_{lij}(t), (i=1, \bar{n}-1), \quad (3.8)$$

являющейся величиной загрузки транспортного объекта (j), входящего в СТО (l) на участке от i -го до $(i+1)$ -го накопителя в зависимости от времени. Здесь:

$$h_{lj(i,i+1)} = H_{lj(i,i+1)}(t) \quad (3.9)$$

при наличии у системы управления информации о том, что транспортный объект с номером j , покинул $(i+1)$ -ый накопитель.

$$\bar{H}_{l(i,i+1)}(t) = \sum_{j=1}^m H_{lj(i,i+1)}(t) \quad (3.10)$$

является величиной загруженности участка СТО между i -ым и $(i+1)$ -ым накопителями в зависимости от времени (при этом некоторые транспортные объекты могут и не быть на этом участке). Далее можно определить среднюю величину загруженности участка СТО за ε – интервал времени

$$\bar{H}_{\varepsilon l(i,i+1)}^c = \sum_{t=t_\varepsilon}^{t_\varepsilon + \Delta t} (\bar{H}_{l(i,i+1)}(t) / \Delta t) \quad (3.11)$$

и затраты времени на обслуживание подвижных объектов на этом участке

$$T_{\varepsilon(i,i+1)}^c = H_{\varepsilon l(i,i+1)}^c \Delta t \quad (3.12)$$

Аналогично эти параметры можно рассчитать и для сети в целом. Средняя величина загруженности участка транспортной сети за ε – интервал времени равна

$$\bar{H}_\varepsilon^T(i,i+1) = \sum_{t=t_\varepsilon}^{t_\varepsilon + \Delta t} \sum_{l=1}^{\theta} \sum_{j=1}^m H_{lj(i,i+1)}(t), \quad (3.13)$$

здесь ($i=1, \bar{n}-1$) принадлежит уже к нумерации накопителей в транспортной сети; затраты времени на обслуживание подвижных объектов на участке транспортной сети равны

$$T_\varepsilon^T(i,i+1) = \bar{H}_\varepsilon^T(i,i+1) \Delta t \quad (3.14)$$

Из исходных данных (3.1) можно получить среднюю величину загруженности сетевого транспортного объекта и транспортной сети за ε – интервал времени и соответствующие затраты времени по СТО и сети:

$$\bar{H}_{\varepsilon l}^c = \sum_{i=1}^{n-1} H_{\varepsilon l(i,i+1)}^c; \quad (3.15)$$

$$\bar{H}_\varepsilon^T = \sum_{i=1}^{n-1} H_\varepsilon^T(i,i+1); \quad (3.16)$$

$$T_{\varepsilon l}^c = \sum_{i=1}^{n-1} T_{\varepsilon(i,i+1)}^c; \quad (3.17)$$

$$T_\varepsilon^T = \sum_{i=1}^{n-1} T_\varepsilon^T(i,i+1). \quad (3.18)$$

Кроме того, приведенных параметров достаточно для расчета средней величины загруженности СТО за время функционирования

$$\bar{H}_l^c = \sum_{\varepsilon=1}^{\eta} \bar{H}_{\varepsilon l}^c / \eta. \quad (3.19)$$

Аналогично рассчитываются (с использованием значений (3.16) – (3.18)) средняя величина загруженности транспортной сети и временные затраты для СТО и сети за ε – интервал.

Статистические параметры приведенных величин (при многократных измерениях) могут определяться по методикам, изложенным в [53, 112]. Величины, найденные по формулам (3.11), (3.13), (3.15), (3.16) можно использовать для контроля за отклонением

параметров функционирования транспортной сети и ее элементов, от заранее рассчитанных значений.

Величина и знак отклонения дают информацию для применения процедуры прогнозирования дальнейшего состояния транспортной сети [82, 87]. Значения параметров найденных по формулам (3.2), (3.3) позволяют контролировать результаты прогноза потоков подвижных объектов и производить корректировку самой модели (в необходимых случаях) и принятых решений. Величины, найденные по формулам (3.6), (3.7) и (3.17), (3.18) служат для оценки эффективности функционирования СТО и транспортной сети. При увеличении числа обслуженных объектов за определенный интервал времени, увеличиваются и соответствующие затраты времени. Путем введения новых (например, гиперсвязных СТО) эти затраты можно уменьшить.

3.2. Метод определения входных и выходных потоков сетевых транспортных объектов по данным наполнения накопителей

При оперативном управлении сетевыми транспортными объектами, необходимо обладать информацией не только о том, какова загруженность участков транспортной сети и ее элементов, но и данными которые бы показывали динамическую картину складывающейся ситуации в сети на любой момент времени [129]. Система, описанная выше, не может дать информации об очередях в накопителях и во многих случаях фиксирует рассогласование с настроечными параметрами как факт, который уже нельзя устранить. Для системы оперативного управления необходимы данные, позволяющие определять характеристики рассогласования на более ранней стадии, для принятия управляющих решений упреждающих последствия сбоев в функционирующей транспортной сети.

3.2.1. Алгоритмы функционирования аппаратных средств обработки параметров накопителей

Центральное место в описываемой здесь системе занимает устройство определения числа загруженных и выгруженных подвижных объектов в накопителях СТО [84]. Рассмотрим подробно алгоритм его функционирования.

После подачи напряжения питания начинает работать генератор 5 (рис.19), который посылает сигналы на двигатель 3 и формирователь 6. Сигналы от делителя поступают на распределитель импульсов 7, который последовательно посылает их на первые разрешающие входы ключей 4. На инверсном выходе формирователя 22 присутствует сигнал «единица», который разрешает работу излучателей 1. Излучатели, последовательно выдают кванты несущей частоты, промодулированной сигналом делителя 3. Каждый излучатель 1 устанавливается напротив приемника 2 в канале загрузки подвижных объектов в накопитель (излучатели и приемники аналогичны описанным в предыдущем параграфе). Это позволяет создать эффект двух лучей в канале, без влияния одного излучателя на приемник другого. Сигналы опроса распределителя 7 поступают также и на разрешающие входы блоков анализа загрузки или выгрузки 11 (рис.18). На информационные входы этих же блоков поступают сигналы от приемников

через фильтр 9 и детектор 10. При этом соответствующий блок 11 принимает сигнал от своего излучателя. В случае, если канал загрузки-выгрузки в накопитель свободен, то на входах блоков 11 присутствует сигнал «ноль». В случае, если осуществляется процесс загрузки или выгрузки, то подвижный объект создает на первом или втором выходе соответствующего блока 11 сигнал «единица». Этот сигнал проходит через элемент ИЛИ 12, либо через элемент ИЛИ 13 и увеличивает значение счетчика загруженных (14) или (в соответствующих случаях) выгруженных (15) подвижных объектов в накопитель. Описанная процедура циклически повторяется со всеми излучателями всех контролируемых каналов. При подаче напряжения питания, также начинает функционировать генератор 38 (рис.20). Сигнал с выхода этого генератора поступает на формирователь 39 и оттуда на первый вход ключа 44. Поскольку триггер 52 находится в инверсном состоянии, то импульсы поступают на вход распределителя 45, который генерирует сигнал «единица» на своем втором выходе. Этот сигнал открывает ключ 46, разрешая прохождение сигнала модуляции от генератора 36 на передатчик 47. После истечения интервала времени, равного длительности стартовой посылки, распределитель 54 вырабатывает сигнал «единица» на первом выходе. Этот сигнал разрешает работу распределителя 40 и увеличивает на единицу значение счетчика 37. Распределитель 40 посылает сигналы на разрешающие входы коммутатора 41, который преобразует параллельный код в последовательный. Этот код с выхода коммутатора 41 поступает на вход ключа 42, разрешая прохождение сигнала модуляции от генератора 38 на вход передатчика 47 (через элемент ИЛИ 43). Таким образом, за служебной посылкой формируется код номера опрашиваемого накопителя. Этот код передается в блок, устанавливаемый в накопителе. После передачи упомянутого кода, распределитель 45 на третьем выходе генерирует сигнал «единица», разрешая прием информации от приемника 44 (через ключ 48). Передаваемый передатчиком 47 сигнал, поступает на приемник 23, откуда на фильтр 24 (где выделяется модулирующая составляющая). Сигнал от фильтра поступает на детектор 25, который выделяет стартовую посылку. После окончания этой посылки, детектор разрешает прохождение импульсов от формирователя 6 на тактирующий вход регистра 30 (через ключ 28 и делитель 29). Следом за стартовой посылкой поступает код номера накопителя. Поскольку детектор 25 заблокирован триггером 27, то функционирует только детектор 26. Сигнал с выхода этого детектора поступает на информационный вход регистра 30. После приема информации, сигнал с выхода регистра запрещает прохождение импульсов на свой тактирующий вход (посредством триггера 27). В случае равенства поступившего кода, коду, записанному в блоке 32, на прямом выходе компаратора 31 появляется сигнал «единица». В противном случае, такой же сигнал появляется на инверсном выходе этого компаратора, производящий обнуление регистра 30. Далее блок 4 установленный в накопителе продолжает функционировать, как было описано выше. Если же коды равны, то сигнал с выхода формирователя 37 разрешает прохождение сигнала от генератора 5 через ключ 35, элемент ИЛИ 34, передатчик 33. Тем самым формируется стартовая посылка передаваемой информации. Сигнал с выхода формирователя 22 поступает на первый вход триггера 21, переводя его в состояние «единица». С инверсного выхода формирователя 22, сигнал «ноль» запрещает функционирование излучателей 1. При этом происходит запись информации из счетчиков 14, 15 в регистр 18 (и затем через элемент задержки 16 обнуление этих счетчиков). После перехода триггера 21 в состояние «единица», ключ 19

открыт и импульсы от формирователя 6 поступают через делитель 20 на вход регистра 18 и счетчика 17. Записанная информация в регистре, последовательно поступает на вход ключа 36, разрешая прохождение сигнала модуляции от генератора 5 на вход передатчика 33. Таким образом, информация, собранная в блоке, устанавливаемом в накопителе (рис.19) поступает в блок, находящийся в центре управления (рис.20). После окончания передачи информации, сигнал с выхода счетчика 17 переводит блок, устанавливаемый в накопителе в начальное состояние. Далее этот блок продолжает функционировать, как было описано выше. Приемник 55 принимает сигнал от передатчика 33 и передает его в фильтр 49, 50, где выделяется модулирующая составляющая сигнала. Далее детектор 51 выделяет стартовую посылку. После окончания стартовой посылки, детектор генерирует сигнал, который запрещает (посредством триггера 52) функционирование распределителя 45. Если сигнал с выхода триггера 52 не придет через время, необходимое для прихода обратной информации от блока, устанавливаемого в накопителе, то распределитель 45 вновь начнет свой цикл работы. Сигнал от генератора 38 через ключ 53 и делитель 54 поступает на тактирующий вход регистра 57, где фиксируется принимаемая информация от накопителя. После появления сигнала на служебном выходе регистра 57, блок, устанавливаемый в центре управления, переходит в начальное состояние (посредством триггера 52 и элемента задержки 58), а информация из регистра 57 записывается в блок памяти 59. Таким образом, в блоке памяти накапливается информация о величинах очередей в накопителях контролируемой транспортной сети. При запросе со стороны управляющего вычислительного комплекса, блок памяти 59 передает собранную информацию. В рассмотренном устройстве используется радиоканал передачи данных. Как отмечается в [130], выбор несущей частоты для этих целей, представляет собой самостоятельную проблему. Для устранения этого недостатка, необходимо использовать проводной канал связи [82], к которому подключены передатчики и приемники описанных блоков (на рис.21 1 – блок, устанавливаемый в центре управления, 2 – блоки, устанавливаемые в накопителях). Протокол организации связи между блоками остается прежним.

3.2.2. Алгоритмы идентификации параметров транспортной сети по наполнению накопителей

Комплекс вышеописанных аппаратных средств позволяет системе управления обладать следующей информацией

$$A^1 = \{\alpha_{ik}(\varepsilon)\}, \quad B^1 = \{\beta_{ik}(\varepsilon)\}, \quad (3.20)$$

где $\alpha_{ik}(\varepsilon)$, $\beta_{ik}(\varepsilon)$ – дискретные функции, соответственно загруженных и выгруженных подвижных объектов в накопителе с i -ым номером ($i = \overline{1, n}$) в зависимости от интервала времени ε , в результате k -го измерения ($k = \overline{1, \chi}$). На конец ε – интервала величина загруженности накопителя подвижными объектами равна

$$\tilde{H}_{ik}(\varepsilon) = \tilde{H}_{ik}(\varepsilon - 1) + \alpha_{ik}(\varepsilon) - \beta_{ik}(\varepsilon), \quad \tilde{H}_{ik}(0) = 0 \quad (3.21)$$

На рис.22, 23 показаны примеры зависимостей $\tilde{H}_{ik}$ от времени и от номера ε – интервала для различных накопителей [131]. Математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение этих величин (в случае многократного измерения) можно выразить формулами

$$\tilde{H}_i^0(\varepsilon) = \frac{1}{\chi} \sum_{k=1}^{\chi} \tilde{H}_{ik}(\varepsilon), \quad (3.22)$$

$$\tilde{H}_i^{\delta}(\varepsilon) = \sqrt{\sum_{k=1}^X \left(\frac{\tilde{H}_{ik}^0(\varepsilon) - \tilde{H}_{ik}(\varepsilon)}{X} \right)^2} \quad (3.23)$$

Аналогичным образом эти величины могут быть рассчитаны и для других параметров. Временные затраты подвижных объектов на пребывание в i -ом накопителе равны:

$$T_i^H(\varepsilon) = \tilde{H}_{ik}(\varepsilon) \cdot \Delta t \quad (3.24)$$

Величину загруженности накопителей управляемой транспортной сети можно определить из следующего выражения

$$\tilde{H}_k(\varepsilon) = \sum_{i=1}^n \tilde{H}_{ik}(\varepsilon) \quad (3.25)$$

Временные затраты подвижных объектов на пребывание в накопителях транспортной сети за время ее функционирования равны:

$$T^H = \sum_{\varepsilon=1}^{\bar{\eta}} \sum_{i=1}^n T_i^H(\varepsilon) \quad (3.26)$$

Используя выражение (3.18) можно оценить суммарные временные затраты подвижных объектов на пребывание в накопителях и перемещение в сети за ε – интервал:

$$T^S(\varepsilon) = T_i^H(\varepsilon) + T_{\varepsilon}^T \quad (3.27)$$

и за все время функционирования

$$T^S = \sum_{\varepsilon=1}^{\bar{\eta}} T^S(\varepsilon) \quad (3.28)$$

При умножении величин получаемых по формулам (3.24), (3.26), (3.27), (3.28) на стоимость единицы временных потерь (для подвижных объектов) получаем соответствующие затраты в стоимостном выражении. Для осуществления контроля отклонений от заранее рассчитанных параметров могут быть использованы величины, найденные по формулам (3.21) – (3.23), (3.25). Для оценки эффективности функционирования транспортной сети могут использоваться характеристики определяемые выражениями (3.24), (3.26) – (3.28). При этом необходимо стремиться к минимизации их значений. Кроме этого, выражение (3.21) позволяет получать значения максимальных очередей в накопителях. Превышение их длины некоторого заданного значения, служит сигналом для применения процедуры прогнозирования дальнейшего состояния транспортной сети. Если параметры нового состояния сети выходят за рамки ее нормального режима, то следует применять адаптационные процедуры, упреждающих последствия возможной аварийной ситуации [82].

3.3. Метод оперативного контроля структуры и интенсивности потоков подвижных объектов

Описанные выше системы получают информацию, по которой можно лишь косвенно судить о структуре потоков подвижных объектов. Они не позволяют определять траектории этих объектов, знание которых дает всю информацию по вышеописанным параметрам упомянутых систем [76]. Точность прогнозирования состояния транспортной сети во многом зависит от точности идентификации ее модели в начальный момент времени. Это обуславливает необходимость разработки комплекса аппаратных средств и соответствующего математического обеспечения для решения указанной задачи.

3.3.1. Алгоритмы функционирования аппаратных средств контроля параметров траекторий подвижных объектов

Центральное место в описываемой здесь системе, занимает устройство определения параметров траекторий подвижных объектов [76], которое состоит из двух блоков. Первый блок устанавливается в контрольных точках транспортной сети (рис.24), а второй в центре управления (рис.25). Кроме этого, первый блок может установлен также и в транспортном объекте. В этом случае, запуск устройства осуществляется автоматически (элементом 30) [76]. В противном случае, включение осуществляет оператор (при этом с помощью дешифратора 29 и индикатора 28 он информируется о точках контроля). Генератор 1 посылает сигналы на первые входы блока ключей 6, на первый вход делителя 2 и 22. При появлении сигнала на выходе делителя 2, формирователь 3 вырабатывает импульс, который поступает на вход распределителя (счетчик 4 и дешифратор 5) импульсов (РИ). Сигнал опроса с выхода распределителя поступает на вход соответствующего ключа блока 6. Сигнал «единица» от выхода формирователя 3 поступает на вход элемента ИЛИ 7 и с его выхода на вторые входы блока ключей 6. Ключ (например 6.1) открыт и поэтому происходит излучение промодулированного радиоимпульса излучателем (например 8.1). Формирователь 3 переходит в состояние «ноль» на прямом выходе и в состояние «единица» на инверсном. При этом открывается ключ 10. Если подвижного объекта нет в зоне действия сигнала излучателя (например 8.1), то делитель 2 вновь посылает сигнал на вход формирователя 3 и описанная процедура повторится вновь, только с другим излучателем (например 8.2). Таким образом, опрашиваются все пункты приема контрольной точки. Допустим в зоне действия одного излучателя (например 8.1) находится подвижный объект. После излучения радиоимпульса излучателем 8.1, приемник 30 (находящийся на подвижном объекте, рис.25), принимает этот сигнал. Триггер 38 находится в состоянии «ноль», поэтому на инверсном выходе состояние «единица» и ключ 31 открыт. Сигнал от приемника 30 проходит через фильтр 32 (где происходит выделение сигнала с частотой модуляции) на вход детектора 38. Сигнал, преобразованный в посылку постоянного тока, переводит делитель 34 в состояние «единица». Сигнал с выхода этого делителя поступает на вход коммутатора 35, с выхода которого напряжение питания поступает на компоненты второго блока. Элементы этого блока устанавливаются в исходное состояние. Сигнал с выхода генератора 40 переводит триггер 38 в состояние «единица» (ключ 31 заперт). Этот же сигнал поступает на формирователь 43, который вырабатывает импульс малой длительности. По переднему фронту этого импульса происходит запись кода, находящегося в блоке памяти 49. Этот же импульс, попав на первый вход элемента 50, вырабатывает сигнал «единица» на его выходе. Ключ 44 на время действия импульса открыт. Сигнал с выхода генератора 40 поступает также на первый вход ключа 41, разрешая прохождение сигнала от генератора 42. Сигнал с выхода ключа поступает на делитель 45 и на первый вход ключа 44. Поскольку последний открыт, то происходит излучение радиоимпульса (промодулированного частотой) излучателем 51. Этот радиоимпульс принимается одним из приемников (например 9.1). Через открытый ключ 10 и фильтр 11 сигнал от приемника поступает на детектор 12. Сигнал с его выхода проходит на первый вход формирователя 13 и на второй вход ключа 14. Импульс с выхода формирователя 13 поступает на вход формирователя 15. Последний вырабатывает импульс заданной длительности, который

