

УДК 681.3

**Е. И. Сукач**

УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины»  
ул. Советская 104, 246019 Гомель, Республика Беларусь

## **Метод перераспределения автомобильных транспортных потоков региона на основе имитационного моделирования**

*Предложен стенд имитационного моделирования транспортных систем, позволяющий контролировать и прогнозировать состояние дорожной сети и автоматизирующий процесс управления транзитными транспортными потоками региона в условиях случайных воздействий.*

**Ключевые слова:** имитационные модели, транзитные транспортные потоки, транспортная сеть.

### **Введение**

При движении по сети дорог региона транспортные средства образуют направленные транспортные потоки (ТП), существенную часть которых составляют транзитные потоки, движущиеся в различных направлениях. Для нахождения рациональных вариантов их распределения необходимо: оценить максимальный поток в сети, выявить «узкие места» в сети и выдать рекомендации по их своевременной ликвидации. Однако, эксплуатация дорог в условиях обеспечения максимального потока в сети, может приводить к быстрому износу дорог и требовать дополнительных средств на их ремонт и восстановление. Отсюда вытекает задача нахождения такой стратегии управления транзитными ТП региона, при которой, с одной стороны, рациональна загруженность дорог, а с другой стороны, структурная организация дорог адаптирована к обслуживанию предполагаемого ТП.

Для решения этой задачи предполагается использовать системный подход к управлению транспортной системой (ТС), включающий в себя: управление оперативной организацией ТС в реальном масштабе времени; управление развитием ТС для обеспечения освоения заданной нагрузки на ТС с поиском наилучших показателей надежности и безопасности работы и, в конечном итоге, выборе наилучших экономических показателей и прибыли. Оперативное управление ТП и управление развитием ТС тесно взаимосвязаны. В случаях отставания развития ТС от роста нагрузки на нее и передовых технологий организации дорожного движения оперативное управление усложняется. Поэтому ТС начинает работать со сбоями, задержками пропуска транспорта через ТС. С другой стороны, поиск наилучших решений развития ТС невозможен без анализа множества реальных

© Е. И. Сукач

оперативных ситуаций, определяющих многовариантность этого развития.

Управление дорожным движением на компьютерной основе нуждается в эффективных математических моделях ТП, способных адекватно прогнозировать состояние дорожной сети. Аналитические модели позволяют определить варианты распределения транзитного потока при условии постоянной величины и структуры ТП на входах сети, сохраняемости эксплуатационных характеристик сети, неизменности структуры сети в процессе ее функционирования [1]. Рассмотрение функционирования ТС в динамике и учет случайных факторов, определяющих изменение всей сети, требуют использования имитационных моделей.

Имитационное моделирование ТС может использоваться, как при проектном моделировании ТП сети автомобильного транспорта, так и при эксплуатации ТС, как инструмент контроля и управления самим процессом функционирования ТС. Для организации своевременного анализа текущей транспортной ситуации и принятия решения о перераспределении ТП предлагается использовать стенд имитационного моделирования ТС региона, включающий следующие компоненты: имитационную модель (ИМ) ТС, предназначенную для нахождения рациональных вариантов распределения потока автомобилей при реализации максимального потока [2]; логико-вероятностную модель (ЛВМ) ТС, обеспечивающую вероятностную оценку эксплуатационных характеристик вариантов структурной организации транспортной сети и выбор режима ее обслуживания [3]; систему анализа транспортной ситуации и принятия решения; информационную базу данных (БД) исследуемой ТС [4]; систему контроля ходом имитации и отображения результатов моделирования.

## Особенности формализации транспортной системы региона

ТС описывается графом  $G(N, U)$ , узлами которого являются населенные пункты ( $N$ ), в которых транзитный поток может изменить направление. Ребра графа ( $U$ ), представляющие участки дорог, имеют следующие характеристики: пропускную способность ( $c_{ij}$ ) (количество транспортных средств, которое дорога способна пропустить в некоторую определенную единицу времени), длину ( $l_{ij}$ ), заданную в условных единицах, стоимость перемещения по ребру одного транспортного средства ( $q_{ij}$ ). Характеристики каждой из дорог задаются соответствующими матрицами:  $C = \|c_{ij}\|$ ,  $L = \|l_{ij}\|$ ,  $Q = \|q_{ij}\|$ , где  $i, j = 1, \dots, N$ .

