

ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ НА ДИСКРЕТНОМ УРОВНЕ

© 2011 П.А. Кулагин*

Ключевые слова: дискретный объект, структура сети, интервал планирования, транспортная работа, вершина сети, дислокация объекта.

Рассматривается решение проблемы управления перемещением по сети большого числа дискретных объектов (транспортных единиц) с учетом технических возможностей коммуникационной сети производственных систем.

В процессе управления существует достаточно широкий класс задач, сводящихся к управлению перемещением на сети большого числа дискретных объектов. В качестве дискретных объектов могут выступать транспортные единицы.

Коммуникационная сеть отражает технические возможности той или иной производственной системы. В процессе транспортной работы формируется оперативная сеть перевозок, поставок и т.п., в пределах которой осуществляется перемещение дискретных объектов в течение интервала времени.

Структура оперативной сети в процессе работы, как правило, претерпевает значительные изменения в результате отказа потребителей от поставок, непредоставления грузов, поломок судов, изменения погодных условий, смены интервала планирования и т.д. Во всех подобных случаях возникает задача формирования такого варианта структуры оперативной сети, который, с одной стороны, учитывал бы новые оперативные условия, а с другой - то реальное положение дискретных объектов на сети (дислокация флота), которое сложилось к моменту смены ее структуры.

При решении задач трехуровневой иерархии моделей используются модели математического программирования, предлагая использование имитационных моделей и эвристических процедур оптимизации.

На потоковом уровне сеть будет представлена в виде ориентированного графа с нанесенными на дугах условными обозначениями дискретных объектов. На этом уровне описания важен только факт расположения дискретного объекта на той или иной дуге графа, независимо от временного или пространственного положения дискретного объекта на дуге.

Описание оперативной сети на потоковом уровне показано на рис. 1, где $\tilde{v}_1 - \tilde{v}_5$ - имена вершин сети, $w_1 - w_{20}$ - имена дискретных объектов. Дискретные объекты, следующие в вершины сети по дугам, которых нет в действующей структуре оперативной сети, наносятся на висячие дуги сети.

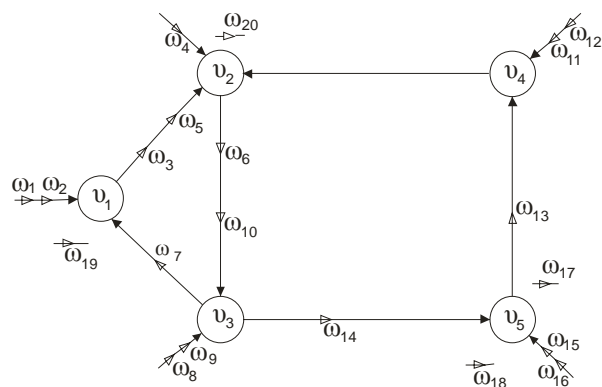


Рис. 1

Одной из самых распространенных ситуаций, требующей учета изменчивости структуры оперативной сети, является ситуация, возникающая на транспорте при переходе через временные границы интервалов планирования. На интервале планирования оперативная сеть является средством, с помощью которого осуществляется планирование работы транспорта.

Оперативная сеть формируется на основе задания на транспортировку грузов на интервале. Вследствие того что задания на транспортировку грузов в смежные интервалы планирования, как правило, сильно различаются (до 20%), структура оперативной сети при смене k -го интервала планирования на $k+1$ -й претерпевает значительные изменения. Изменения структуры выражаются в исчезновении части дуг и даже вершин, ис-

* Кулагин Павел Александрович, аспирант НОУ ВПО "Международный институт рынка", г. Самара. E-mail: pavaleksandrovich@yandex.ru.

пользовавшихся на k -м интервале планирования, и появлении новых вершин и дуг, отражающих новые условия транспортной работы на $k+1$ -м интервале планирования. Все эти изменения структуры оперативной сети не выходят за рамки коммуникационной сети рассматриваемой производственной системы.

В связи с тем, что скорость перемещений дискретных объектов на сети ограничена, а изменения структуры сети осуществляются скачком, часть дискретных объектов с наступлением $k+1$ -го интервала планирования может оказаться вне структуры оперативной сети. Например, если i -я транспортная единица (ТЕ), отправившись в рейс в k -м интервале планирования, заканчивает свой рейс в вершине \tilde{v}_i , не содержащейся в структуре оперативной сети на $k+1$ -м интервале, то после окончания рейса для такой ТЕ возникает проблема выхода в район интенсивной транспортной работы. На рис. 2б это объект w_i .