открывает ключ (например 6.1). В результате этой процедуры происходит излучение радиоимпульса. Импульс с выхода формирователя 15 поступает на вход таймера 16. Код времени заносится в блок памяти 20. Тем самым фиксируется время взаимодействия подвижного объекта с блоком контрольной точки. Если в зоне действия сигнала от излучателя (например 8.1) находится несколько подвижных объектов, то первым захватит канал связи тот блок (находящийся на подвижном объекте), который раньше ответит [76]. Тем самым исключается одновременная передача информации вторыми блоками. Если генератор 40 не выдал сигнал «единица», то триггер 38 находится в состоянии «ноль» и ключ 31 открыт. Радиоимпульс от первого блока переводит делитель 34 в состояние «ноль». Этот сигнал посредством коммутатора 35 отключает напряжение питания от элементов второго блока, и они переходят в исходное состояние. Второй блок срабатывает вновь (по протоколу который был описан выше) по приходу следующего радиоимпульса опроса со стороны первого блока. У того второго блока, который захватил канал связи, с выхода делителя 45 поступают сигналы на тактирующий вход регистра 46 и на информационный вход счетчика 47. Код, записанный в регистре 46, последовательно начинает поступать через элемент ИЛИ 50 и ключ 44 на вход передатчика 51. Этот сигнал принимается приемником (например 9.1) и проходит на вход формирователя 13. Импульс от второго выхода формирователя переводит триггер 17 в состояние «единица». Этот триггер запирает формирователь 13 и открывает ключи 18 и 14. Информационные сигналы с выхода детектора 12 через ключ 14 поступают в регистр, на тактирующий вход которого поступают импульсы от делителя 22. Происходит перезапись кода из регистра 46 в регистр 19. После приема информации, на управляющем выходе регистра 19 появляется сигнал, который перезаписывает данные из регистра 19 в блок памяти 20 (через элемент ИЛИ 25). Элементы второго блока устанавливаются в исходное состояние. Распределитель генерирует очередной сигнал опроса на третий вход соответствующего ключа (например 6.2) и описанный выше цикл работы блока повторяется вновь. В это же время на выходе дешифратора 48 появляется сигнал «единица», который переводит элементы второго блока в исходное состояние. Сигнал от дешифратора 48 поступает также на вход элемента задержки 39. По истечении времени большего времени выхода подвижного объекта на зоны действия сигнала от излучателей контрольной точки, но меньше времени следующего взаимодействия с подобным излучателем, элемент 39 генерирует сигнал «единица», который переводит триггер 38 в состояние «ноль», тем самым открывая ключ 31. Второй блок готов к следующей отметке. Блок памяти 20 имеет схему управления (21), оперативное запоминающее устройство (24) и регистр сопряжения (23) [76] с каналом передачи данных. Объединение первых блоков в единое целое осуществляется средствами системы описанной в предыдущем параграфе [84]. Протокол связи здесь также остается прежним. Если первый блок устанавливается на транспортном объекте, то он входит как периферийный элемент аппаратных средств, описанных в следующей главе. По командам со стороны блоков устанавливаемых в ТО (например [132]), через регистр сопряжения, схема управления перезаписывает накопленную информацию в управляющий вычислительный комплекс [82, 133]. Рассмотренная система может также осуществлять контроль параметров траекторий транспортных объектов.

3.3.2. Алгоритмы идентификации транспортной сети по параметрам траекторий подвижных объектов

Комплекс вышеописанных аппаратных средств позволяет системе управления для всех $I, S, H, \hat{E}$ – объектов T – сети иметь следующий набор матриц:

$$I_l^X = \begin{bmatrix} m_1, t_1^m \\ \dots \\ m_k, t_k^m \end{bmatrix}; \quad I_j^3 = \begin{bmatrix} m_1, t_1^m \\ \dots \\ m_r, t_r^m \end{bmatrix}; \quad (3.29)$$

$$I_l^H = \begin{bmatrix} m_1, t_1^m \\ \dots \\ m_\alpha, t_\alpha^m \end{bmatrix}; \quad I_g^E = \begin{bmatrix} m_1, t_1^m \\ \dots \\ m, t^m \end{bmatrix};$$

где $(i = \overline{1, n})$ – количество истоков, $(j = \overline{1, m})$ – количество стоков, $(l = \overline{1, Q})$ – количество накопителей, $(g = \overline{1, R})$ – количество транспортных объектов в контролируемой сети. Упорядоченное по t^m – множество элементов матриц (3.29) для определенного m – объекта

$$P_m = \{ (I_l^I), (I_l^H), (I_g^E), \dots, (I_j^3) \} \quad (3.30)$$

представляет собой его траекторию в транспортной сети. Множеству (3.34) соответствует множество

$$T_m = \{ t_1^m, t_2^m, t_3^m, \dots, t_r^m \} \quad (3.31)$$

представляющее здесь набор моментов времени фиксации m – объекта в элементах сети. Тогда время нахождения m – объекта между истоком и стоком равно

$$\Delta t_r^m = t_r^m - t_1^m \\ (t_r^m, t_1^m \in T_m). \quad (3.36)$$

Из множества (3.30) можно определить множества

$$\rho_m^{IS} = \{ [(I_l^I), (I_j^S)] \} \quad (3.37)$$

и соответствующие им множества

$$T_m^{IS} = \{ [t_i^m, t_j^m] \} \quad (3.38)$$

такие, что

$$I_l^I \in \rho_m^{IS} : [(I_l^I) \notin \rho_m^{IS} \Lambda (t_i^m) = \min t_k^m, \\ k = 1, \text{Card} \{T_m\}; (t_k^m \in T_m)] \quad (3.39)$$

$$I_j^S \in \rho_m^{IS} : [(I_j^S) \notin \rho_m^{IS} \Lambda (t_j^m) \min (t_i^m + \Delta t_r^m)] \quad (3.40)$$

Для всех ρ_m^{IS} ($m = \overline{1, R}$ – код m – объекта) в ε – интервал времени, можно построить множество $\rho_{m\varepsilon}^{IS}$, такое что

$$[(I_l^I), (I_j^S)] \in \rho_{m\varepsilon}^{IS} : [t_i^m \geq (t_j^m - \Delta t_r^m) \Lambda \\ (\varepsilon - 1) \cdot \Delta t < t_i \leq (\varepsilon) \Delta t; t_i^m, t_j^m \in T_m]. \quad (3.41)$$

Тогда матрица корреспондентий подвижных объектов между истоками и стоками транспортной сети имеет вид:

$$M_\varepsilon^{IS} = \|X_{ij}\|, \quad (3.42)$$

где $X_{ij} = \text{Card} \{ \rho_d^{IS} \}$, в свою очередь

$$[(I_l^I), (I_j^S)] \in \rho_d^{IS} : [(I_l^I), (I_j^S)] \in \rho_{m\varepsilon}^{IS} \Lambda \\ i, j, d = \text{const}, \forall m]. \quad (3.43)$$

Из матрицы (3.42) легко определяются элементы множества (2.17). Элементы множества (2.18) определяются из множества (3.30) [82]. Тем самым идентифицируются параметры характеризующие поступление подвижных объектов в модель, а также состояние истоков и стоков в выбранный момент времени. Тогда

$$M_{\varepsilon\lambda}^{IS} = \|X_{ij} / \Delta t\|, \quad (3.44)$$

является матрицей интенсивностей поступления подвижных объектов из i -го истока в j -ый сток транспортной сети в ε – интервал времени. Матрице (3.44) соответствует матрица средних временных затрат на перемещение между истоками и стоками:

$$M_{\varepsilon\lambda\epsilon}^{IS} = \left\| \left[\sum_{m=1}^{x_{ij}} \left((t_j^m - t_i^m) / X_{ij} \right) \right] \right\|, \quad (3.45)$$

Из множества (3.30) можно также получить множества

$$\rho_m^H = \{ [(I_i^H), (I_j^H)] \} \quad (3.46)$$

и соответствующие (3.46) множества

$$T_m^H = \{ [t_i^m, t_j^m] \} \quad (3.47)$$

такие, что

$$\begin{aligned} I_i^H \in \rho_m^H (I_i^H \in P_m) : [(I_i^H \in \rho_m^H) \wedge \\ t_i^m = \min t_r^m; r = 1, \text{Card} \{T_m\}; [t_r^m \in T_m] \\ I_j^H \in \rho_m^H (I_j^H \in P_m) : [(I_j^H \notin \rho_m^H) \wedge \\ \Delta t_{ij}^m = \min (t(I_j^H) - t(I_i^H)); \\ t(I_i^H), t(I_j^H) \in T_m], \end{aligned} \quad (3.48)$$

где $t(I_i^H), t(I_j^H)$ – время фиксации m – объекта в i -ом и j -ом накопителях соответственно.

Выделим из множества (2.25) те его элементы, для которых есть соответствующие накопители ($C_r \subseteq \hat{C}_r$ МК). Тогда можно построить множество

$$\rho_m^{HC} = \rho_m^H \cap C_r (\forall r, l). \quad (3.50)$$

Из множества (3.50) в ε – интервал времени образуем множество

$$\rho_{m\varepsilon}^{HC} = \{ [(I_i^H), (I_j^H)] \} \quad (3.51)$$

такое, что

$$[(I_i^H), (I_j^H)] \in \rho_{m\varepsilon}^{HC} : t(I_i^H) \geq (t(I_j^H) - \Delta t_{ij}^m) \wedge ((\varepsilon - 1) \Delta t < t(I_i^H) \leq (\varepsilon) \Delta t). \quad (3.52)$$

Тогда матрица корреспонденций подвижных объектов между накопителями сетевого транспортного объекта имеет вид

$$M_{\varepsilon}^{HC} = \|X_{ij}\|, \quad (3.53)$$

где $X_{ij} = \text{Cord} \{P_d^H\}$, в свою очередь

$$[(I_i^H), (I_j^H)] \in \rho_d^H : [(I_i^H), (I_j^H)] \in \rho_{m\varepsilon}^{HC} \wedge i, j, d = \text{const}, \forall m]. \quad (3.54)$$

Аналогично (3.44) получаем матрицу интенсивностей поступления m – объектов в накопители

$$M_{\varepsilon\lambda}^{HC} = \|\bar{X}_{ij} / \Delta t\|, \quad (3.55)$$

и матрицу средних временных затрат на перемещение между накопителями сетевого транспортного объекта:

$$M_{\varepsilon\lambda t}^{HC} = \left\| \left[\sum_{m=1}^{X_{ij}} \left((t_j^m - t_i^m) / \bar{X}_{ij} \right) \right] \right\|, \quad (3.56)$$

Поскольку множество (3.46) не включает параметров транспортных объектов, то следовательно, объединение матриц (3.53) для всех СТО (при абсолютной нумерации накопителей), с исключением повторяющихся элементов с одинаковыми индексами, образуют матрицу корреспонденций подвижных объектов между накопителями

$$M_{\varepsilon}^H = \|\bar{X}_{ij}\|, \quad (3.57)$$

Для этого случая, аналогично (3.55), (3.56) могут определены соответствующие матрицы. В случае применения вышеописанных аппаратных средств для контроля параметров

траекторий транспортных объектов (по накопителям), матрицы (3.29) дополняются матрицами

$$I_k^{EH} = \begin{bmatrix} E_1, t_1^E \\ \dots \dots \dots \\ E_h, t_h^E \end{bmatrix}, \quad (3.58)$$

где $(h = \overline{1..N})$ – количество $\hat{E}$ – агрегатов в контролируемой сети. Упорядоченное по t^E множество элементов (3.58), для определенного $\hat{E}$ – агрегата

$$P_E = \{ (I_i^{EN}), \dots, (I_d^{EN}) \} \quad (3.59)$$

Лист утерян.

где $\tilde{X}_{kl} = \text{Card} \{P_d^c\}$, в свою очередь

$$[(I_k^{EN}), (I_l^{EN})] \in \rho_d^c : [(I_k^{EN}), (I_l^{EN})] \in \rho_{E\epsilon}^H \wedge k, l, d = \text{const}, \forall_m. \quad (3.70)$$

На основе матриц (3.69) и (3.57) можно определить параметры описанные в предыдущих параграфах.

Так, например, величина (3.5) равна

$$\tilde{Q}_{\epsilon c} = \sum_{k,l=1}^n \tilde{X}_{kl}; \tilde{X}_{kl} \in M_{\epsilon}^c, \quad (3.71)$$

в величину (3.25) можно определить из выражения

$$\tilde{H}_i(\epsilon) = \sum_{j=1}^n \bar{X}_{ij}; \bar{X}_{ij} \in M_{\epsilon}^H, \quad (3.72)$$

Для определения параметров состояния истоков, стоков, накопителей и транспортных объектов в выбранный момент времени, необходимо воспользоваться соответствующими матрицами (3.29) и применить общую для них процедуру определения тех m – объектов, которые зафиксированы в соответствующих элементах транспортной сети только один раз [82].

3.4. Модифицированный алгоритм восстановления матриц корреспондентий подвижных объектов

В настоящее время не все элементы реальных транспортных сетей могут быть снабжены аппаратными средствами вышеописанной системы (особенно это относится к транспортным сетям ГПТ). Отсюда вытекает задача восстановления структуры и интенсивности потоков подвижных объектов по известной информации получаемой посредством проведения выборочных измерений. С помощью системы описанной в п.3.1, можно выявить множество накопителей

$$X^0 = \{H_1, \dots, H_k\}, \quad (3.73)$$

обладающих устойчивым порождающим (для СТО) потоком подвижных объектов [82].

Используя метод предложенный в [75] или путем выборочного применения метода изложенного в п.3.3. Определяются значения элементов (X_{ij}^K) матрицы (3.69) для

накопителей входящих в множество (3.73). Поставим задачу восстановления

неопределенных элементов $(\tilde{X}_{ij})$ матрицы (3.69). Для этого вначале воспользуемся

методом предложенным в [134], который позволяет дать приблизительную оценку

структуры потока по данным загрузки и выгрузки транспортных объектов. Элементы

восстанавливаемой матрицы этим методом обозначим X_{ij}^A (расчет ведется в ϵ – интервале

времени, поэтому соответствующий индекс опущен). Тогда эти элементы представляются функцией вида

$$X_{ij}^A = K_{ij} \cdot A_{li} \cdot B_{li} \quad (3.74)$$

при следующих краевых условиях

$$X_{12}^A = B_{11}; X_{n-1,n}^A = A_{l(n-1)}; X_{11}^A = 0; X_{nn}^A = 0 \quad (3.75)$$

Расчетные формулы при этом принимают вид

$$X_{ij}^A = \begin{cases} \frac{\prod_{r=i+1}^{j-1} (\bar{H}_{lr}^c - B_{lr})}{\prod_{r=i+1}^j \bar{H}_{lr}^c} \cdot A_{lr} \cdot B_{lr}, & \text{если } j > i + 1 \\ \frac{1}{\bar{H}_{lr}^c} \cdot A_{lr} \cdot B_{lr}, & \text{если } j = i + 1 \\ 0, & \text{если } j = 1 \end{cases} \quad (3.76)$$

В общем случае $X_{ij}^A \neq X_{ij}^k$. Поэтому необходима увязка этих элементов в рамках матрицы (3.69). На данном этапе воспользуемся методом определения матриц корреспонденций подвижных объектов, который использует аппарат множителей Лагранжа [135]. Запишем функционал [2]

$$F(\tilde{X}_{ij}) = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n C_{ij} (\tilde{X}_{ij} - X_{ij}^A)^2, \quad (3.77)$$

при известных ограничениях. Если накопитель входит в множество (3.73), то $\tilde{X}_{ij} = X_{ij}^k$. Теперь задача сводится к нахождению таких $\tilde{X}_{ij}$, которые минимизируют функционал (3.77). Согласно [135] заменяем критерий (3.77) критерием

$$F_1(\tilde{X}_{ij}) = F(\tilde{X}_{ij}) + \sum_{i=1}^n M_i (\sum_{j=i+1}^n \tilde{X}_{ij} - A_{ij}) + \sum_{j=1}^n M_{j+(n-1)} (\sum_{i=1}^j \tilde{X}_{ij} - B_{lj}). \quad (3.78)$$

Находим частные производные

$$\frac{\partial F_1}{\partial X_{ij}} = 2 C_{ij} \tilde{X}_{ij} - 2 C_{ij} X_{ij}^A + M_i + M_{j+n} \quad (i = \overline{1, n}; j = i + 1, n). \quad (3.79)$$

Таким образом, минимум (3.78) достигается для $\tilde{X}_{ij}$ удовлетворяющих системе уравнений

$$\tilde{X}_{ij} = X_{ij}^A - \frac{M_i}{2 C_{ij}} - \frac{M_{j+n}}{2 C_{ij}}. \quad (3.80)$$

После преобразования получаем систему алгебраических уравнений

$$\begin{aligned} \Delta \alpha_i &= \frac{M_i}{2} \sum_{j=1}^n \frac{1}{C_{ij}} + \sum_{j=1}^n \frac{M_{j+n}}{2 C_{ij}}, \quad i = \overline{1, n}; \\ \Delta \beta_i &= \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{2 C_{ij}} + \frac{M_{i+n}}{2} \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_{ij}}, \quad j = \overline{1, n}, \end{aligned} \quad (3.81)$$

где $\Delta \alpha_i$ и $\Delta \beta_i$ невязки по параметрам загрузки и выгрузки транспортных объектов.

Определяя множители Лагранжа путем решения системы уравнений (3.81) и подставляя их в уравнение (3.80) определяются элементы матрицы (3.69) дающей информацию о структуре и интенсивности потоков подвижных объектов в СТО. Модификация известных алгоритмов здесь заключается в том, что путем объединения методов [71], [75], [134], [135], а также введения новых процедур, получаются данные более точные, чем рассчитанные по методам [71], [134], [135] и полученные с меньшими затратами нежели методом [75] или методом описанном в предыдущем параграфе.

2 листа утеряно.

$$\{H_1, H_2, \dots, H_l\} \subset \{1, 2, \dots, k\} \quad (4.1)$$

таких, что при обслуживании исходного СТО транспортными объектами в количестве $N - N^*$ и одновременно при обслуживании N^* транспортными объектами нового СТО с накопителями из $\{H_1, H_2, \dots, H_l\}$, суммарные затраты t° времени на обслуживание

подвижных объектов таким комбинированным СТО, будут меньше, чем суммарные затраты времени на исходном СТО T°

$$t^\circ < T^\circ \quad (4.2)$$

и кроме того,

$$t^\circ = \min T_{ij}, \quad (4.3)$$

где минимум берется по всем комбинированным СТО и по всем комбинациям

$$\gamma = \{N - N^*\}, \quad (4.4)$$

которыми распределяются ТО между основным СТО и дополнительным, так что

$$T_{ij} < T^\circ. \quad (4.5)$$

Как видно из формулировки задачи, здесь не выделяются начальные и конечные накопители СТО как особые. Таким образом, задача организации скоростных, комбинированных и маятниковых СТО [153], ставится как одна и та же задача. В том случае, когда начальный и конечный накопитель СТО принадлежит выделенному подмножеству $\{N_1, N_2, \dots, N_i, \dots, N_l\}$, например, если $N_1 = N_1^i$, $N_l = N_k^i$ получаются экспрессные СТО, если же $N_1 \neq N_1^i$, либо $N_l \neq N_k^i$, то получаемый таким образом СТО носит название укороченного (накопители с индексом i принадлежат исходному СТО).

Будем формировать подобные сетевые транспортные объекты по принципу гиперсвязности [7], т.е. исходя из тех соображений, что эти СТО в первую очередь должны связывать накопители корреспонденции, между которыми велики (например, выше среднего значения). Организованные по этому принципу СТО будем называть одним и тем же термином – гиперсвязные сетевые транспортные объекты (ГСТО). Будем рассматривать движение транспортных объектов от начального до конечного накопителя в одном направлении.

Пусть

$$X = (X_{ij}); ij = 1, \dots, k \quad (4.6)$$

матрица корреспонденций подвижных объектов исходного СТО [82, 136] в некотором ε – интервале, определенная например, как матрица (3.69) или как результат процедуры моделирования транспортной сети. Обозначим через X_0 среднее значение корреспонденций по исходному СТО, получаемое как среднее арифметическое d_0 элементов матрицы (4.6)

$$d_0 = k(k-1)/2 \quad (4.7)$$

расположенных над ее диагональю. Множество Γ накопителей СТО разобьем на два подмножества Γ_1 и Γ_2 следующим образом: Γ_1 – это множество накопителей с такими номерами l , что для некоторого j , либо $X_{jl} > X_0$, либо $X_{jl} < X_0$, а Γ_2 – дополнение к множеству

$$\Gamma_2 = \Gamma/\Gamma_1. \quad (4.8)$$

Накопители из Γ_1 будем называть гиперсвязными, а накопители гиперсвязных СТО будем выбирать как подмножество $\Gamma_1 \subset \Gamma$. Общий объем потока подвижных объектов в исходном СТО может найден по формуле

$$V_c = \sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^k X_{ij}. \quad (4.9)$$

При переводе транспортного объекта из исходного СТО в гиперсвязный будем исходить из необходимости сохранения естественных пропорций между количеством, переведенных ТО и соответствующим объемом потока, а именно, если из каких-то соображений N^* транспортных объектов переводят в гиперсвязный СТО из исходного, то должно выполняться соотношение

$$\frac{N^*}{N} < \frac{V_c^*}{V_c} \quad (4.10)$$

Объем потока V_c^* находится по формуле (4.9) в которой элементы матрицы (4.6) заменены на элементы новой матрицы X^1 . Эта матрица получается из матрицы (4.6) следующим образом: ненулевые элементы матрицы (4.6) совпадают с соответствующими элементами матрицы (4.6)

$$X_{ij}^1 = X_{ij} \quad (4.11)$$

и отвечают индексам i, j , которые принадлежат множеству номеров накопителей гиперсвязного СТО, остальные элементы – нулевые.

При выделении определенного количества транспортных объектов для искомого СТО условие (4.10) играет роль необходимого условия, т.к. его нарушение ведет с одной стороны к увеличению нагрузки на оставшиеся в исходном СТО транспортные объекты, а с другой может приводить к недогрузке транспортных объектов в искомом СТО на перегонах значительной длины [137]. Это накладывает ограничение на γ , что в свою очередь снижает число комбинаций (4.4). Суммарные затраты времени на перемещение и перераспределение потоков подвижных объектов, рассчитываются с помощью имитационной модели [82] (программно или аппаратно реализованной) или по формулам (1.2) [7, 138], дающих приближенный результат.

Сформулируем алгоритм поиска гиперсвязных сетевых транспортных объектов.

1⁰. Определяется среднее арифметическое X_0 , по $d_0 = (k(k-1)/2)$ элементам матрицы X , расположенных над ее диагональю.

2⁰. Накопители ранжируются по количеству корреспонденций между ними. Выделяются те накопители, корреспонденции между которыми имеют максимальное значение. Будем называть их накопителями первого ранга. Затем образуется группа накопителей второго ранга с меньшим следующим по значению количеством корреспонденций подвижных объектов и т.д. до среднего значения X_0 .

3⁰. По группе накопителей первого ранга образующих СТО, строится матрица X_1' .

4⁰. Вычисляется объем потока подвижных объектов V_{c1}^* в исходном СТО по матрице X_1' .

5⁰. По объему V_{c1}^* находится максимальное число N_1^* единиц транспортных объектов, которое может быть выделено в дополнительный СТО по формуле

$$N_1^* = \left\lfloor \frac{V_{c1}^*}{V_c} N \right\rfloor, \quad (4.12)$$

где квадратные скобки означают, взятие целой части.

6⁰. С помощью имитационной модели СТО вычисляются суммарные затраты времени на обслуживание подвижных объектов в гиперсвязном сетевом транспортном объекте (эта же операция может выполнена по формулам (1.2), но со значительно меньшей точностью).

7⁰. По объединенной группе накопителей первого и второго рангов образуется новый СТО, для которого проделяваются все вычисления пунктов 3⁰ - 6⁰ и находится число транспортных объектов N_2^* , суммарные затраты времени

$$T_k^{2l} = (T_0)^{2l} + (T_r)^{2l}, l = \overline{1, N_2^*} \quad (4.13)$$

на исходном (T_0') и дополнительном (T_r) СТО.

8⁰. По объединенной группе накопителей 1-го, 2-го и 3-го рангов проводятся все вычисления в пунктах 3⁰ - 6⁰ и т.д., до среднего значения корреспонденций подвижных объектов X_0 .

9⁰. Если заранее задано максимальное время обслуживания $\bar{t}$ в накопителях СТО, то по формулам

$$N_{\max}^* = N - N_{\min}^0; N_{\min}^0 = t_{об}/\bar{t} \quad (4.14)$$

Определяется максимальное количество транспортных объектов $N_{\max}^*$, которые могут переведены в дополнительный СТО (здесь $t_{об}$ – время оборота ТО в СТО).

10⁰. При вычислении на k -ом шаге суммарных затрат времени T_k , переменное число ТО N_k^* , участвует до тех номеров k , для которых $N_k^* < N_{\max}^*$.

Начиная с номера l , такого что $N_l^* \geq N_{\max}^*$, вместо переменного N_k^* подставляется максимальное значение $N_{\max}^*$ (которое в условиях данного режима не может быть превышено).

11⁰. В полученном множестве $\{T^0, T^{1h}, T^{2l}, T^{kg}\}$ ($k = 1; \dots; N_{\max}^*$) выбирается минимальный элемент. Соответствующий набор накопителей образует гиперсвязный СТО, а соответствующее число транспортных объектов следует принять за N^* .

12⁰. Если полученный ГСТО экспрессный, то все вышеописанные вычисления необходимо проделать для обратного направления.

13⁰. Если ГСТО укороченный, то проделывая вычисления для обратного направления, необходимо сравнить полученные СТО по расположению накопителей.

14⁰. В диалоговом режиме провести корректировку и проверить эффективность функционирования полученного гиперсвязного СТО на основе имитационной модели [82], осуществляющей здесь функции экспертной системы.

Рассмотренный алгоритм может непосредственно встроен в контур управления для автоматического принятия решений (для простых транспортных сетей [139]), либо (для сложных сетей) использоваться для определения опорных топологических параметров управления с последующим их анализом оператором в интерактивном режиме с применением языка интерпретации транспортных сетей (описанного выше). В следующей главе приводятся результаты исследования рассмотренного алгоритма.

Вышеприведенный алгоритм позволяет модифицировать уже известный набор СТО входящих в транспортную сеть, без образования сетевых транспортных объектов, которые бы объединяли накопители нескольких СТО.

Тем не менее, матрицы корреспонденций транспортной сети, полученные путем объединения матриц типа (3.53) можно считать (в некоторых пределах) независимыми, а матрицы типа (3.44) абсолютно независимыми от набора СТО. Отсюда вытекает возможность адаптации транспортной сети к новым потокам подвижных объектов путем введения СТО, объединяющих ряд накопителей, принадлежащих различным сетевым транспортным объектам. Для этого случая здесь предлагается алгоритм, который в обобщенном виде, формулируется следующим образом.

1⁰. Определяется множество $\{H_1, H_2, \dots, H_n\}$ накопителей транспортной сети, наиболее связанных между собой (в вышеприведенном смысле) за некоторый интервал времени. На n могут быть наложены ограничения как снизу, так и сверху, либо его величина ограничивается заданной длиной траектории транспортного объекта в СТО.

2⁰. В результате применения алгоритма Грешнера [30], находятся траектории подвижных объектов в каждой из определенной по п. 1⁰ совокупности накопителей (образующих соответствующий СТО). В результате определения длины (в единицах времени или расстояния) траектории, в соответствующих случаях делается корректировка набора накопителей по п. 1⁰.

3⁰. Отыскивается необходимое количество транспортных объектов для этих СТО, применяя алгоритм одномерного поиска [82].

4⁰. Путем использования вышеописанного алгоритма поиска гиперсвязных сетевых транспортных объектов, определяются режимы функционирования найденных СТО и количество транспортных объектов в них.

5⁰. Вышеописанные расчеты делаются для следующего интервала времени (или в случае повторного обращения к алгоритму).

6⁰. Производится расчет временных параметров функционирования найденных СТО.

7⁰. На комплексной модели транспортной сети проверяется непротиворечивость найденных режимов и делается оценка эффективности ее функционирования.

С помощью ЯИТС, производится учет трудно формализуемых факторов влияющих на эффективность сети.

Таким образом, здесь, алгоритм (получивший название объединенного) производит адаптацию транспортной сети к новым потокам подвижных объектов не в результате корректировки параметров СТО ее составляющих, а путем нового определения сетевых транспортных объектов. Эти СТО либо дополняют прежнюю транспортную сеть, либо образуют ее заново. Для транспортных сетей, количество параметров которых, позволяет производить моделирование на современных ЭВМ в приемлемое время, предлагаемый алгоритм дает хорошие результаты [120]. На базе этого алгоритма, в настоящее время могут быть образованы процедуры эволюционного топологического проектирования исследуемых сетей. Минимизация траектории ТО по п. 2⁰ алгоритма дает подход к рациональному размещению истоков, стоков и накопителей (например, в транспортных сетях ГАП).

4.2. Алгоритмы определения временных параметров функционирования сетевых транспортных объектов

Исходной информацией для нахождения параметров временных режимов транспортных объектов (входящих в СТО), является зависимость числа ТО от номера выбранного интервала времени

$$N^E = N_{\varepsilon}^E = F(\varepsilon) \quad (4.15)$$

и множество накопителей определяющих этот СТО. Если время оборота транспортного объекта в СТО $t_{об}$ кратно числу N_{ε}^E , то временные интервалы прибытия транспортных объектов в заданный накопитель равны и определяются из соотношения

$$\Delta t^0 = t_{об} / N_{\varepsilon}^E. \quad (4.16)$$

В противном случае, упомянутые интервалы будут различны. Примем без доказательства [140] следующие леммы.

Лемма 1. Если $t_{об}$ не кратно N_{ε}^E , то интервалы прибытия транспортных объектов в заданный накопитель СТО (в режиме обычного движения) различны на шаг равный единице выбранной временной шкалы.

Из леммы 1 следует, что для $N_{1\varepsilon}^E$ транспортных объектов выделенных в СТО, интервалы прибытия в заданный накопитель будут равны $\Delta t_1^0 = \Delta t^0 + 1$, а для $N_{2\varepsilon}^E$ транспортных объектов $\Delta t_2^0 = \Delta t^0$ ($N_{\varepsilon}^E = N_{1\varepsilon}^E + N_{2\varepsilon}^E$). В этом случае от значения (4.16) берется целая часть. Отсюда можно определить неизвестные $N_{1\varepsilon}^E$ и $N_{2\varepsilon}^E$. Очевидно, что для

расположения на временном отрезке равном t_{06} транспортных объектов числом N_{ε}^E без перекрытия моментов времени прибытия, необходимо выполнить условие

$$t_{06} = N_{1\varepsilon}^E \cdot \Delta t_1^0 + N_{2\varepsilon}^E \cdot \Delta t_2^0 \quad (4.17)$$

или

$$t_{06} = N_{1\varepsilon}^E (\Delta t^0 + 1) + (N_{\varepsilon}^E - N_{1\varepsilon}^E) \Delta t^0. \quad (4.18)$$

Разрешая полученное соотношение относительно $N_{1\varepsilon}^E$ будем иметь

$$N_{1\varepsilon}^E = t_{06} - (N_{\varepsilon}^E - \Delta t^0). \quad (4.19)$$

Тогда

$$N_{2\varepsilon}^E = (N_{\varepsilon}^E \cdot \Delta t^0) - t_{06}. \quad (4.20)$$

функция (4.15) для выбранного ε – интервала, равного Δt (определяемого по формулам приведенным в п.п. 3.1.2), является постоянной.

Лемма 2. Множество (2.27) определено при условии $\Delta t \geq t_{06}$.

Из леммы 2 следует, что временной интервал функционирования СТО ΔT можно разделить на множество отрезков $\{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k\}$ для которых выполнимо условие

$$\Delta t = \tau_{i+1} - \tau_i \geq t_{06}. \quad (4.21)$$

Процедуру формирования временных режимов удобно представить диаграммой [13, 140], где ось абсцисс является временной шкалой. Дискретные значения оси ординат отображают накопители (в порядке их расположения в СТО). Наклонными линиями отражены временные траектории транспортных объектов между накопителями. Прямыми отрезками на линиях накопителей отображены режимы обслуживания накопителей транспортными объектами (рис.26). Отрезки t_1 здесь определены линиями параллельными оси ординат.

Лемма 3. При выполнении условия $N^E(\tau_i + 1) < N^E(\tau_i)$, всегда $\Delta t_1^{0(j+3)} > \Delta t_1^{0(j)}$ и $\Delta t_2^{0(j+3)} > \Delta t_2^{0(j)}$, где j и $(j+3)$ состояние транспортных объектов (рис.26) в СТО.

Доказательство. Из леммы 1 для выбранного накопителя имеем $\Delta t_1^{0(j)} = \Delta t^{0(j)} + 1$; $\Delta t_2^{0(j)} = \Delta t^{0(j)}$, где $\Delta t^{0(j)} = [t_{06}/N^E(\tau_0)]$.

Для другого накопителя (рис.26) имеем $\Delta t_1^{0(j+3)} = \Delta t^{0(j+3)} + 1$; $\Delta t_2^{0(j+3)} = \Delta t^{0(j+3)}$, где $\Delta t^{0(j+i)} = [t_{06}/N^E(\tau_{i+1})]$. При $N^E(\tau_{i+1}) < N^E(\tau_i)$ следует $\Delta t_1^{0(j+3)} > \Delta t_1^{0(j)}$; $\Delta t_2^{0(j+3)} > \Delta t_2^{0(j)}$.

Из леммы 3 следует, что в накопителе с состоянием ТО $(j+3)$ может дополнительно войти несколько ТО с состоянием (j) . При $N^E(\tau_{i+1}) > N^E(\tau_i)$ для $\Delta t_1^{0(j)}$, $\Delta t_2^{0(j)}$ выполняются обратные условия.

Выделим наиболее общие режимы составляющие множество (2.27). Это Р1 – начальное технологическое обслуживание транспортных объектов, Р2 – вход ТО в сетевой транспортный объект, Р3 – размещение ТО на временном отрезке, относящегося к определенному накопителю; Р4 – перемещение ТО в СТО от i -го к $(i+1)$ -му накопителю; Р5 – технологический отстой ТО; Р6 – технологическое обслуживание транспортных объектов в процессе функционирования; Р7 – выход транспортных объектов из СТО. В большинстве случаев применения алгоритма, перечисленная последовательность режимов функционирования ТО, является достаточной для описания их состояний в сетевых транспортных объектах [2, 14, 140].

Под идеальным размещением транспортных объектов на временном отрезке относящегося к определенному накопителю на диаграмме рис.26, будем понимать такое множество интервалов прибытия ТО (Id), которое не зависит от множества реальных

интервалов времени их прибытия (R_l) и определяется согласно лемме 1. При этом $Id = R_l$, если

$$N^E(\tau_{i+1}) = N^E(\tau_i). \quad (4.22)$$

В других случаях, необходим дополнительный ввод транспортных объектов в СТО, если

$$N^E(\tau_{i+1}) > N^E(\tau_i). \quad (4.23)$$

или их вывод, если

$$N^E(\tau_{i+1}) < N^E(\tau_i). \quad (4.24)$$

Здесь требуется выполнение процедур совмещения элементов множеств Id и R_l .

Для выполнения Р6 необходимо, с одной стороны обеспечить (4.15), а с другой реализовать этот режим в заданных границах времени

$$\Delta t^{min} < t_p \leq \Delta t^{max}. \quad (4.25)$$

Лемма 4. При выполнении условия (4.25) в режиме Р6, за каждый цикл перемещения между конечными накопителями необходимо выводить из СТО число ТО равное

$$N_\beta \geq [N^E(\tau_i)/t_p]. \quad (4.26)$$

Лемма 5. При выполнении условия (4.25) и обеспечении (4.15) в процессе Р6, число вводимых ТО в СТО (N_d) связанных с проведением Р6 не превышает N_β

$$N_d \leq N_\beta. \quad (4.27)$$

Доказательство этих лемм достаточно простое и здесь опускается [140].

Сформулируем алгоритм формирования временных режимов функционирования СТО в обобщенном виде.