структуры оперативной сети, чем меньше их относительная скорость перемещений и чем глубже изменения структуры оперативной сети при переходе с k -го на $k+1$ -й интервал планирования.

Один из путей снижения непроизводительных потерь транспортного ресурса в описанной ситуации состоит в построении такого варианта структуры оперативной сети, при котором все дискретные объекты «подхватываются» структурой сети на $k+1$ -м интервале планирования. При этом, однако, возможна ситуация, когда оперативная сеть оказывается несвязной, что, в свою очередь, может привести к еще большим потерям транспортного ресурса.

Распад оперативной сети на компоненты связности происходит либо в результате внешних воздействий на ее структуру, либо вследствие неумелого управления структурой сети. На рис. 3 показан пример разрыва сети на две компоненты связности.

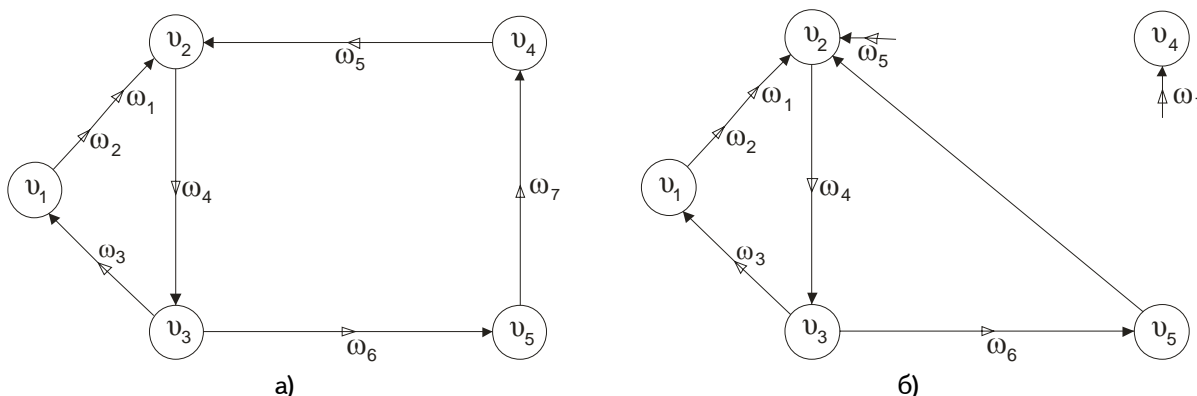


Рис. 2

При отсутствии попутных грузов ТЕ вынуждена совершать непроизводительные перемещения на сети. При этом непроизводительно расходуется транспортный ресурс,

исчисляемый как $\sum_r n_r T$, где n_r - число транспортных единиц r -го типа, перемещающихся в сети; T - продолжительность интервала планирования.

При значительном числе объектов, оказавшихся за пределами структуры оперативной сети, в сети возникает своего рода “переходный процесс”, завершающийся выходом дискретных объектов на те, или иные дуги сети. Продолжительность такого переходного процесса тем больше, чем большее число дискретных объектов оказалось вне

Потеря связности сети от неумелого управления может произойти при переходе с одного интервала планирования на другой, когда транспортная работа для одного какого-либо типа транспортных единиц оказывается размещенной в далеко отстоящих друг от друга точках транспортной сети. Если не принимать специальных мер, то потеря связности сети приводит к тому, что в пределах одной компоненты связности транспортной сети окажется такое количество транспортного ресурса, что им нельзя выполнить тот объем транспортной работы, который оказался сконцентрированным в пределах данной компоненты связности. В других компонентах связности будет при этом излишек транспортного ресурса по сравнению с объемом