- 1⁰. Выбирается очередной τ_i . Если $\tau_i = \tau_k$, алгоритм завершает работу.
- 2⁰. Организуется Р3 для каждого ТО из сетевого транспортного объекта.
- 3⁰. Для всех транспортных объектов организуется Р1.
- 4⁰. Организуется перемещение транспортных объектов от i -го накопителя до j -го (рис.26, 27).
- 5⁰. Если время прибытия в j -ий накопитель больше τ_i , то делается проверка равенства τ_i и τ_k .
- 6⁰. Если $\tau_i = \tau_k$ организуется Р7 и алгоритм завершает работу. Иначе осуществляется переход к τ_{i+1} и делается проверка равенства $N^E(\tau_i)$ и $N^E(\tau_{i+1})$.
- 7⁰. Если $N^E(\tau_i) < N^E(\tau_{i+1})$, то осуществляется расчет $\Delta t_1^{0(j+3)}$, $\Delta t_2^{0(j+3)}$ и формируется множество $\{Id\}$ рис.28.
- 8⁰. Все транспортные объекты (по диаграмме) выводятся на линию $(j+3)$ и формируется множество R_l (рис.27, 28).
- 9⁰. Осуществляется формирование множества вводимых транспортных объектов и производится совмещение Id и R_l .
- 10⁰. Если $N^E(\tau_i) > N^E(\tau_{i+1})$, то выполняются п.п. 8⁰ - 9⁰, но в этом случае определяются множества выводимых транспортных объектов (рис.28).
- 11⁰. Выполняются вышеописанные процедуры (п.п. 4⁰ - 10⁰) до начала режима Р6.
- 12⁰. Если время Р6 превышено, то формируются множества по леммам 4 и 5 и организуется процедура совмещения R_l и Id в этом случае (рис.29).
- 13⁰. Выполняются вышеприведенные процедуры (п.п. 4⁰ - 12⁰) до начала режима Р5.
- 14⁰. Если, время Р5 превышено, то на линии $(j+3)$ диаграммы (рис.30) организуется технологическая задержка.
- 15⁰. Выполняются вышеописанные процедуры по п.п. 4⁰ - 14⁰.

Характеристики описанного алгоритма приведены в пятой главе. При оперативном управлении транспортной сетью или в режиме долговременного планирования, требуется производить корректировку параметров множества (2.27) или формировать их заново. Для этого необходим аппарат, позволяющий лицу, принимающему решения взаимодействовать с элементами упомянутого множества в диалоговом режиме. Здесь возможно реализовать, по крайней мере, три подхода. Первый подход заключается в разработке специализированного входного языка, второй подход состоит в использовании графических свойств диаграммы отображающей множество (2.27) и средств автоматизированной корректировки графических изображений [141] и третий подход состоит в реляционном представлении параметров временных режимов и их корректировки непосредственно в таблицах с помощью средств реляционных систем, управления базами данных (СУБД) [142]. Как нетрудно заметить, эти подходы дополняют друг друга. Основу их может составить входной язык корректировки графиков движения (ЯКГД) транспортных объектов СТО [82]. Синтаксические конструкции этого языка описываются следующей системой productions, представленных в нормальной форме Бэкуса-Наура:

1. <программа> :: = <список операторов>
2. <список операторов> :: = <оператор> | <список операторов>
3. < оператор > :: = <оператор корректировки> | <служебный оператор> | <начальный оператор>
4. < служебный оператор > :: = <оператор входа> | <оператор выхода> | <оператор вызова таблиц> | <оператор управления>
5. <оператор входа> :: = VG <терм>
6. <оператор выхода> :: = VYG <терм>
7. <оператор вызова таблиц> :: = TAB <терм>
8. <оператор управления> :: = BRV <терм> ... <терм> GDO <терм> ... <терм> GDN <терм> ... <терм> | AVTG <терм> | SHAG <терм> | PH <терм> | TBO <терм> ... <терм>
9. <начальный оператор> :: = <оператор разметки шкалы> | <оператор ввода линий> | <оператор ввода транспортных объектов>
10. <оператор разметки шкалы> :: = VTV <терм> ... <терм>
11. <оператор ввода линий> :: = VNK <терм> ... <терм> | VDL <терм> ... <терм> | VDR <терм> .. <терм>
12. <оператор ввода транспортных объектов> :: = VL <терм> ... <терм> | VLO <терм> .. <терм>
13. <оператор корректировки> :: = <оператор технологической задержки> | <оператор положительного перемещения> | <оператор отрицательного перемещения> | <оператор присвоения режима> | <оператор копирования>
14. <оператор технологической задержки> :: = SL <терм> ... <терм>
15. <оператор положительного перемещения> :: = PLP <терм> ... <терм> | PLPO <терм> ... <терм>
16. <оператор отрицательного перемещения> :: = PLM <терм> ... <терм> | PLMO <терм> ... <терм>
17. <оператор присвоения режима> :: = PR <терм> ... <терм>
18. <оператор копирования> :: = CPL <терм> ... <терм> | CPLO <терм> ... <терм>
19. <терм> :: = <набор цифр и/или литер>

20. <набор цифр> :: = <0 | 1 | 2 | ... | 9>

21. <набор литер> :: = <A | B | C | ... | x | y | z |> .

Значения зарезервированных ключевых слов ЯКГД представлены в приложении 6. Набор функциональных клавиш, аппаратно реализующий этот язык, приведен в [82]. Диалоговые средства позволяют оператору реализовать адаптивные процедуры корректировки временных параметров управляемой транспортной сети, учитывать трудно формализуемые факторы и осуществлять проверку принимаемых компромиссных решений.

4.3. Алгоритмы функционирования элементов контура управления транспортной сетью

В третьей главе производилось описание аппаратных средств идентификации параметров управляемых транспортных сетей. В предыдущих параграфах рассматривались алгоритмы топологического и временного управления. Для объединения этих и других функций необходим комплекс аппаратных средств, дающий возможность поддерживать информационную связь между элементами контура управления, производить автоматический контроль за ее параметрами. Описываемый комплекс состоит [80, 82, 128] из блоков маяков (БМ), устанавливаемых в определенных точках транспортной сети, блоков транспортных объектов (БТО – рис.31) и блоков центра управления (БЦУ – рис.32). Протокол организации связи между ними изображён на рис.33. БМ, через определенные интервалы времени, передает код своей зоны и затем вновь переходит в пассивный режим. Переход (1-2-1) на рис.33, независимо осуществляют все блоки маяков транспортной сети. Зоны действия их либо не перекрываются, либо синхронизированы таким образом, что их активные режимы разнесены во времени (в последнем случае существенно усложняется анализ получаемой информации). Когда транспортный объект попадает в зону действия БМ, блок приема данных от маяка (БПМ) БТО, находящийся в режиме ожидания сигнала, принимает код этой зоны. Если в коде нет команды на передачу информации в БЦУ, то БПМ вновь переходит в режим ожидания передачи кода зоны. В противном случае, посредством блока приоритетов первого (БПРТ1) и блока организации связи (БОС) осуществляется процедура захвата канала связи БТО. При этом для устранения взаимного влияния блоков транспортных объектов осуществляется следующий алгоритм их взаимодействия с БЦУ. БОС организует прослушивание канала связи. Если канал занят, то предыдущая процедура повторяется вновь. Если канал свободен, то БОС посылает сигнал вызова БЦУ на связь. Этот сигнал принимает блок приема-передачи информации (БППИ) БЦУ, который находился в режиме ожидания сигнала от оператора системы или от БТО. БППИ передает синхронизирующий сигнал для всех запрашиваемых связь БТО. БОС получив сигнал синхронизации, осуществляет процедуру выдержки интервала времени, задаваемого генератором случайных чисел. Причем здесь временные интервалы (в определенных границах) могут быть определены приоритетом транспортного объекта. Далее блок организации связи осуществляет возврат на предыдущую процедуру прослушивания (позиция 5, рис.33). Если канал свободен, то БОС посылает сигнал запроса на разрешение передачи информации. Если сигнал разрешения не поступил, то вновь осуществляется попытка выхода на связь. В противном случае, осуществляется

передача данных на различных периферийных блоках БТО, например, блока записи координат (БЗК) положения транспортного объекта в выбранные интервалы времени, блоков передачи данных (БПД), осуществляющих связь с аппаратными средствами сбора информации о потоках подвижных объектов в СТО. Кроме этого передается код транспортного объекта, и код зоны, где он находится. БППИ (рис.32) осуществляет прием информации от БТО. БЦУ далее обрабатывает принятые данные. Эта процедура заключается в том, что блок хранения данных (БХД) находит в памяти системы информацию по транспортному объекту, вышедшему на связь (номер накопителей следования, время прохождения контрольных точек, скорость движения в этих точках, углы направления движения, координаты положений и т.д.). Если кода транспортного объекта нет в БХД, то об этом сообщается оператору и посылается сигнал аварии в БТО. После его приема БОС организует новый выход на связь и в соответствующих случаях отключает БТО. Если сигнал аварии не поступил, то БОС переходит в режим приема информации от БЦУ. Перед информационной частью пакета данных находится команда вызова БТО. После осуществления описанных процедур БТО и БЦУ переходят в режим ожидания сигналов. Если поступил запрос со стороны оператора, то блок передачи информации (БПИ) БЦУ осуществляет прослушивание канала связи. Если канал занят, то БПИ повторяет эту процедуру еще раз. Если же канал освободился (здесь имеется в виду не физический, а информационный канал БЦУ), то БПИ осуществляет передачу команды вызова на связь БТО и передачу необходимой управляющей информации.

Процедура подготовки передаваемой информации в БЦУ осуществляется следующим образом. Блок организации фрагментов данных (БОФ), по области допустимых перемещений, подготавливает информацию о параметрах СТО. Если транспортный объект подал команду на корректировку угла направления движения [82], то БОФ формирует код угла корректировки. Далее БППИ блоков центра управления передает эти данные в блок приема управляющей информации (БПУ) БТО. Этот блок, через второй блок приоритетов (БПРТ2) запрашивает разрешение на передачу принятой информации в блок контроля (БК). Здесь фиксируются параметры плановой траектории перемещения транспортного объекта и вырабатываются величины рассогласования их с реальной траекторией. Блок обработки данных таймера (БОТ) формирует метку планового положения подвижного объекта на его траектории в области допустимых перемещений. Блок обработки информации от датчика перемещения (БДП) с помощью блока направления перемещения (БН) формирует метку реального положения ТО. Система управления стремится устранить рассогласование между этими метками с учетом тех ограничений, которые накладываются средой перемещения и режимами СТО. В случае, если метка реального положения пересекла границу фрагмента области допустимых перемещений (в БК), то блок пересечения фрагмента (БФ), через БПРТ1 и БОС, осуществляет передачу запроса на информацию о новом фрагменте области допустимых перемещений (по описанному выше протоколу). В результате этой процедуры блоки центра управления (БППИ, БХД, БОФ) подготавливают и передают в БК (через БПУ) требуемую информацию. Если транспортный объект нарушил параметры своего режима функционирования (метка реального положения вышла за метку планового положения), то начинает функционировать блок нарушений режимов (БНР). Этот блок с этого момента периодически делает запрос на организацию связи (согласно протоколу) и передает в БЦУ координаты реального положения ТО с признаком нарушения режима

(или отсутствием нарушения, когда эта информация передаётся в последний раз). Блок отображения транспортных объектов нарушивших режим функционирования (БОН) отображает переданную из БТО информацию. Система управления транспортным объектом [82] пытается войти в заданный режим. С другой стороны оператор, с помощью имеющихся средств оперативного управления, принимает вариант управляющих воздействий. Для этого он с помощью блока клавишного ввода (БКВ) информации, набирает на пульте код СТО и транспортного объекта, нарушившего заданный режим. Далее начинает функционировать БХД, который на экране пульта оператора отображает траекторию контролируемого транспортного объекта с параметрами области допустимых перемещений. БОН формирует на упомянутом экране метки реального положения, а блок отображения планового положения (БПП) соответствующую метку на этом же экране. Оператор обладает полной информацией для принятия обоснованного решения по управлению транспортной сетью. С помощью блока введения символов (БВС), оператор имеет возможность набрать управляющие команды ЯИТС или ЯКГД, использовать требуемые алгоритмы и модели. После принятия решения и ввода его в систему [82], оператор через БПИ выходит на связь с контролируемым транспортным объектом. Принимаемые управляющие решения фиксируются в блоке ведения протоколов сообщений между БТО и БЦУ. В случае сбоя в БТО, блок аварийной ситуации (БАС) передает диагностическую информацию в БЦУ. Передаваемые в БЦУ параметры контроля от БЗК, БЦД записываются в блок фиксирования информации, который отправляет ее в управляющий вычислительный комплекс для дальнейшей обработки. Аппаратные средства системы оперативного управления, позволяют производить постоянный контроль за параметрами управляемой сети. Оператор системы, обладает полной диагностической информацией о состоянии объекта управления и имеет возможность доводить управляющие воздействия до любого транспортного объекта. Аппаратные средства системы, являются связующим звеном между всеми объектами транспортной сети, системой моделирования и принятия решений.

4.4. Модель элементов комплекса аппаратных средств управления

Для обеспечения автоматизированного проектирования аппаратных средств системы оперативного управления сетевыми транспортными объектами разработан алгоритм моделирования ее электронных компонентов [114]. Этот алгоритм позволяет на этапе предпроектных решений проверить работоспособность устройств и оценить его параметры. Для проведения моделирования некоторой схемы необходимо ее представить набором логических элементов И-НЕ (ИЛИ-НЕ). При этом можно воспользоваться библиотекой ранее составленных модулей. Далее необходимо выполнить следующие операции.

1⁰. Повести нумерацию элементов принципиальной схемы сверху вниз, слева направо.

2⁰. Провести нумерацию проводников схемы, присваивая проводнику номер элемента, к выходу которого он подключен.

3⁰. Провести описание соединений логических элементов друг с другом. Если это логический элемент И-НЕ, то запись делается в виде

$$i \text{ BARIABLE } LS1*LS2* \dots LSN. \quad (4.28)$$

Если это логический элемент ИЛИ-НЕ, то в виде

$$i \text{ B VARIABLE LR1+LR2+ ... +LRN.} \quad (4.29)$$

где 1,N нумерация входов i-го элемента, совпадающая с номерами элементов, к выходам которых они подключены. Для каждого i-го элемента схемы записать группу операторов входного языка описания логических схем в терминах аппарата моделирования дискретных систем [112]

$$\begin{aligned} & \text{MET } i \text{ ASSTGN } 1, i \\ & \text{TRANSFER } \text{SBR, SBR, } 2 \\ & \text{SPLIT } 1, \text{ MET } j \\ & \text{MET } 1 \text{} \\ & \text{MET } k \text{} \\ & \text{TRANSFER } P \end{aligned} \quad (4.30)$$

В (4.30) i является номером элемента схемы; j, l, k – номера элементов, входы которых подключены к выходу i-го элемента. Оператор SPLIT задает связь между выходом i-го элемента и входом j-го элемента. Если делается описание некоторого элемента, связанного с элементом, описанным ниже, то оператор TRANSFER опускается. Разработанный алгоритм точно воспроизводит этапы распространения сигналов по логическим элементам схемы. Он отличается от известных [143, 144] по подходу к интерпретации элементов системы управления и событий, протекающих в модулируемом устройстве, обладает большим быстродействием [114] и более развитыми возможностями к увеличению сложности моделируемых схем.

Сигнал поступает на один или несколько входов моделируемого устройства. Импульс проходит в логический ключ и в зависимости от состояния сигналов на других его выходах (состояния выходов других логических элементов) переключает или оставляет элемент в прежнем состоянии. Если элемент остался в прежнем состоянии, то распространение сигналов от этого элемента не происходит. Если же произошло переключение, то от выхода переключаются элементы по цепям, связывающих его выход с входами других элементов, начнет распространяться сигнал, который также может вызвать переключение других логических элементов (или оставить их в прежнем состоянии). Если произошло переключение этих элементов, они в свою очередь, начинают со своего выхода распространять сигнал по цепям, связывающих их выходы со входами других логических элементов (может быть и со входом того элемента, который вызвал первоначальное переключение). При этом распространение сигнала в каждом элементе задерживается на индивидуальную (или общую) постоянную времени. Постоянная времени может иметь вероятностное значение (эта величина может выражаться одним из законов вероятностного распределения [115]). В момент распространения сигналов (и соответствующих этому, момент переключения логического элемента) могут поступить и другие управляющие импульсы, которые также влияют на входной сигнал рассматриваемого элемента. Начальный этап алгоритма предназначен для имитации подключения напряжения питания к моделируемой схеме. При этом она должна перейти в устойчивое состояние (если его нет, то в режим генерации импульсов). Для этого в каждый из логических элементов схемы посылается сигнал, активизирующий этот элемент. Алгоритм моделирования состоит из трех сегментов. Первый, из которых предназначен для начальной установки моделируемой схемы.

1⁰. Начало.

2⁰. Подача транзактов в каждый из элементов в первый момент модельного времени.

3⁰. Задержка распространения сигнала на длительность постоянной времени элемента.

4⁰. Проверка. Должен ли быть элемент включен? Да, перейти к 5⁰. Нет, перейти к 13⁰.

5⁰. Проверка. В момент прихода транзакта на выход элемента он включен? Да, перейти к 6⁰. Нет, перейти к 7⁰.

6⁰. Транзакт покидает модель.

7⁰. Выключить элемент.

8⁰. Получить второй транзакт и поместить его в конец текущих событий.

9⁰. Направить первый транзакт на входы элементов, с которыми связан элемент входа транзакта – инициатора [53]. Перейти к 3⁰.

10⁰. Проверка. Произошли все события относящиеся к данному моменту времени? Да, перейти к 12⁰. Нет, перейти к 3⁰.

11⁰. Продвинуть транзакты [53], перейти к 3⁰.

12⁰. Продвинуть транзакт печати.

13⁰. Проверка. В момент прихода транзакта на выход, элемент включен? Да, перейти к 6⁰. Нет, перейти к 7⁰.

Второй сегмент предназначен собственно для моделирования исследуемой схемы.

1⁰. Начало.

2⁰. С заданной частотой подавать транзакты на вход моделируемой схемы.

3⁰. Инвертировать значение входного сигнала на входном элементе.

4⁰. Фиксировать модельное время события.

5⁰. Фиксировать состояние элементов в этот момент.

6⁰. Направить транзакт с выхода входного элемента по входам элементов, с которыми он связан.

7⁰. Перейти к 3⁰ первого сегмента.

Третий сегмент алгоритма предназначен для задания интервала моделирования.

1⁰. Начало.

2⁰. Через заданное модельное время сгенерировать транзакт.

3⁰. Вывести транзакт из модели.

4⁰. Конец третьего сегмента и алгоритма моделирования.

Согласно концепции аппарата моделирования дискретных систем [112], три сегмента алгоритма работают параллельно в модельном времени.

После небольших изменений в приведенном алгоритме его можно использовать для поиска кратчайших путей в исследуемой транспортной сети [82]. Результаты исследования разработанного алгоритма приведены в [114].

Выводы

1. Реализация предложенного принципа гиперсвязности позволяет осуществлять направленный поиск вариантов комбинированных режимов функционирования и формировать различные типы сетевых транспортных объектов в рамках адаптивного алгоритма применительно к возможным вариациям интенсивностей структур потоков подвижных объектов в реальном масштабе времени.

2. Введение в процедуру топологического управления необходимого условия, связывающего число транспортных объектов гиперсвязанного СТО с величиной объема

потока подвижных объектов, накладывает ограничение на число альтернативных вариантов комбинированных режимов функционирования сетевых транспортных объектов, что в свою очередь ведет к повышению быстродействия алгоритма поиска таких СТО.