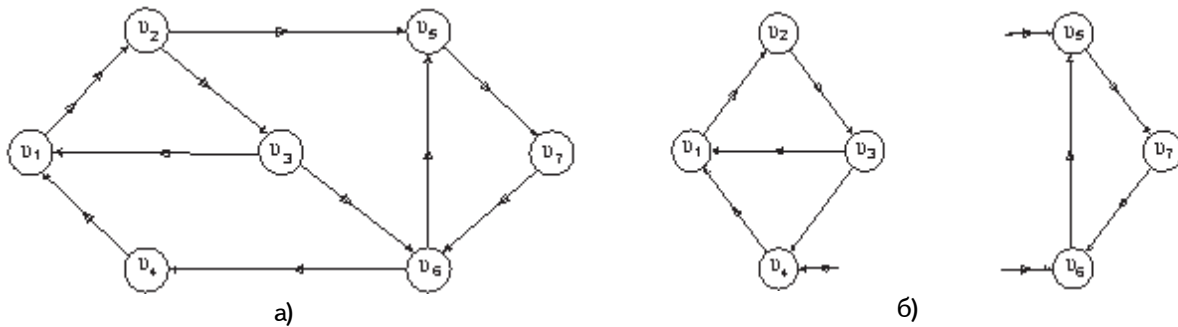


Рис. 3

транспортной работы. В результате такими действиями с самого начала будет закладываться необходимость передислокации части транспортных средств из одних компонент связности транспортной сети в другие в целях выравнивания диспропорций. Нахождение эффективных маршрутов движения транспортных единиц при такой передислокации является многовариантной задачей, решаемой в настоящее время, как правило, эвристически.

В ряде приложений возникает ситуация, когда структура сети имеет устойчивую тенденцию к росту (рис. 4), т.е. с течением вре-

муется в заданных пунктах (портах) сети, которые вступают в число действующих также по мере освобождения реки ото льда. По мере вступления таких пунктов отстоя флота в число действующих происходит скачкообразное увеличение количества готового к использованию транспортного ресурса.

Управление перемещением дискретных объектов в условиях сокращения сети, задача противоположна предыдущей и возникает также на водном транспорте на заключительном этапе навигации, когда в условиях постепенного сокращения доступных для нави-

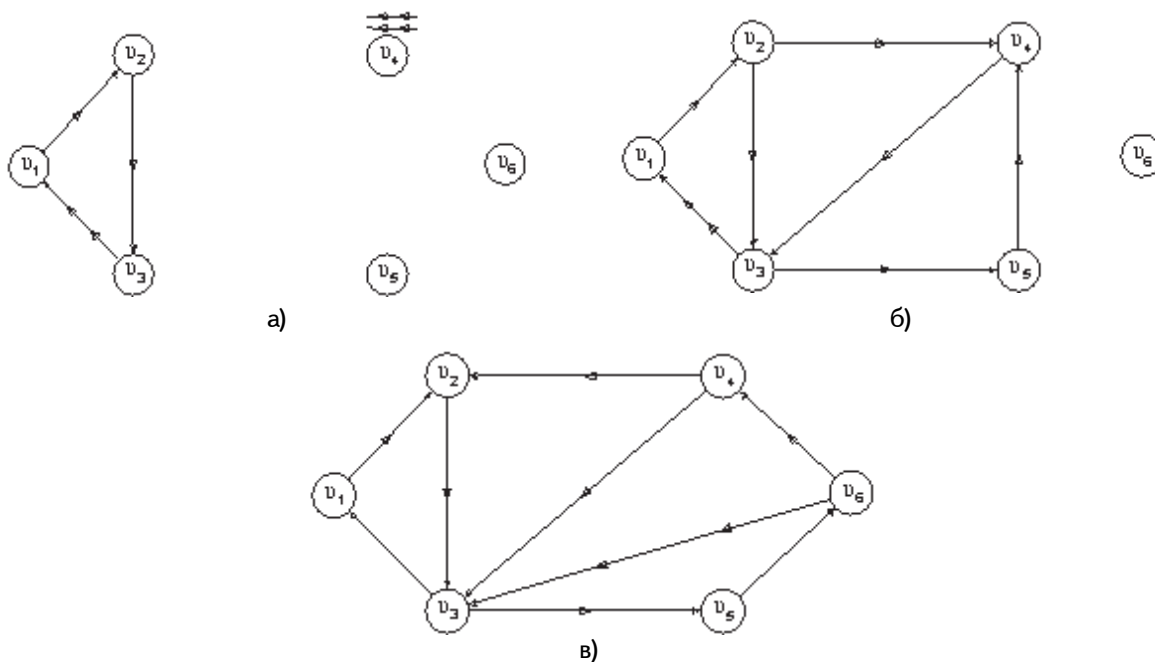


Рис. 4

мени растет число вершин и дуг сети. Изменения структуры сети происходят в момент вступления в число действующих каждого следующего порта. Подобные задачи управления осложняются еще тем, что в силу сезонного характера перевозок транспортный флот на время зимнего ремонта концентри-