3. Алгоритм определения оптимальных значений временных параметров транспортных сетей, может представлен совокупностью алгоритмов решения локальных задач в рамках сетевого транспортного объекта с последующим анализом решений в диалоговом режиме.

4. Распределение функций контроля в контуре управления, развитый интерфейс с моделирующей системой и вычислительными устройствами обеспечивает взаимосвязь между аппаратными средствами, объектами СТО и системой управления, а также дает возможность более эффективно реализовывать управляющие воздействия по адаптации транспортной сети к возмущающим факторам.

5. Предложенная модель элементов аппаратных средств системы оперативного управления позволяет контролировать работоспособность блоков системы моделирования, принятия решений и их реализации как на этапе обоснования пред проектных решений, так и на этапе внедрения.

5. Практическая реализация моделей и алгоритмов управления и проектирования транспортными сетями

В данной главе рассматривается общее описание реализованных программных средств. Проводится анализ эффективности предложенных алгоритмов. Кроме того, представлены результаты использования разработанного комплекса программ при решении задач проектирования элементов транспортных сетей.

5.1. Решение задачи идентификации параметров сетевых транспортных объектов

Для автоматизации процесса оперативной идентификации транспортных сетей разработано программное обеспечение [83], блок-схема которого представлена на рис.34. Здесь первая головная программа BBOD предназначена для записи исходных данных по одному СТО с носителя информации на магнитной ленте (НМЛ) на носитель информации на магнитном диске (НМД). Программа производит обращение к подпрограмме BYR и NAPOL. Входными данными программы BBOD служат файлы на НМЛ по всем контролируемым СТОГ с соответствующими переменными табл.1 приложения 5.

После ввода информации упомянутая головная программа производит логическую проверку введенных данных и преобразование ее в соответствующий формат. Вторая головная программа PASP предназначена для создания на НМД файлов паспортных параметров контролируемых СТО. Входной файл содержит соответствующие переменные табл.1 приложения 5. Выходные данные соответствуют входным, но находятся в преобразованном формате на НМД.

Третья головная программа UMAR предназначена для предварительной обработки поступившей информации и вывода ее оператору (в виде таблицы). Эта программа связана с подпрограммами DRG, ISVN, ISVTAB, ISHAP, SNAP, PASKM. Подпрограмма

ISVN предназначена для определения итоговых показателей. Выходными параметрами ее являются функции распределения наполнения подвижными объектами транспортных объектов каждого СТО. Подпрограмма PASKM предназначена для расчета величин дающих интегральную оценку загруженности СТО [2, 82]. ISHAP, SNAP, ISVTAB подпрограммы предназначены для вывода результатов в виде таблиц заданного формата [83]. Подпрограмма DRG производит расчет расстояний между накопителями в области допустимых перемещений, времени оборота транспортных объектов в СТО, общей длины его траектории. Выходные параметры этого этапа представлены в табл.2 приложения 5. Четвертая головная программа BRPIK предназначена для расчета потоков подвижных объектов по заданным интервалам, выборки данных для определения необходимого числа подвижных объектов.

Программа BRPIK содержит подпрограммы VVR, PIK, IZVR, HOMEP, IPIK, VREM, IZPIK, ZVR, IVVR, DRG. Подпрограммы IZVR, , ZVR, VVR, VREM предназначены для подготовки и вывода оператору функций распределения потоков подвижных объектов в пиковые и межпиковые интервалы времени (в виде таблиц определенного формата). Подпрограммы IZVR, IZPIK, ZPIK, PIK предназначены для подготовки и вывода данных загрузки накопителей, транспортных объектов, СТО в пиковые и межпиковые интервалы. Подпрограмма HOMEP предназначена для постановки в соответствие символьному коду сетевого транспортного объекта (с которым работает оператор) целой переменной. Программа BRPIK использует результаты работы соответствующей части подпрограммы DRG. Входной информацией для BRPIK являются файлы данных, полученные на предыдущих этапах, а выходные данные соответствуют п.п. 16+31 табл.2 приложения 5 (для этих интервалов времени).

Пятая головная программа TAP предназначена для расчета и вывода оператору технико-эксплуатационных показателей функционирования совокупности СТО (образующих транспортную сеть) в виде определенных таблиц [83].

Шестая головная программа SWOD предназначена для подготовки и вывода оператору параметров идентификации транспортной сети в требуемой форме за определенный интервал времени ее функционирования. Программа SWOD использует подпрограммы PROV, PROV1, PROV2, RES, ZVR, SZK, DRG. Выходной информацией для этих программ являются переменные п.п. 1+23 табл.1 приложения 5, а выходными соответствующие переменные табл.2 этого же приложения.

Программное обеспечение написано на языке фортран и нацелено на работу, как в оперативном, так и в пакетном режимах. Время идентификации параметров транспортной сети в оперативном режиме для десяти СТО, содержащих по двадцать накопителей и транспортных объектов, составляет не более десяти секунд (ЕС 1060). На рис.35 изображены зависимости количества ТО (в сетевом транспортном объекте ГПТ) от его номера, рассчитанные ЭВМ и традиционным способом. Величина обычной ошибки при этих расчетах (допускаемых ЛПП) составляет 60% [145]. На рис.36 изображены зависимости количества ТО в тех же сетевых транспортных объектах в момент пиковой нагрузки. За счет более рационального использования транспортного ресурса, (введения гиперсвязных СТО), в этой ситуации, удастся снизить количество ТО на 30% (при том же уровне обслуживания). Программные средства оперативной идентификации параметров СТО и техническая документация по соответствующим аппаратным средствам контроля сданы в фонд ЦНТИ г. Воронежа [83] и включены в план сдачи документации в

специализированный отраслевой фонд алгоритмов и программ (СОФАП) при ПКБ АСУ г. Киева. Программный комплекс был апробирован в процессе обработки результатов нагрузочных параметров сетевых транспортных объектов ГПТ г. Воронежа, полученных табличным методом [83, 146]. В результате внедрения повышена точность результатов, скорость обработки, снижена трудоемкость выполняемых при этом процедур (приложение 8). Разработанные программы могут найти применение в системах оперативного контроля за нагрузкой сетевых транспортных объектов ГАП [147], транспортно-складских систем различных отраслей промышленности [148, 149].

5.2. Машинная имитация сетевых транспортных объектов

Разработанное программное обеспечение [82] может быть настроено на моделирование изолированного сетевого транспортного объекта ГПТ. Это, например, необходимо при поиске оптимального числа транспортных объектов в СТО [150]. На рис.37 показана зависимость целевой функции от количества транспортных объектов в СТО (N):

$$W = C_1 P_1(N) + C_2 P_2(N) \quad (5.1)$$

где число P_1 – число отказов в обслуживании подвижных объектов (входящих в СТО); P_2 – число прогонов транспортных объектов без полной загрузки; $C_1 C_2$ – соответствующие стоимостные коэффициенты вышеназванных величин [2]. При этом поток подвижных объектов (найденный по 4.9) и скорость перемещения транспортных объектов остаются постоянными. Функции P_1 и P_2 являются (в этом случае) выпуклыми и поэтому целевая функция имеет здесь минимум. Результаты других машинных экспериментов приводили к ситуациям, когда (5.1) не имело строгого минимума в допустимом интервале изменения переменных. Это значит, что для повышения эффективности функционирования сетевого транспортного объекта, здесь необходим ввод гиперсвязного СТО. На рис.38 показана зависимость времени моделирования сетевого транспортного объекта от величины потока подвижных объектов (4.9), при разном количестве транспортных объектов и при постоянной скорости последних. Здесь и далее эксперименты проводились на ЭВМ ЕС1060.

На рис. 39 (в качестве примера) приведено графическое изображение транспортной сети ГПТ. Здесь точками показаны накопители, линиями сетевые транспортные объекты, кругами представлены истоки-стоки, пунктирными линиями – узлы. Для проверки адекватности модели было проведено моделирование транспортной сети г.Острогожска (Воронежская область), имеющий 40 тысяч жителей, четыре маршрута с тридцатью двумя агрегированными истоками-стоками [151]. В результате анкетного обследования были получены матрицы корреспонденций, задающие интенсивности поступления подвижных объектов в сеть для модели. В результате проведения измерений входных-выходных потоков для изолированных сетевых транспортных объектов табличным методом, получены зависимости, приведенные на рис.40, 41 (внизу). В результате проведения имитационного эксперимента были получены измеряемые данные. Максимальное отклонение (рис.40, 41, вверху) параметров при этом составило 15%, что говорит о хорошей точности моделирования [11] (время моделирования 160 минут без подготовки исходных данных). После идентификации таким образом модели, она может применена для анализа аварийных ситуаций в сети и методов их устранения.

На рис.42 (в качестве примера) приведена технологическая схема ГАП [80]. Настроенная на этот случай модель, имитирует гибкий сетевой транспортный объект. Время моделирования этого варианта транспортной сети составляет 90 секунд (объем исходных (N), промежуточных (P) и выходных (M) складов составляет тысячу единиц подвижных объектов, объем транспортных объектов 90 единиц, реальное время функционирования ГАП – шесть часов). Разработанное программное обеспечение может быть настроено и на транспортные сети ГАП, имеющие структуры, показанные на рис.43. Для первого варианта (рис.43, а), когда транспортные объекты СТО проходят последовательно все накопители (входные и выходные), на рис.44 а, б, показаны зависимости, получаемых в результате моделирования, параметров (здесь $k = 14$). Для структур транспортной сети в случае гибких СТО ($k = 17$) зависимости исследуемых параметров показаны на рис.45, 46. Разработанный комплекс программных средств апробирован при решении задач выбора рациональных схем маршрутов сети ГПТ (г. Воронеж), рациональных схем транспортных сетей ГАП по производству микросхем ПО «Электроника» и сети ТСС объединения «Воронежавтотранс», что позволило обосновать ряд проектных решений (приложение 8). Программные средства моделирования изолированных сетевых транспортных объектов сданы в СОФАП г. Киева.

5.3. Задача проектирования сетевых транспортных объектов

Алгоритм поиска гиперсвязных сетевых транспортных объектов реализован на языке фортран в виде пакета (приложение 6), состоящего из головного модуля BUS и подпрограмм MKOP, TKX, NVG, HX. Вызов модуля BUS осуществляется оператором

$$\text{CALL BUS (KX, TA, TAX, NB, M, N, TMAX, TO),} \quad (5.2)$$

где KX – матрица корреспонденций подвижных объектов в СТО; TA – матрица затрат времени на перемещение в СТО транспортных объектов; TAX – скоростная матрица [137] затрат времени TO; NB – массив, содержащий номера накопителей для всех рангов; M – максимальное допустимое количество накопителей в СТО; N – количество ТО в СТО; TMAX – максимальное время ожидания ПО в накопителях; TO – время оборота транспортного объекта. Для работы с модулем BUS необходимо также описать массивы KX, TA, TAX, NB в виде:

$$\text{DI MENSION KX (M, M), TA (M, M), TAX (M, M), NB (M, M).} \quad (5.3)$$

Головной модуль также содержит оператор

$$\text{COMMON AL 1, AL2,} \quad (5.4)$$

Где AL 1, AL2 – эксплуатационные расходы на содержание одного транспортного объекта в единицу времени и стоимостное выражение единицы временных затрат подвижных объектов.

Подпрограмма FUNCTION HX предназначена для вычисления среднего значения ненулевых элементов матрицы корреспонденций подвижных объектов. Подпрограмма оформляется в виде:

$$\begin{aligned} &\text{FUNCTION HX (KX, M),} \\ &\text{DIMENSION KX (M, M).} \end{aligned} \quad (5.5)$$

Для работы с подпрограммой HX, необходимо присвоить значения элементов массива KX и переменной M. Обращение к (5.5) осуществляется оператором

$$\text{P = HX (KX, M),} \quad (5.6)$$

где P – переменная.

Подпрограмма FUNCTION NVG предназначена для вычисления объема перевозок подвижных объектов. Подпрограмма оформляется аналогично (5.5). Подпрограмма FUNCTION TKX предназначена для вычисления суммарных затрат времени в сетевых транспортных объектах. Оформление подпрограммы осуществляется аналогично предыдущим случаям. Подпрограмма MKOP предназначена для вычисления матрицы корреспонденций заданного ранга. Обращение к подпрограмме имеет вид:

CALL MKOP (KX1, KX2, M, KMAX), (5.7)

где $KX1$ – матрица корреспонденций подвижных объектов $(k-1)$ ранга; $KX2$ – такая же матрица ранга k ; $KMAX$ – максимальный элемент $KX1$. В результате выполнения головного модуля BUS и связанных с ним подпрограмм, определяются топологические параметры гиперсвязных СТО, которые приведены в приложении 6 [137].

На рис.47 изображены траектории поиска гиперсвязного СТО вышеописанной программой. Здесь число транспортных объектов на основном СТО (N_E) равно десяти, число накопителей (M_H) пятнадцати, объем потока подвижных объектов (V_C) равен 18572 единиц. Кружками обведены номера рангов поиска. Программа выделила всего пять рангов. Первый и второй ранги были просмотрены полностью. Третий ранг (и остальные) был просмотрен до того момента, когда еще выполнялось условие (4.10). Это привело к сокращению проверяемых вариантов. Время поиска (t_n) в этом случае, составило 36.85 секунд. Минимум времени обслуживания ($\bar{t}$) достигается при $N_E = 7$. Программа, приведенная в приложении 6, содержит аналитическую модель СТО. При использовании в контуре программы имитационной модели, время поиска (для данного случая) возрастает до двух минут (ЕС1060), но при этом точность принятия решения значительно увеличивается (эффективность функционирования СТО удастся повысить еще на 10%). Сравнительно небольшое увеличение времени при использовании имитационной модели, достигается за счет организации поиска в ограниченной зоне, найденной программой с аналитической моделью. Тем не менее, именно отсюда вытекает необходимость аппаратного подхода к реализации моделирующих функций, ибо время проведения полного поиска с имитационной моделью (на ЕС1060) составляет около двух часов. Аппаратный подход позволяет снизить это время на несколько порядков [152, 153].

На рис.48 изображены зависимости времени поиска гиперсвязного СТО от величины потока подвижных объектов и от числа транспортных объектов исходного СТО.

Программное обеспечение поиска рациональных режимов функционирования СТО состоит из головной программы MODEL и подпрограмм ERROR, GRAFIK, PARAM, STRAT, IDEAL, OUTOTS, SHET, TAB, BBOD, INOTS, SARADA, ANALIZ, ZAMENA, SDVIG, ITOG, GRAFIN, TIMER.

На рис.49 изображена блок-схема программного обеспечения. Связь между подпрограммами и головной программой осуществляется посредством аппарата формально-фактических переменных и общей области памяти [154]. Входные данные программы MODEL соответствуют переменным табл.1 приложения 7, а выходные переменным табл.2 этого же приложения. Для осуществления процедуры ввода паспортных данных сетевого транспортного объекта и параметров, характеризующих сложившуюся ситуацию в СТО, головная программа обращается к подпрограмме BBOD. Здесь определяется количество транспортных объектов в СТО по интервалам времени, число контрольных точек отметки, длительность режимов. Отчет модельного времени

начинается с некоторого постоянного числа для исключения неоднозначностей в определении текущего модельного времени. Ошибки, возникающие в процессе выполнения подпрограмм, идентифицируются подпрограммой ERROR с сообщением соответствующего кода. Головная программа вызывает подпрограмму PARAM, которая определяет следующий пункт отметки транспортного объекта. Далее MODEL начинает формировать параметры множества (2.27). Для этого она обращается к подпрограмме STRAT, которая выбирает стратегию поведения алгоритма в зависимости от ситуации

$$\begin{aligned} N^E(\tau_i) &> N^E(\tau_{i+1}); N^E(\tau_i) = N^E(\tau_{i+1}); \\ N^E(\tau_i) &< N^E(\tau_{i+1}). \end{aligned} \quad (5.8)$$

Далее происходит обращение к подпрограмме IDEAL, которая формирует идеальное размещение на временной линии заданного накопителя [83]. Затем головная программа обращается к подпрограмме OUTOTS, которая вводит транспортные объекты в СТО. После подготовки параметров, MODEL обращается к подпрограмме SDVIG, которая производит перемещение транспортных объектов в следующее состояние ($j, j+1, j+2, j+3$) и в зависимости от ситуации реализует режимы их работы (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7) [140]. Цикл перемещений транспортных объектов повторяется до нового τ_{i+1} .

Подпрограмма SHET учитывает рабочее время транспортного объекта и время его простоя. Подпрограмма SARADA осуществляет вывод всех ТО в состояние ($j+3$). Эта же подпрограмма под управлением подпрограммы ZAMENA (осуществляет ввод (и вывод)) в (из) СТО транспортных объектов в необходимых случаях. Подпрограмма ITOG предназначена для печати комментирующей информации оператору. Подпрограмма TIMER осуществляет процедуру ведения модельного времени. Подпрограмма GRAFIN и GRAFIK выводят оператору расчетные данные в виде диаграммы (рис.26).

Подпрограмма TAB формирует полученные данные в виде таблиц определенного формата, которые далее могут корректироваться оператором с помощью средств ЯКГД. Текст программы и сервисных процедур приведен в [82].

На рис.50 приведены зависимости времени поиска рациональных временных режимов функционирования СТО от количества интервалов и числа транспортных объектов в нем.

Пакет программ определения топологических и временных параметров СТО, апробирован при расчете характеристик транспортных сетей ГПТ, ГАП, ТСС и передан в кустовой вычислительный центр (КВЦ) г. Зеленограда и лабораторию АСУ института автоматизации процессов управления при ДВНЦ АН СССР г. Владивостока (приложение 8).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью работы являлась реализация системного решения задач автоматизации оперативного управления сетевыми транспортными объектами.

Показано, что существующие алгоритмы определения топологических и временных параметров сетевых транспортных объектов не позволяют получать необходимые решения в реальном масштабе времени (в виду низкого быстродействия) и в диалоговом режиме, не обладают средствами детализации результатов решения, обеспечивающими выбор эффективных управляющих воздействий. Также, известные модели (аналитические и имитационные) элементов транспортных сетей 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. Поэтому эффективное решение задач оперативного управления транспортными сетями потребовало дополнительных исследований с позиций системного подхода в области информационного обеспечения алгоритмов идентификации, моделирования и управления.

Предложенная процедура системного решения задач автоматизации оперативного управления сетевыми транспортными объектами позволила выявить недостающие технологические звенья для обеспечения комплексного решения задач управления, применительно к разнообразным условиям функционирования сетевых транспортных объектов различной структуры и типов. Транспортную сеть в теоретико-множественном плане, можно представить множествами специального вида, элементы которых определены таким образом, что структура алгоритмов моделирования не зависит от параметров сети и ее класса. Поведение подвижных и транспортных объектов тогда можно промоделировать многоальтернативной логикой выбора сетевого транспортного объекта в накопителях транспортной сети в условиях ее корректировки и в процессе моделирования. Предложенная процедура прогнозирования структуры и интенсивности потоков подвижных объектов сводят процесс оперативного управления транспортной сетью к принятию топологических и временных управляющих воздействий, адаптирующих транспортную сеть к новым потокам этих объектов. Процедуру адаптации транспортной сети, во многих случаях, можно свести к локальной адаптации сетевых транспортных объектов, путем изменения их параметров и введения гиперсвязных СТО. При этом сочетание диалоговых и аппаратных средств моделирования и управления позволяют реализовать процедуру принятия решений в реальном масштабе времени.

Предложенная комплексная реализация аппаратных и алгоритмических средств контроля параметров, существенно повышает точность процедуры идентификации объекта управления. Реализация разработанного метода определения параметров наполнения накопителей дает возможность оперативного выявления сбойных ситуаций и принятия обоснованных управляющих решений. Предложенный метод оперативного контроля параметров траекторий подвижных объектов обеспечивает высокую точность и полноту идентификации характеристик элементов транспортной сети и на основе определяемых им данных позволяет получать величины входных и выходных потоков упомянутых объектов. Модификация известных алгоритмов позволила реализовать процедуру восстановления матриц корреспонденций, при этом обеспечив повышение достоверности данных и снижение затрат на ее реализацию.

Использование в алгоритмах управления принципа гиперсвязности позволяет осуществлять направленный поиск вариантов комбинированных режимов функционирования и формировать различные типа сетевых транспортных объектов в рамках адаптивного алгоритма применительно к возможным вариациям интенсивностей и структур потоков подвижных объектов в реальном масштабе времени.

Введение в процедуру топологического управления необходимого условия, связывающего число транспортных объектов гиперсвязного СТО с величиной объема потоков подвижных объектов, накладывает ограничение на число альтернативных вариантов комбинированных режимов функционирования сетевых транспортных объектов, что в свою очередь ведет к повышению быстродействия алгоритма поиска таких

СТО. Алгоритм определения оптимальных значений временных параметров транспортных сетей может представлен совокупность алгоритмов решения локальных задач в рамках сетевого транспортного объекта с последующим анализом решения в диалоговом режиме. Распределение функций контроля в контуре управления, развитый интерфейс с моделирующей системой и вычислительными устройствами, обеспечивает взаимосвязь между аппаратными средствами, сетевыми транспортными объектами и системой управления, а также дает возможность более эффективно реализовывать управляющие воздействия по адаптации транспортной сети к возмущающим факторам. Предложенная модель элементов аппаратных средств системы оперативного управления позволяет контролировать работоспособность блоков системы моделирования, принятия решений и их реализации как на этапе обоснования пред проектных вариантов, так и на этапе внедрения.

Разработанные теоретические положения легли в основу созданных программных и технических средств управления транспортными сетями ГАП, ГПТ, ТСС, что подтверждается актами внедрения.

Литература

1. Горбачев М.С. Политический доклад Центрального комитета КПСС XXУП съезду коммунистической партии Советского Союза. // Правда. – 1986. – 26 февр.
2. Артынов А.П., Скалецкий В.В. Автоматизация процессов планирования и управления транспортными системами. – М.: Наука, 1981. – 280 с.
3. Правила организации пассажирских перевозок на автомобильном транспорте / Под ред. Г.Л. Самойловича. – М.: Изд-во Минавтотранс РСФСР, 1983. – 54 с.
4. Болоненков Г.В. Организация скоростных автобусных сообщений в городах. – М.: Транспорт, 1977. – 160 с.
5. Д.С. Самойлов, Е.Н. Дубровин, В.С. Науменко, Ю.М. Голонен. Городской скоростной пассажирский транспорт / - М.: Высшая школа, 1975. – 281 с.
6. Хрущев М.В., Логинов В.Н. Использование ЭВМ при организации автобусного сообщения в городах. – М.: ЦБНТИ Минавтотранс РСФСР, 1975. – 59 с.
7. Кущенко В.А., Бурковский В.Л. Алгоритмизация задач оперативной маршрутизации / Воронеж. политехн. ин-т. – Воронеж, 1985. – 14 с. Деп. в ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, № 279 ат – ДЕП 85.
8. Логинов В.Н. Исследование рациональной организации скоростных режимов автобусного сообщения на городских маршрутах: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1978. – 17 с.
9. Либерман С.Ю. Исследование и разработка методов рациональной организации движения автобусов на городских маршрутах: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1979. – 16 с.
10. Рюгер З. Эксплуатация городского пассажирского транспорта. – М.: Транспорт, 1977. – 207 с.
11. Тузовский А.Ф. Вопросы оптимизации оперативного управления движением пассажирского транспорта на маршрутах: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Томск, 1980. – 18 с.
12. Kaufmann A., Desbazeille G. La Methode du chemin critique, Ed. Dunod. – Paris, 1966. – 128 p.
13. Проскурин А.В., Просанова Н.И. Методические указания по вопросам изучения пассажиропотоков на городских автобусных маршрутах. – М.: НИИАТ, 1979. – 58 с.
14. Вайншток М.А. Организация автобусных перевозок. – М.: Транспорт, 1979. – 87 с.
15. Математические методы в управлении городскими транспортными системами / Под ред. О.Г.Фаянса. – Л.: Наука, 1979. – 150 с.
16. Гуревич Г., Семенов Г. Полуавтоматизированный метод составления расписаний. // Автомоб. транспорт. – 1981. - № 4. – С.23.
17. Иванюк Р. Полуавтоматизированный метод составления расписаний движения автобусов. // Инф. листок / Тульск. ЦНТИ – 1983. – № 476-84. – С. 1-4.
18. Расчет расписаний в режиме диалога с ЭВМ / Г.А.Воловиков, А.С.Орлов, Н.В.Орлова, С.Д.Хан. // Моделирование процессов управления транспортными системами. – Владивосток, 1977. – С. 157-160.
19. Лотов А.В. Введение в экономико-математическое моделирование. – М.: Наука, 1984. – 392 с.

20. Крупник В.Ш., Маслич Т.Я. Автоматизированное составление расписаний движения. // Автомоб. транспорт. – 1981. – № 4. – С.22.
21. Nemhauser G. A problem in blec Service Scheduling. Oper. Res. – 1972 – V.20, № 4 – p. 813-814.
22. Гибкое автоматизированное производство. – Л.: Машиностроение, 1983. – 200 с.
23. Петров В.А. Групповое производство и автоматизированное оперативной управление. – Л.: Машиностроение, 1975. – 312 с.
24. Петров В.А., Смирнов С.Б., Васюхин О.В. Планирование и управление пропускной способностью гибких автоматизированных производственных систем. – Л.: ЛДНТП, 1985. – 25 с.
25. Шведов В.Е., Сегаль Л.С., Григоренко В.М. Автоматизированные системы перемещения грузов на складах. – Л.: ЛДНТП, 1985. – 27 с.
26. Воронцов В.И. Транспортно-накопительные и складские подсистемы дискретных производств. // Пром. транспорт. – 1984. – № 10. – С.9-12.
27. Воскобойников Б.С. Гибкие производственные системы. // Механизация и автоматизация пр-ва. – 1985. – № 4. – С.39-42.
28. Fuchs A., Greschner G., Ausarbeitung von Empfehlungen für Betriebsweisen mit Leitlich eingeschränkter Verfügbarkeit. Technischer Abschlussbericht zum ap.2300: Forderungszeichen TV 7626. 1975. 240 s.
29. Müller-Mezbach H. Optimale Reihenfolgen. Verlag-Berlin Springer: 1970. – 17 s.
30. Greschner G. Modifiziertes verfahren des «Dynamie Programming» Zur Lösung eine Jperiellen Travelling Salesmann Problems bei der Optimalen Routenberechnung Bedarfgesteuerten Busse // Oper. Res. – 1981. – № 11837. – S. 372-381.
31. Баскин Э. М. О среднем времени ожидания пассажира на автобусной остановке. // Теория и средства автоматизации. – М., 1968. – С.43-58.
32. Раскин Е.Н., Хейфец Н.Б., К вопросу определения времени ожидания пассажира на маршруте городского пассажирского транспорта. // Экономико-математические методы планирования и управления в системах городского хозяйства. – Владивосток, 1977. – С.98-107.
33. Boyce D.E., Jouson B.N. A discrete transportation network design problem roith combined trip distribution and assignment // Frans Res. – 1978. – V.14., № 1 – P. 147-154.
34. Talvitie A., Dehgani Y. Models for Transportation Levie for Service // Transp. Res. – 1980. – V.1, B.19. – P. 87-99.
35. Olusegun A.. Some Characheristion of buses trip times During Doorster Service // Transp. Res. – 1981, – V.5, B 15 – P. 359-361.
36. Evang S.P. Derivation and analyses of some models for combining trip distribution and assignment // Transp. Res. – 1976, – V. 10, P. 37-57.
37. Черных В.П. Аналитическое моделирование процесса обслуживания пассажиров на отдельном маршруте городского транспорта. // Экономико-математические методы планирования и управления в системе городского хозяйства. – Владивосток, 1977. – С. 108-120.
38. Turnquist M.A. Model for investigation the effect of servise freguensy and reliability on bus passenger weiting times // Transp. Res. – 1978. – № 663. – P. 70-73.

39. Петров Э.Г., Левченко Л.В. Математическая модель оптимизации параметров маршрута ГОТ. // Инф.листок / Харьков, ЦНТИ. – 1981. – № 81-05. – С. 1-2.
40. Leduse E. Ame'liration du control des voyageurs aux points d'arret // Revue UJTP. – 1982. – V.31, № 4. – P. 323-382.
41. Daras Y. Irregularite des autobus et temps d'attente des Voyageurs // Transp. envireon cirx. – 1979. – № 33. – P. 13-21.
42. Gartner N.H. Optimal traffic assignment with elastic demands // Transp. Sci. – 1980. – V.14, № 2. – P 174-179.
43. Аникст М.Т., Пупышев А.В. Моделирование и оптимизация работы пассажирского транспорта на маршрутной сети города. // Экономико-математические методы планирования и управления городским хозяйством. – Владивосток, 1976. – С. 66-85.
44. Новиков О.А., Петухов С.И.. Прикладные вопросы теории массового обслуживания. – М.: Сов.радио, 1969. – 400 с.
45. Вильсон А.Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 248 с.
46. Имельбаев Ш.С., Шмультян Б.Л. Моделирование стохастических коммуникационных систем. // Вильсон А.Д. Энтропийные методы. – М., 1978. – С. – 248.
47. Wilson A.G. Urban and Regional models in Geographi and Planning. Yohn Willus and Sonc. – London, 1974. – 260 p.
48. Dijkstra E.W. A note on two problems in connection with graphs. Numericul // – Mathematik. – 1959. – № 1. – P. 269-271.
49. Кофман А. Введение в прикладную кибернетику. – М.: Наука, 1975. – 479 с.
50. Федоров В.П. Математическая модель формирования пассажиропотоков. // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. – 1974. – № 4. – С.29-42.
51. Шмультян Б.Л., Имельбаев Ш.С. Модели передвижения пассажиров в городах // Транспортные системы. – М., 1978. – Вып. 4. – С. 7-14.
52. Диниц Е.А. Экономные алгоритмы нахождения кратчайших путей в сети // Транспортные системы. – М., 1978. – Вып.4. – С. 14-22.
53. Шрайбер Т.Дж. Моделирование на GPSS. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
54. Alon Black. Optimising urban mass transport systems, a General model // Transp. Res. – 1978. – № 877. – P.41-47.
55. Артынов А.П., Васильченко А.И., Скалецкий В.В. Имитация движения поездов на сети городского пассажирского транспорта // Методы оптимального планирования и управления в городском хозяйстве. – Владивосток, 1976. – С. 103-115.
56. Шульгин В.А. Планирование и управление процессом создания гибких автоматизированных производств. – Л.: ЛДНТИ, 1985. – 30 с.
57. Бурковский В.Л. Моделирование и анализ схем организации движения городского пассажирского транспорта: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Томск, 1977. – 22 с.
58. Andersson P.A., Scalia-Tomba G. P. A mathematical model of an urban bus route // Transp. Res. – 1981. – B.15, № 4. P. 249-266.
59. Andersson P.A., Hermansson A., Fengwald E., Scalia-Tomba G. P. Analysic und simulation of an urban bus route // Transp. Res. 13 A. – 1981. – P. 439-466.

60. Антошвили М.Е., Варелопуло Г.А., Хрущев М.В. Организация городских автобусных перевозок с применением математических методов и ЭВМ. – М.: Транспорт, 1971. – 46 с.
61. Dijon A. Appareil de pesee // Transp. Pub. – 1984. – № 812. – P.38-39.
62. Артынов А.П., Ембулаев В.П. Автоматизация сбора информации о пассажиропотоках на городском пассажирском транспорте. // Методы оптимального планирования и управления в городском хозяйстве. – Владивосток, 1976. – С. 115-131.
63. Артынов А.П., Ембулаев В.П. Методы и алгоритмы обработки информации о пассажиропотоках в системе управления городским пассажирским транспортом // Методы построения алгоритмических моделей сложных систем. – Таганрог, 1976. – С. 88-96.
64. Игнатенко А.С. Исследование потоков пассажиров и разработка метода автоматизированного учета пассажиров, развозимых автобусами на городских маршрутах. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Киев: КАДИ, 1978. – 17 с.
65. Автоматизированный способ определения корреспонденций в городах. Инструкция. – М.: ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, 1974. – 32 с.
66. Моспан Ю.П. и др. Автоматизированное устройство получения первичной информации о работе автобусов на маршруте // Автомоб. транспорт. – 1976. – №4. – С.43.
67. Устройство для подсчета штамповочных деталей: А.С. № 652589 СССР. Малинин А.В., Катков Ю.С. // Бюлл. изобретений и открытий. – 1979. – №10.
68. Устройство для распознавания и учета деталей: А.С. № 109253 Д СССР. Генкин В.Л. // Бюлл. изобретений и открытий. – 1984. – № 18.
69. Устройство для подсчета штучных предметов, перемещаемых конвейером: А.С. № 758209 СССР. Агафонов Е.И., Ковш А.Л. // Бюлл. – 1980. – № 31.
70. Устройство для регистрации экипажей: А.С. № 327503 СССР. Штыков В.А. и др. // Бюлл. – № 5. – 1972.
71. Устройство для подсчета пассажиров в транспортном средстве: А.С. № 1083212 СССР. / Кущенко В.А., Бурковский В.Л., Маркин И.И. // Бюлл. – 1982. – №4.
72. Кущенко В.А., Афанасьев Л.А., Арепьев О.Ю. Об оперативной идентификации параметров транспортного объекта управления / Воронеж. политехн. ин-т. – Воронеж, 1984. – 15 с. Деп. в ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР № 277 ат– 84.
73. Устройство для учета объема сортаментов: А.С. № 705486 СССР / Крупнов Б.А. // Бюлл. – 1979. – № 46.
74. Кущенко В.А. Устройства автоматической регистрации в контуре диспетчерского управления. // Оптимизация радиотехнических систем и их элементов. – Воронеж, 1983. – С. 5-7.
75. Бурковский В.Л., Кущенко В.А. Моделирование и выбор оптимальных параметров городского пассажирского транспорта // Экономия ресурсов и повышение технико-экономических показателей электромеханических систем и устройств. – Воронеж, 1982. – С. 59-60.
76. Кущенко В.А. Устройство для определения потоков подвижных объектов: полож. реш. на выдачу а.с. по заявке № 374384 / 24, 1984.

77. Гуревич Г.А., Михайлов А.Л., Лукьянов Р.С. Совершенствование методов обслуживания пассажиропотоков // Автомоб. транспорт. – 1981. – № 1. С. 24-26.
78. Кочаловская Э.М., Кривко А.Н., Крупник В.Ш. Получение характеристик пассажиропотоков и связей между остановками по результатам табличного обследования. // Пассажир. перевозки. Сер. 4 / ЦБНТИ. – М. – 1980. – С. 21-24.
79. Огий В.С. Модели анализа пассажиропотоков на маршрутах городского транспорта: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Томск, 1978. – 16 с.
80. Кущенко В.А. Модели, алгоритмы и устройства управления сложными технологическими сетями. // Материалы докл. II Всесоюз. конф. молодых ученых и специалистов. – М., 1984. – С. 29-30.
81. Артынов А.П., Ембулаев Л.Н., Пупышев А.В., Скалецкий В.В. Автоматизация управления транспортными системами. – М.: Наука, 1984. – 272 с.
82. Кущенко В.А. Оперативное управление сетевыми транспортными объектами / Воронеж. гос. ун-т. – Воронеж, 1985. – 107 с. Деп. в ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР № 260 ат – ДЕП85.
83. Кущенко В.А. Автоматизированный сбор информации о пассажиропотоках на маршрутированных видах транспорта // Инф. листок / Воронеж. ЦНТИ. – 1985. – № 4. – С. 1-4. (Приложение 70 с.).
84. Кущенко В.А. Устройство для подсчета подвижных объектов: Полож. решение на выдачу а.с. по заявке № 3801805/24, 1984.
85. Решиков М.Ю. Метод автоматизированного моделирования функциональных сетей (на примере человеко-машинных комплексов): Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Л., - 1983. – 17 с.
86. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. – М. Высшая школа, 1985. – 271 с.
87. Кущенко В.А. Имитационное моделирование дискретных технологических сетей / Воронеж. гос. ун-т. – Воронеж, 1985. – 15 с. Деп. в ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР № 259 ат– ДЕП85.
88. Никитин М.Г., Князев В.А. Транспортно-накопительная система на основе комбинированных линейных электродвигателей // Вестн. машиностроения. – 1985. – № 4. – С. 51-53.
89. Гибкое автоматизированное производство. / Под ред. С.А. Майорова. – Л.: Машиностроение, 1985. – 454 с.
90. Оре О. Теория графов. – М.: Наука, 1980. – 336 с.
91. Рейнгольд Э., Нивергельт Р., Део Н. Комбинированные алгоритмы (теория и практика). – М.: Мир, 1980. – 476 с.
92. Кофман А., Анри – Лаборуер А. Методы и модели исследования операций. – М.: Мир, 1977. – 432 с.
93. Методологические основы и математические методы / Под ред. Дж. Моуера, С. Элмаграби. – М.: Мир, 1981. – 230 с.
94. Баублис А.Б. Стохастические предприятия. – М.: Машиностроение, 1984. – 246 с.
95. Автоматизированная транспортная система / Былышко Б.И., Лобанов Л.В., Рошинский В.П. и др. // Электрон. пром-сть. – 1981. – № 10. – С. 41-43.
96. Гибкие производственные комплексы / Под ред. П.Н. Беянина, В.А. Лещенко. – М.: Машиностроение, 1984. – 384 с.