руется на участках водного пути необходимо обеспечить вывод транспортного флота к пунктам зимнего отстоя, максимально используя при этом остающиеся возможности для выполнения транспортной работы. Управление перемещением дискретных объектов в условиях частичного поражения сети возника-

ет, например, при закрытии по метеоусловиям отдельных аэропортов и целых групп аэропортов авиатранспортной системы; при выходе из строя узлов транспортной системы в результате военных действий; при всяких непредвиденных аварийных возмущениях, касающихся структуры транспортной сети (шторм, туманы и т. п.). Возникающий при этих условиях дефицит времени является фактором, осложняющим процесс принятия решений в таких экстремальных ситуациях. Под поражением сети (рис. 5) здесь понимается закрытие для посещения подвижными объектами отдельных вершин сети.

моторным транспортом в условиях большого города, задачу управления рыболовецким флотом и обслуживающими его транспортными судами и ряд других. К настоящему времени методы решения таких задач разработаны недостаточно. Положение осложняется еще и тем, что на практике перечисленные варианты изменения структуры сети могут наслаиваться друг на друга, образуя весьма сложную картину. Например, обеспечивая «подхват» текущей дислокации дискретных объектов на сети, можно спровоцировать потерю связности оперативной сети и т.д.

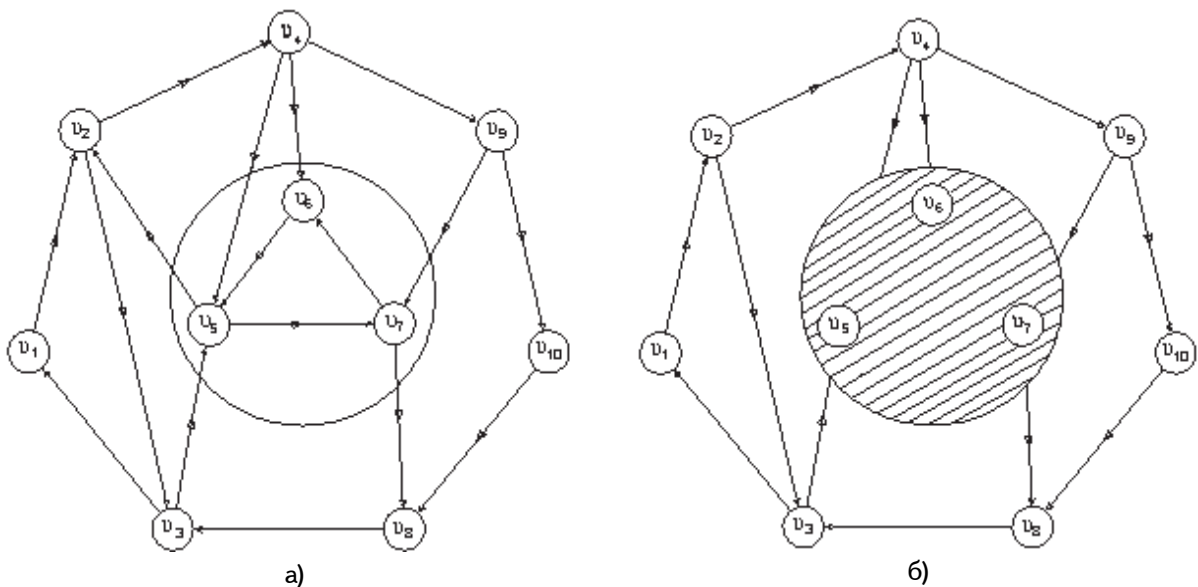


Рис. 5

Управление перемещением дискретных объектов в условиях «дрейфа» сети. Встречаются системы, в которых смена структуры сети является нормальным режимом работы. Представим себе, например, некоторый фронт строительных работ, выполняемых на заданной территории. Допустим, территория застраивается от какой-либо границы, так что фронт работ смещается по территории в некотором направлении. В тылу этого фронта работ имеется сеть баз снабжения материалами и оборудованием, используемыми в строительстве. По мере продвижения фронта работ отпадает необходимость посещения построенных объектов, а также тех баз снабжения, которые переключиваются вслед за смещающимся фронтом работ. Структура сети изменяется в моменты появления и исчезновения вершин. К этому же типу следует отнести задачу оперативного управления таксо-

Для решения подобного рода задач предлагается иерархия моделей, позволяющая управлять процессом перемещения объектов на сети на разных уровнях подробности и разных интервалах управления.