97. Алексеев П.И. Технологическое проектирование гибких автоматизированных производств. – Л.: ЛДНТП, 1984. – 30 с.
98. Рабинович Л.М. Роботизация производства автомобилей // Робототехника / ВИНТИ. – 1985. – С. 12-13.
99. Дащенко А.И., Белоусов А.П. Проектирование автоматических линий. – М.: Высшая школа, 1983. – 328 с.
100. Войчинский А.М. Гибкие производственные системы и совершенствование методов управления ими // Стандарты и качество. – 1985. – № 8. – С. 28-31.
101. Козырев Ю.П., Каниев Н.М. Роботизированные технологические системы – разновидность гибких производственных систем // Станки и инструменты. – 1985. – № 3. – С. 2-3.
102. Робототехника / Андрианов Ю.Д., Бобриков Э.П., Гончаренко В.Н. и др. – М.: Машиностроение, 1984. – 288 с.
103. Конвейеры: Справочник / Под ред. Пертена. – Л.: Машиностроение, 1984. – 365 с.
104. Льюси Ф., Розенкранц Д., Стирнз Р. Теоретические основы проектирования компиляторов. – М.: Мир, 1979. – 654 с.
105. Маккиман У., Хорнит Дж., Уортман Д. Генератор компиляторов. – М. Стройиздат, 1980. – 527 с.
106. Уэлдон Дж.Л. Администрирование баз данных. – М.: Финансы и статистика, 1984. – 207 с.
107. Мартин Дж. Организация баз данных в вычислительных системах. – М.: Мир, 1978. – 180 с.
108. Дрибас В.П. Реляционные модели баз данных. – Минск: БГУ, 1982. – 192 с.
109. Дейт К.Дж. Введение в системы баз данных. – М.: Наука, 1980. – 463 с.
110. Литвин В.Г., Аладышев В.П., Вениценко А.И. Анализ производительности мультипрограммных ЭВМ. – М.: Финансы и статистика, 1984. – 159 с.
111. Лавриненко М.В. Технология машиностроения и технологические основы автоматизации. – Киев: Вища школа, 1982. – 320 с.
112. Пакет прикладных программ для моделирования и исследования на ЭВМ дискретных систем. Математическое обеспечение ЕС ЭВМ. ПРО.309.007Д, 1977, 138 с.
113. Аваков Р.А., Тольденберг Л.М., Игнатьев В.О. Электронные управляющие машины. – М.: Связь, 1979. – 223 с.
114. Кущенко В.А., Афанасьев Л.А., Стрельцов П.Н. Построение моделей электронных схем, выполненных на логических элементах / Воронеж. политехн. ин-т. – Воронеж, 1984. – 10 с. – Деп. в ВИНТИ № 2470 – 84 ДЕП.
115. Шеннон Р.Ю. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 418 с.
116. Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ. Полу численные алгоритмы. – М.: Мир, 1977. – 723 с.
117. Маталин А.А., Френкель Ю.И., Панов Ф.С. Проектирование технологических процессов обработки деталей на станках с числовым программным управлением. – Л.: ЛГУ, 1977. – 240 с.
118. Якушин Л.А. Проектирование структур автоматизированных систем управления движением транспорта. – М.: ВПИИ БД, 1981. – 38 с.

119. Печерский М.П., Холович Б.Г. Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах. – М.: Транспорт, 1979. – 176 с.
120. Кущенко В.А. Автоматизация оперативного управления дискретными технологическими сетями с самообучением. // Микро-ЭВМ в управляющих и информационных системах промышленности СК. – М., 1985. – С. 14-16.
121. Залманзон Л.А., Пупырев Е.И.. Микропроцессоры в управлении и связи. – М.: Знание, 1982. – 63 с.
122. Зиссос Д. Проектирование систем на микропроцессорах. – Киев: Техника, 1982. – 176 с.
123. Клигман Э. Проектирование микропроцессорных систем. – М.: Мир, 1980. – 575 с.
124. Алдохин И.П. Моделирование работы сложных производственных систем. – Харьков: Вища школа, 1978. – 145 с.
125. Фрид А.М. Комплекс технологических средств автоматизированного заготовительного участка. // Принципы построения систем управления комплексно-автоматизированными участками и производствами. – ЦНИИ ПТ ИОТУ, 1982, с. 54-67.
126. Диоды и тиристоры: Справочник / Под ред. А.А. Чернышова. – М.: Энергия, 1980. – С. 175.
127. Зимодро А.Ф., Скабинский Г.Л. Основы автоматики. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.
128. Маркин И.И., Кущенко В.А., Пронин В.А. Оперативное управление автобусами на маршрутах ГПТ. // Инф. листок / Воронеж. ЦНТИ. – 1985. – № 167. – С. 1-4.
129. Рапопорт Л.Н., Солин Ю.В., Гравцов С.П. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. – М.: Машиностроение, 1977. – 246 с.
130. Вейцман К. Распределенные системы мини – и микро – ЭВМ. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 382 с.
131. Danas A. Arrivals of passengers and busses at two London bus-stops // Transp. Res. – 1980. – № 010. – P. 472-475.
132. Павленко Г.П., Половников В.С., Лопатин А.П. Автоматизированные системы диспетчерского управления движением пассажирского городского транспорта. – М.: Транспорт, 1979. – 207 с.
133. Кущенко В.А., Афанасьев Л.А. Система автоматизации технологии оперативного управления подвижными объектами // Автоматизация технологических процессов и промышленных установок. – Пермь, 1984. – С. 5.
134. Артынов А.П., Ембулаев В.Н. Методы и алгоритмы автоматизации обработки информации о пассажиропотоках на городском пассажирском транспорте. – Владивосток: ДВНУ. АН СССР, 1979. – 44 с.
135. Скалецкий В.В. Метод расчетного получения матрицы корреспонденций пассажиропотоков // Моделирование процессов управления транспортными системами. – Владивосток, 1977. – С. 45.
136. Бурковский В.Л., Гудович И.С., Кущенко В.А. Оценка вариантов организации экспресс обслуживания и укороченных рейсов / Воронеж. гос. ун-т. – Воронеж, 1985. – 15 с. Деп. в ЦБНТИ № 290 ат- Д85.

137. Гудович И.С., Кущенко В.А., Ратинер Н.М. Об одном алгоритме организации экспресс обслуживания и укороченных рейсов на городском общественном транспорте // Математика – народному хозяйству. – Воронеж, 1984. – С.7.
138. Бурковский В.Л., Гудович И.С., Кущенко В.А. Об оценке вариантов организации экспресс обслуживания и укороченных рейсов // Прикладные проблемы анализа и управления макросистемами. – Алма-Ата, 1985. – С. 55.
139. Пузырев В.А. Микропроцессорное управление технологическими процессами производства микроэлектронных приборов // Техническая кибернетика / ВИНТИ. – М., 1984. – Т.16. – С.3-100.
140. Кущенко В.А., Бурковский В.Л. Модели и алгоритмы формирования графиков движения для маршрутов городского пассажирского транспорта / Воронеж. политехн. ин-т. - Воронеж, 1984. – 23 с. Деп. в ЦБНТИ, № 240 ат- Д84.
141. Рабочее место проектировщика: 15 ВУМС-037: ТО и ИЭ. – 1983. – № 3: 778.008. – 230 с.
142. Бондаренко А.В., Биренбаум М.И. Общая организация работы СУБД ВОКС / Воронеж. гос. ун-т. – Воронеж, 1984. – 9 с. Деп. в ВИНТИ № 8317-84.
143. Лазер И.М., Шубарев В.А. Устойчивость цифровых микроэлектронных устройств. – М.: Радио и связь, 1983. – 126 с.
144. Синельников В.Е. Алгоритмы анализа состояний в дискретных последовательностных устройствах // Изд. Вузов СССР. Техн. кибернетика. – 1975. – № 11. – С. 1235.
145. Отчет по х/д № 41/83. Обследование пассажиропотоков на городском транспорте: Отчет по х/д № 41/83 / Воронеж. проектно-технолог. бюро. № 299. – Воронеж, 1983. – 551 с.
146. Андреева И. На остановке – в ожидании перемен // Молодой коммунальщик (Воронеж). – 1983. – 16 марта.
147. Максарев Р.Ю., Горнштейн М.Ю. АСУ ТП в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1984. – С. 194.
148. Гребень Л.Г. Режимы работы механизированных ячее складов // Автоматизация в производстве с/х продукции. – Омск, 1985. – С. 92-98.
149. Кущенко В.А. Система оперативного управления транспортно-складским хозяйством // Инф. листок / Воронеж. ЦНТИ. – 1985. - № 85-60. – С. 1-4.
150. Бурковский В.Л., Кущенко В.А., Складов В.М. Имитационное моделирование городского пассажирского транспорта // Математические методы исследования систем автоматики и электромеханики. – Воронеж, 1982. – С. 47-56. – Деп. в ВИНТИ № 6135-82.
151. Расчет оптимальной схемы автобусных маршрутов в г. Острогожске: Отчет. / Саратов. КВЦ. – Саратов, 1980. – 57 с.
152. Системы параллельной обработки / Под ред. Д.Ивенса. – М.: Мир, 1985. – 412 с.
153. Валех Е. Последовательно-параллельные вычисления. – М.: Мир, 1985. – 456 с.
154. Прат Т. Языки программирования: Разработки и реализация. – М.: Мир, 1979. – 574 с.

Приложение I

Методы идентификации параметров транспортных сетей
для процесса долговременного планирования

№ п/п	Наименование метода	Краткая аннотация	Источник информации
1.	Косвенный	Получение данных о входных-выходных потоках в СТО по информации, полученной по косвенным признакам в истоках-стоках, накопителях и транспортных объектах	[14, 77, 82]
2.	Талонный	Получение матриц корреспонденций на основе использования специальных информационных карт с последующей их обработкой (в истоках-стоках, накопителях и транспортных объектах)	[78]
3.	Табличный	Получение информации о параметрах входных и выходных потоков на основе использования специальных таблиц	[78, 79, 80]
4.	Визуальный	Приблизительная оценка экспертов	[81]
5.	Счетный	Экспертная оценка потоков с последующей статистической обработкой	[14]

Приложение II

Ключевые слова языка интерпретации транспортных
сетей [82]

Объекты транспортной сети	Ключевые слова			
	Ввод через таблицы	Ввод параметрический	Ввод библиотечный	Вывод
I, S – объект	VISR	VISA	VISAA	UIS
H – накопитель	VHR	VHA	VHAA	UH
M – вершина	VMR	VMA	VMAA	UM
B – вершина	VBR	VBA	VBAA	UB
U – объект	VUR	VUA	VUAA	UU
$\bar{H}$ – объект	VYHR	VYHA	VYHAA	UYH
$\hat{E}$ – агрегат	VLR	VLA	VLAA	UL
$\hat{c}$ – объект	VcR	VcA	VcAA	Uc
D – объект	VDR	VDA	VDAA	UD
H° – объект	VKR	VKA	VKAA	UK
Служебный библиотечный оператор	VVOD			
Изменение параметров работы	REGIM			

алгоритмов				
Начало диалога	DIAL			
Конец диалога	ER			
Вызов новой таблицы	TAB			
Вызов продолжения таблицы	PG			

Приложение III

Исходные параметры для моделирования изолированного
сетевого транспортного объекта

Таблица 1

№ п/п	Наименование параметра	Идентификатор
1.	Максимальная вместимость транспортного объекта	BV 1
2.	Количество накопителей в СТО	V 1
3.	Количество подвижных объектов в СТО	V 2
4.	Общая протяженность СТО	FU 3
5.	Средняя скорость движения транспортного объекта	FU 7
6.	Интервал моделирования	X 120
7.	Время затрачиваемое на загрузку и выгрузку подвижного объекта в ТО	V 22
8.	Матрица корреспонденций подвижных объектов	FN 7
9.	Матрица расстояний между накопителями	FN 5
10.	Минимальное количество ТО в сетевом транспортном объекте	K 1
11.	Максимальное количество ТО в сетевом транспортном объекте	K 2
12.	Шаг изменения числа транспортных объектов	K 3

Выходные параметры моделирования изолированного
сетевого транспортного объекта

Таблица 2

№ п/п	Наименование параметра	Идентификатор
1.	Номера подвижных объектов	P 1
2.	Номер накопителя движения ПО	P 2
3.	Количество единиц модельного времени движения до накопителя	P 3
4.	Номер накопителя обслуживаемого транспортным объектом	US
5.	Количество входов в обслуживаемый объект	EN
6.	Количество заявок, оставшихся не обслуженными в элементах СТО на конец моделирования	CU

7.	Среднее количество заявок в обслуживаемом объекте	AU
8.	Максимальное количество заявок в процессе функционирования в обслуживаемом объекте	MX
9.	Величина перемещения ТО без полной загрузки	NR 2
10.	Величина простоя ТО	NR 4
11.	Величина работы ТО	NR 5
12.	Максимальная длина очереди в накопителе	MXT
13.	Средняя величина очереди в накопителе	CTT
14.	Количество входов в очередь	CRR
15.	Количество не обслуженных заявок в очереди на конец моделирования	CUC

Приложение IV

Зарезервированные ключевые слова языка
корректировки графиков движения

Выполняемое действие	Ключевое слово
Разметка временной шкалы диаграммы	VTV
Разметка точек отметки транспортных объектов	VHK
Введение линий $\bar{D}$ – объектов	VDL
Введение линий режима Р 6	VDR
Введение в диаграмму ТО	VL
Введение в диаграмму k ТО	VLO
Задание технологической задержки ТО в сетевом транспортном объекте	SL
Перемещение ТО (положительное во времени)	PLP
Перемещение k ТО (положительное во времени)	PLPO
Перемещение ТО (отрицательное во времени)	PLM
Перемещение k ТО (отрицательное во времени)	PLMO
Присвоение признака режима транспортному объекту	PR
Копирование траектории транспортного объекта	CPL
Копирование k – траекторий транспортных объектов	CPLO
Автоматический расчет диаграммы	AVTG
Пошаговый расчет диаграммы	SHAG
Выполнение следующего шага расчета	PH
Вывод рассчитанных параметров в виде таблиц	TBO
Вывод рассчитанных параметров для транспортного объекта в виде таблицы	TAB
Вывод рассчитанных параметров в виде диаграммы	GDO
Вывод рассчитанных параметров в виде траектории транспортного объекта	GDN
Автоматический расчет времени транспортных объектов	BRV
Начало диалога оператора	VG

Конец диалога оператора	VYG
-------------------------	-----

Приложение V

Измеряемые параметры в процессе идентификации СТО

Таблица 1

№ п/п	Наименование параметра	Идентификатор
1.	Наименование вида СТО	MT
2.	Наименование вида транспортного объекта	MT 2
3.	Номер СТО	MN
4.	Число накопителей в СТО (прямое направление)	NOP
5.	Число накопителей в СТО (обратное направление)	NOO
6.	Номер транспортного объекта	MNN 1
7.	Номер смены транспортного объекта	NS
8.	Номер графика транспортного объекта	NV
9.	Время начала движения ТО в прямом направлении (для всех рейсов)	IVR (1.I)
10.	Время конца движения ТО в прямом направлении (для всех рейсов)	IVR (2.I)
11.	Время начала движения ТО в обратном направлении (для всех рейсов)	IVR (3.I)
12.	Время конца движения ТО в обратном направлении (для всех рейсов)	IVR (4.I)
13.	Величина загруженных ПО в транспортные объекты из накопителей	NNOP (J.I)
14.	Величина выгруженных ПО из транспортных объектов в накопители	NNBR (J.I)
15.	Время загрузки, выгрузки подвижных объектов	BZ (I, J, k)
16.	Протяженность СТО	SM
17.	Вместимость транспортного объекта	KL
18.	Матрица расстояний между накопителями	MTP (I)
19.	Указатель кольцевых СТО	NK
20.	Количество СТО в сети	NO
21.	Количество транспортных объектов в СТО	N
22.	Номера СТО	NUM (I)
23.	Время оборота ТО в сетевом транспортном объекте	TOB (I)
24.	Число смен СТО	NP
25.	Общий пробег для транспортных объектов	PROB (I)

Расчетные параметры при идентификации СТО

Таблица 2

№ п/п	Наименование параметра	Идентификатор
1.	Номер СТО	NM (I)
2.	Дата идентификации	M 80

3.	Число выгруженных ПО в J-ом накопителе I-го ТО	NC (I, J)
4.	Число загруженных ПО в J-ом накопителе в I-ый ТО	NB (I, J)
5.	Число выгруженных ПО в I-ом накопителе по всем ТО	NCI (I)
6.	Число загруженных ПО в I-ом накопителе по всем ТО	NBI (I)
7.	Наполнение ТО на I-ом перегоне	NAP (I)
8.	Расстояние между накопителями	DL (I)
9.	Величина пройденного пути ТО	PKM (I)
10.	Общее число выгруженных ПО для всех накопителей	NCS (I)
11.	Общее число загруженных ПО для всех накопителей	NCC (I)
12.	Общее наполнение для всех СТО	PS (J)
13.	Общее число выгруженных ПО по накопителям и по интервалам времени	NOS (L, J)
14.	Общее число загруженных ПО по накопителям и по интервалам времени	NOK (I, J)
15.	Время оборота ТО в сетевом транспортном объекте	W (I, J)
16.	Начало пикового или межпикового интервала	M
17.	Конец пикового или межпикового интервала	MM
18.	Наполнение ТО в накопителях по интервалам	NP (M, I, J)
19.	Суммарное наполнение на J-ом перегоне по всем накопителям	MI (J)
20.	Количество перевезенных ПО	MQ
21.	Общий расчетный пробег транспортных объектов	PROB (I)
22.	Среднее расстояние поездки ПО	SR
23.	Коэффициент сменности ПО	SMN
24.	Средняя эксплуатационная скорость	V
25.	Коэффициент использования вместимости	GAM
26.	Средний интервал движения ПО	U
27.	Средняя частота движения ПО	H
28.	Протяженность СТО	PR (3)
29.	Фактическое количество ПО в сетевых транспортных объектах	NT (J)
30.	Число рейсов ТО	R (J)
31.	Время обратного рейса транспортного объекта	TOB (J)

Пропущено 2 листа.

```

51  FORMAT ('суммарные затраты времени' E15.8)
    НХО=НХ (КХ, М)
    К=1
30  CALL МКОР (КХ1, КХ2, М, ХМАК)
    IF (ХМАХ-НХО) 32, 32, 31
31  DO 101 I = 1, М
    DO 101 J = 1, М