В качестве практической реализации изложенного подхода была проведена разработка комплекса моделей управления работой флота парокходства и проведен натуральный эксперимент по их использованию.

На основе модели были разработаны два варианта оптимизирующей процедуры по расчету технического плана работы флота парокходства. В первом варианте процедуры были автоматизированы этапы выделения корреспонденции $R_r(T)$ для каждого r -го слоя из общей корреспонденции $k(T)$ в соответствии с видом Γ_r и Π_r . На каждом подграфе $G(V_r^c, W_r^c)$, построенном на основе $k_r(T)$, для выявления сети порожних трасс решалась транс-

портная задача на минимум порожних тоннажекилометров (используя также вариант, когда транспортная задача на минимум порожних тоннажекилометров решалась на подгруппе типов флота, у которых имеет место $\Gamma_r = \Gamma_{r+1} = \dots = \Gamma_{r+R}$ и $\Pi_r = \Pi_{r+1} = \dots = \Pi_{r+R}$).

Далее с помощью алгоритма разложения направленного графа на элементарные контуры решалась задача разложения графов $H_r(V_r^H, W_r^H)$, после чего осуществлялся обсчет показателей элементарных контуров, используемых в модели. Для удобства счета формирование симплекс-таблиц модели производилось программным путем.

На заключительном этапе по программе модифицированного симплекс-метода для задач линейного программирования с двухсторонними ограничениями решалась задача линейного программирования. В случае несовместимости этой системы производилась коррекция тех или иных начальных условий (в основном размера груза и количества транспортных единиц).

Время счета для процедуры в целом составило 27 ч (время, в течение которого задача должна быть решена из условий практики, составляет 5 сут). Для сокращения времени счета был разработан второй вариант процедуры расчета технического плана работы флота. При работе по второму варианту, на основании анализа грузопотоков заранее составляется, обсчитывается и представляется на машинном носителе так называемая Библиотека элементарных контуров (БЭК). Каталог элементарных контуров, передаваемый в распоряжение диспетчерского персонала для практического использования. Во втором варианте в связи с малой трудоемкостью оказалось возможным на уровне «ручного труда» освоить такие этапы, как

выделение корреспонденции для подгрупп флота, построение сети порожних трас для каждой подгруппы флота, выбор из Каталога элементарных контуров, отвечающих структуре сети груженых и порожних трасс для данного типа флота при данной месячной корреспонденции.

Трудоемкость данных операций не выходит за пределы одного рабочего дня диспетчера.

После того как сформировано множество элементарных контуров на текущий месяц, в реальном масштабе времени производится расчет оптимального плана. Общее время на выполнение процедуры 10 ч, из них 4 ч чистого машинного времени счета. Приведенные параметры процедуры позволили провести ряд натуральных экспериментов. Сопоставление «машинных» вариантов плана с «ручным» показало их технологичность, соответствие существующей практике планирования работы флота и позволило оценить экономический эффект разработанной методики расчета технического плана работы флота пароводства.

1. *Власов М.П., Шимко П.Д.* Моделирование экономических процессов. М., 2005.

2. *Горелова Г.В., Захарова Е.Н., Гинис Л.А.* Когнитивный анализ и моделирование устойчивого развития социально-экономических систем. Ростов н/Д, 2005.

3. *Краснощников А.Д.* Информационное обеспечение транспортных систем // Вестн. Самар. гос. аэрокосм. ун-та. Самара, 2004.

4. *Краснощников А.Д.* Моделирование в системе планирования и управления предприятием // Тр. 3-й межвуз. конф. / СГУ. Самара, 2006.

5. *Краснощников А.Д., Кулагин П.А.* Имитационное моделирование сети // Материалы Международ. конф. Одесса, 2007.

Поступила в редакцию 27.05.2011 г.