```

```

101 KX21 (I, J) = KX21 (I, J) + KX (I, J)
    DO 1 I = 1, M
    DO 1 J = 1, M
    IF (KX21 (I, J)) 3, 1, 3
3    NA (I) = I
    NA (J) = J
1    CONTINUE
    K1 = 1
    DO 4 I = 1, m
    IF (NA (I)) 15, 4, 15
15   NB (K1, K) = I
    K1 = K1+1
4    CONTINUE
    PRINT 43, K
43   FORMAT ('сто ранга ', 12)
    PRINT 44, (NB (I, K), I = 1, M)
44   FORMAT (3013)
    DO 5 I = 1, M
    DO 5 J = 1, M
    IF (NA (I) * NA (J)). NE.0) KX/ (I, J) + KX (I, J)
5    CONTINUE
    PRINT 42, K
42   FORMAT ('расширенная матрица ранга ', 12)
    PRINT 50, ((KX3 (I, J), J = 1, M), I = 1, M)
50   FORMAT (3X, 3013)
    N1 = NVG (KX3, M) * N/NVG (KX, M)
    N2= TO/TMAX
    N2=N - N2
    IF (N2.LT.N1) N1= N2
    TOC = 0
    K1=K1 - 1
    DO 7 I = 1, K1
    7 TOC = TOC+TAX (NB (I, K), NB (I+1, K))
    PRINT 121, TOC
121  FORMAT (3X, 'время оборота в гиперсвязном сто', F3, 2)
    DO 8 L=1, N1
    TFO = 0.0
    TFC = 0.0
    TIO = TO/(N - L)
    TIC = TOC/L
    TI1 = TIO*TIC/(TIO+TIC)
    AL = TIC/TIO
    PRINT 122, TIO, TIC, TI1, AL
122  FORMAT (3X, 'TIO=', F5.2, 'TIC=', F5.2, 'TI 1=', F5.2, 'AL=', F5.2)
    DO 9 I = 1, M

```

```

DO 9 J = 1, M
KXC (I, J) = KX 3 (I, J) / (1 + AL)
9  KXO (I, J) = KX 3 (I, J) * AL / (1 + AL)
DO 10 I = 1, M
DO 10 J = 1, M
10  TFO = TFO + KXO (I, J) * (TI ½ + TA (I, J) +
    * (KX (I, J) – KX3 (I, J)) * (TIO/2 + TA (I, J))
M1 = M – 1
DO 11 I = 1, M1
I1 = I + 1
DO 11 J = I1, M
IF (J – I – 2) 14, 16, 16
14  TAL = TAX (I, J)
GO TO 11
16  TAL = 0
12 = I
DO 12 J1 = I1, J
IF (NA (J1)) 12, 12, 13
13  TAL = TAL + TAX (12, J1)
I2 = J1
12  CONTINUE
11  TFC = KXC (I, J) * (TAL + TI1/2) + TFC
PRINT 123, TFC, TFO
123 FORMAT (3X, 'TFC = ', E 15.8, 'TFO = ', E 15.8)
TFUL (K, L) = TFC + TFO
PRINT 54
54  FORMAT (' количество ТО ', 5X, ' суммарные затраты времени ')
45  FORMAT (10X, 13, 15X, E15, 8)
PRINT 45, L, TFUL (K, L)
8  CONTINUE
K = K + 1
DO 105 I = 1, M
DO 105 J = 1, M
105 KX1 (I, J) = KX1 (I, J) – KX2 (I, J)
GOTO 30
32  TM = 10E9
DO 22 I = 1, M
DO 22 J = 1, M
IF (TFUL (I, J), GT.TM) GO TO 22
TM = TFUL (I, J)
MA = I
MB = J
22  CONTINUE
PRINT 25, MB
25  FORMAT (' количество ТО в гиперсвязном СТО ' 3X, 13)

```

```

PRINT 26
26 FORMAT (' остановки экспресс рейса ')
PRINT 27, (NB (I, MA), I = 1, M)
27 FORMAT (3X, 3013)
28 FORMAT (' суммарные затраты времени при '
* ' оптимальном режиме ', 3X, E 15.8)
PRINT 28, TM
SF = TKXO – TFUL (MA, MB)
SF = SF * AL2/60
PRINT 36, SF
36 FORMAT (' общий эффект ', 3X, E 15.8 ' единиц затрат ')
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE MKOP (KX1, KX2, M, XMAX)
DIMENSION KX1 (30, 30), KX2 (30, 30)
XMAX = HX (KX1, M)
DO 1 I = 1, M
DO 1 J = 1, M
IF (KX1 (I, J). LT.XMAX) GO TO 1
XMAX = KX1 (I, J)
1 CONTINUE
DO 6 I = 1, M
DO 6 J = 1, M
IF (KX1 (I, J) – XMAX) 5, 4, 4
5 KX2 (I, J) = 0
GO TO 6
4 KX2 (I, J) = KX1 (I, J)
6 CONTINUE
RETURN

```

Выходные параметры программы поиска гиперсвязных
сетевых транспортных объектов

№ п/п	Наименование параметра	Идентификатор
1.	Суммарные затраты времени на перемещение подвижных объектов в СТО	TKXO
2.	Номер ранга СТО	K
3.	Номера накопителей, входящих в СТО данного ранга	NB (I, K)
4.	Матрица корреспонденций данного ранга	KX 3(I, J)
5.	Количество транспортных объектов функционирующих в СТО данного ранга	L
6.	Суммарные затраты времени подвижных объектов при условии, что в СТО данного ранга функционирует N* транспортных объектов	TFUL
7.	Количество транспортных объектов в гиперсвязном СТО (оптимальный вариант)	MB
8.	Набор накопителей гиперсвязного СТО (оптимальный вариант)	NB (I, MA)
9.	Суммарные затраты на перемещение подвижных объектов для оптимального варианта	TM
10.	Экономическая эффективность, связанная с уменьшением затрат на содержание элементов СТО	EF
11.	Экономическая эффективность от снижения затрат времени подвижных объектов на перемещение в СТО	SF

Приложение 7

Исходные параметры для расчета временных режимов
функционирования сетевых транспортных объектов

Таблица 1

№ п/п	Наименование параметра	Идентификатор
1.	Номер сетевого транспортного объекта	NM
2.	Номер дополнительных СТО	ND
3.	Длительность времени стоянки в накопителях	ST (1)
4.	Длительность времени P6	ST (2)
5.	Длительность времени P5	ST (3)
6.	Длительность времени P4	ST (6)
7.	Длительность времени пробега от $\hat{D}$ – объекта к накопителям СТО	ST (7)
8.	Количество контрольных пунктов отметки ТО в прямом направлении	KT (1)
9.	Количество контрольных пунктов отметки ТО в обратном направлении	KT (2)
10.	Временная матрица контрольных точек СТО	RTT (L, J)

11.	Время начала интервала	TSTR (J)
12.	Время конца интервала	TEND (I)
13.	Количество ТО в СТО на этом интервале	L (I)
14.	Время движения ТО в прямом направлении	TD (1)
15.	Время движения ТО в обратном направлении	TD (2)
16.	Сдвиг идеального размещения для интервала	SDV (1)

Приложение VIII

Акты внедрения результатов работы

«Утверждаю»
Проректор института
по научной работе
13 октября 1983 г.

Утверждаю
Директор проектно-
технологического
бюро ЦЧТТУ
Н.К. Резников
11 октября 1983 г.

Технический акт внедрения

«11» октября 1983 г.

Мы, нижеподписавшиеся: представители проектно-технологического бюро ЦЧТТУ г. Воронежа, зам. директора по научной работе Арепьев О.Ю., главный бухгалтер Грибанова Н.И. с одной стороны и представители Воронежского политехнического института начальник НИСа Иванов Л.А., начальник ИВЦ Милованов И.М., инженер Куценко В.А. с другой стороны составили настоящий акт в том, что разработанные ВПИ по хоздоговорной теме № 4183 «Обработка материалов обследования пассажиропотоков в г. Воронеже на городском пассажирском транспорте с применением ЭВМ» алгоритмы и машинные программы внедрены в производство в технологическом отделе грузовых и пассажирских перевозок проектно-технологического бюро ЦЧТТУ г. Воронежа

1. Перечень внедренных работ по теме:

№ п/п	Содержание работы	Достигнутая эффективность	
			Годовой экономический эффект (в т.р.)
1	2	3	4
	Произведены расчеты наполнения пассажирских транспортных средств по часам суток и по перегонам	Уменьшена трудоемкость вычислительных	36.025

маршрутной сети города, произведен расчет оптимально-потребного количества пассажирских транспортных средств на маршрутах, произведены технико-экономические расчеты показателей работы ВТТУ	операций, повышена быстрота расчетов и точность, сокращены эксплуатационные расходы в результате внедрения рациональных видов маршрутов	
--	---	--

Итого руб. тридцать шесть тысяч двадцать пять рублей

(сумма прописью)

1. Расчет годового экономического эффекта произведен в соответствии с Методикой утвержденной постановлением ГКИТ СССР, Госпланом СССР, АН СССР, ГК СССР по делам изобретений и открытка от 14 февраля 1877 г., № 48/16/13/3.

2. Предложения о дальнейшем внедрении: Расширение возможностей системы по планированию параметров функционирования маршрутов городской пассажирско-транспортной сети, включение в контур АСУ городским пассажирским транспортом.

Приложение: Расчет экономической эффективности на 5-ти листах.

Представители предприятия

Арепьев О.Ю.

Грибанова Н.И.

Представители ВПИ

Иванов Л.А.

Милованов И.М.

Кущенко В.А.

Согласовано

проректор по научной работе

В.М. Иевлев

1985 г.

Утверждаю

Начальник ПЭУТС

А.А. Серегин

29.08.1985 г.

А К Т

о внедрении результатов НИР

Мы, представители Промышленно-эксплуатационного узла технологической связи (ПЭУТС) г. Воронежа и кафедры АВС Воронежского политехнического института вед. инженер Маркин И.И., гл. бухгалтер Кретинина Л.Т., доц. Бурковский В.Л., мл.н.с. Кущенко В.А. настоящим актом подтверждаем, что совместно разработанный по договору о творческом содружестве комплекс технических средств оперативного контроля за перемещением подвижных объектов сетевых транспортных систем внедрен на десяти автобусных маршрутах сети городского транспорта г. Воронежа, разработанные программы проектирования применены для принятия решений при создании управляющих устройств.

1. Вид внедренных результатов – комплекс технических средств, комплекс программ на ЭВМ.

2. Область и форма внедрения – устройства внедрены в эксплуатацию на 10 автобусных маршрутах, программы применены для проектирования устройств управления.

3. Технический уровень НИР: получено а.с. № 1083212, подано семь заявок на предполагаемые изобретения, работы выставались на ВДНХ СССР 06.84 г.

4. Публикации по материалам НИР – опубликовано 14 работ.

5. Эффект от внедрения – повышение производительности труда водителей и диспетчеров, снижение эксплуатационных затрат автотранспортных предприятий, снижение времени обслуживания транспортной системой пассажиров, повышение качества управления, снижение трудоемкости принятия проектных решений.

6. Фактический годовой экономический эффект – в целом по работе 126902, 5 руб./год (сто двадцать шесть тысяч девятьсот два руб. 50 коп.).

В том числе доля Воронежского политехнического института составляет 80% - 101522 руб./год (сто одна тысяча пятьсот двадцать два руб.).

Приложение: Расчет экономического эффекта.

Представители ПЭУТС

Ответственный за внедрение

Маркин И.И.

«29» 08. 1985 г.

Главный бухгалтер ПЭУТС

Кретинина Л.Т.

«09» 08. 1985 г.

От организации

Зав. кафедрой АВС

Подвальный С.Л.

1985 г.

Научный руководитель

Бурковский В.Л.

«29» 09. 1985 г.

Ответственный за
внедрение

Кущенко В.А.

«29» 08. 1985 г.

Начальник НИСа

А.Д. Поваляев

Утверждаю

директор ВЦКП «Зеленоград»

Согласовано

проректор по научной работе ВГУ

А.П. Щербаков

1985 г.

1985 г.

А К Т

о внедрении результатов НИР

Мы, представители Вычислительного центра коллективного пользования «Зеленоград» НПО «АСУ-Москва», настоящим актом подтверждаем, что результаты научно-исследовательской работы, выполненной Воронежским госуниверситетом по договору о творческом сотрудничестве между Научно-исследовательским институтом математики при ВГУ и Вычислительным центром коллективного пользования «Зеленоград» начатой 1 января 1984 г., законченной и принятой заказчиком 30 апреля 1985 г., намечены к внедрению в Вычислительном центра коллективного пользования «Зеленоград» Научно-производственного объединения «АСУ-Москва».

1. Вид принятых результатов: пакет прикладных программ, реализующий алгоритм формирования комбинированных маршрутов в дискретных технологических сетях.

2. Область и форма внедрения: пакет программ намечено использовать решения задач автоматизированного управления транспортными системами для выбора близкого к оптимальному варианту организации экспресс-маршрутов и укороченных маршрутов на городском общественном автотранспорте.

3. Технический уровень НИР: Работы выполнены на высоком научно-техническом уровне.
 4. Публикации по материалам НИР – 3 работы.
 5. Эффект от внедрения: повышение производительности труда, улучшение качества обслуживания населения на городском общественном транспорте.
 6. Годовой экономический эффект условный рассчитанный:
 - а) в целом по работе 100 000 сто тысяч рублей
 - б) доленое участие ВГУ 50%
- Приложение: Расчет ожидаемого годового экономического эффекта
- а) Годовой экономический эффект будет уточнен на этапе внедрения.

От ВЦКП «Зеленоград»
Начальник планово-экономической
службы

Л.А. Спасский

«25» 02. 1985 г.

Ответственный за внедрение

В.И. Ненашев

«25» 12. 1985 г.

От организации ВГУ
Зам. начальника НИЧ
И.С. Суровцев
«25» 02. 1985 г.

Директор НИИ математики

В.П. Трофимов

«23» 12. 1985 г.

Руководитель темы

И.С. Гудович

«23» 12. 1985 г.

Ответственный исполнитель

В.А. Кущенко

«22» 12. 1985 г8.

А К Т

о внедрении результатов НИР

г. Воронеж

31 марта 1986 г.

Мы, нижеподписавшиеся представители НПО «Энергия», настоящим актом подтверждаем, что разработанный по договору о творческом содружестве, комплекс программ моделирования сетевых транспортных объектов гибких автоматизированных производств (отв. исполнитель Кущенко В.А., руководитель Подвальный С.Л.) внедрены в отделе АСУ НПО «Энергия».

1. Вид внедренных результатов:

комплекс программных средств моделирования сетевых транспортных объектов ГАП.

2. Область и форма внедрения:

переданы машинные носители программ и техническая документация к ним.

3. Публикация по материалам НИР:

опубликована одна работа.

4. Технический уровень НИР:

работа выполнена на высоком научно-техническом уровне.

5. В результате внедрения ожидается повышение производительности участка станков гибкого автоматизированного производства за счет рационального выбора параметров его функционирования.

6. Ожидаемый экономический эффект составляет 20.7 тыс. руб. в год.

Приложение: Расчет ожидаемого экономического эффекта.

От ВПИ:

Руководитель работ

Подвальный С.Л.

Исполнитель

Кущенко В.А.

От НПО «Энергия»

Начальник ПЭО

Красюков А.П.

Начальник ОАСУП

Тюленев В.А.

Согласовано

проректор по научной работе ВПИ

В.М. Иевлев

1986 г.

Утверждаю

главный инженер

объединения

«Воронежавтотранс»

1986 г.

А К Т

о внедрении результатов НИР

Мы, нижеподписавшиеся представители Воронежского политехнического института и объединения «Воронежавтотранс» настоящим актом подтверждаем, что результаты научно исследовательской работы выполненной НИИ по договору о творческом содружестве за датой 01.01.84 г., законченной и принятой заказчиком к внедрению 02.02.85 г., внедрены в центре управления перевозками объединения «Воронежавтотранс». (приказ № 761 от 20.11.85 г.)

1. Вид внедренных результатов: комплекс программ (модели и алгоритмы), комплекс технических средств.

2. Область и форма внедрения: создана информационно-справочная и информационно-поисковая система оперативного управления транспортно-складским хозяйством для десяти предприятий объединения.

3. Технический уровень НИР: работа выполнена на высоком техническом уровне.

4. Публикации по материалам НИР: опубликовать 3 статьи.

5. Эффект от внедрения: повышение оперативности и качества управления транспортным ресурсом предприятий, снижение времени простоя транспортных средств, ремонта, снижение эксплуатационных затрат транспортной системы.

6. Фактический годовой экономический эффект:

а) в целом по работе: двадцать четыре тысячи девятьсот тридцать рублей в год;

б) доленое участие ВПИ – 100%.

Приложение: расчет фактического годового эффекта.

От объединения «Воронежавтотранс»

Главный бухгалтер

Н.В. Пискова

«24» 02. 1986 г.

От ВПИ:

Начальник НИС

А.Д. Поваляев

«24» 02. 1986 г.

Начальник отдела АСУ
В.И. Шевцов
«24» 02. 1986 г.

Руководитель темы
С.Л. Подвальный
«24» 02. 1986 г.
Ответственный исполнитель
В.А. Кущенко
«20» февраля 1986 г.

Утверждаю
проректор по научной работе
(должность руководителя)

ВПИ
организации-разработчика)

Иевлев В.М.
«29» 12. 1985 г.

Утверждаю
директор Киевского ПКБ АСУ

«27» декабря 1985 г.

ПРОТОКОЛ 722

проверки содержания программных документов

ПМ «Динамическая имитационная модель сетевого транспортного объекта»

(категория программного средства (ПС), его полное наименование и обозначение, наименование

2068081.00007-01

отрасли промышленности)

«26» декабря 1985 г.

СМОФАП

(место проведения)

Состав рабочей группы
от ВПИ
(наименование организации-

Подвальный С.Л.
разработчика)

Бурковский В.Л.
(должность, фамилия, И.О.)

Кущенко В.А.

от Киевского ПКБ АСУ

Старостин П.Т.

(должность, фамилия, И.О.)

Бондаренко О.С.

Акимцева И.Л.

1. Рабочая группа выполнила проверку содержимых программ и сопроводительных документов и их комплектность.

подлинник 1 экз.

дубликат 1 экз.

копия 1 экз.

информационные карты 3 экз.

машинные носители перфокарты (2 колоды)

количество, вид носителя, идентификаторы программ

Справка головной организации —

Акт техархива _____
 на программное средство ПМ 2068081.00007-01
(категория ПС и его полное наименование)
 разработанное ВПИ г. Воронеж
(наименование организации-разработчика)

2. Рабочая группа провела также проверку программных документов на соответствие программ, записанных на машинном носителе.

В результате проверки установлено:

Программная документация оформлена в соответствии с требованиями ГОСТов ЕСПД.

3. Выводы и предложения:

Комиссия рекомендует включить модуль в программную часть СМОФАП АСУ ТП Минприбора СССР.

Подписи:

от ВПИ
(наименование организации-

Подвальный С.Л.
разработчика)

Бурковский В.Л.
(фамилия, инициалы)

Кущенко В.А.

от Киевского ПКБ АСУ

Старостин П.Т.

Бондаренко О.С.
(фамилия, инициалы)

Акимцева И.Л.