Объектом управления является ТП, движущийся по сети и имеющий свою структуру. Величина потока определяется количеством транспортных средств, которые движутся по сети в заданном направлении. ТП состоит из множества транзитных потоков, имеющих свои входы и выходы (крайние узлы сети), что определяет структуру потока сети. Кроме этого, в транспортной сети существуют внутренние потоки, которые отнимают некоторую часть ресурсов сети, уменьшая тем самым величину пропускных способностей участков. Каждый ТП определяется совокупностью следующих характеристик: множеством входов в сеть  $\{Z_i\}$ ,  $i = 1, \dots, M$ , где  $M$  — количество входов сети; множеством выходов из сети  $\{Y_j\}$ ,  $j = 1, \dots, W$ , где  $W$  — количество выходов сети; величиной потока  $\varphi$ ; распределе-

нием потока по участкам сети  $X = \|x_{ij}\|$ ; интегральным показателем эффективности потока  $F$ , величина которого определяется по формуле:

$$F = \sum_{i=1}^N \sum_{i=1}^N f_{ij}, \quad f_{ij} = \delta_1 \cdot l_{ij} + \delta_2 \cdot \frac{l_{ij}}{x_{ij}} + \delta_3 \cdot q_{ij} \cdot l_{ij},$$

где  $\delta_i \in [0;1]$  — коэффициенты важности вклада доли соответствующего параметра в общий интегральный показатель. Величина внутренних ТП для  $ij$ -х участков сети задается функциями распределения вероятностей времени движения по участкам  $H_{ij}(\tau)$ .

При реализации имитационных экспериментов (ИЭ) с моделью сети формируются значения: максимального потока  $\|\overline{\varphi_{zy}}\|$ , эффективности максимального потока  $\|\overline{F_{zy}}\|$ , распределения потока по ветвям ТП  $\overline{X_{zy}} = \left\| \sum_{zy} \overline{x_{ijzy}} \right\|$  в направлении  $ZY$ .

Неоднородность исследуемой транспортной сети, которая обусловлена, во-первых, различными техническими характеристиками участков сети, во-вторых, различными условиями эксплуатации отдельных участков (различные климатические и погодные условия), в-третьих, интенсивностью движения транспорта на каждом участке сети, требует выделения схожих участков с целью исследования характеристик их износа и оценки влияния полученных статистик на износ всей сети. Процесс износа, которому подвержены участки дорог влияет на их пропускную способность, приводит к износу транспортных средств и повышает уровень аварийности в сети. На начальных этапах эксплуатации ТС возможно восстановление первоначального состояния участков дороги, которое характеризуется сочетанием определенных значений эксплуатационных параметров (скользкость, изношенность, ровность, прочность). Как правило, восстановление участков дорог реализуется в режиме ограниченного функционирования участков (путем проведения текущих ремонтов). При достижении определенного уровня износа дорога не пригодна для эксплуатации, требует ремонта, и движение по этой дороге прекращается.

Для исследования процесса износа дорог используется аппарат цепей Маркова [3]. При этом вся сеть разбивается на группы участков дорог, однородных по техническим характеристикам и условиям эксплуатации. Для выделенного множества групп участков дорог подбираются параметры цепей Маркова, описывающих процессы износа дорог, и строится группа моделей  $\{MM_d\}$ . Процесс износа является непрерывным физическим процессом, в котором выделяется ряд состояний, характеризующихся множеством сочетаний значений параметров, определяющих износ. Состояния износа дискретны и обозначаются в виде последовательности  $S_1, S_2, \dots, S_b$ . Входными параметрами моделирования являются: вектор вероятностей состояний участка в начальный момент времени  $p_0 = (p_1, p_2, p_3, \dots, p_{b-1}, 0)$  и матрица переходных вероятностей  $P = \|p_{ij}\|$ , где  $i, j = 1, \dots, b$ . В резуль-

тате работы группы моделей  $\{MM_d\}$  для каждой из выделенных групп участков формируется множество векторов вероятностей  $P_d = \{\|P_d^t\|\}$ , характеризующих процесс накопления повреждений во времени отдельных участков.

Для оценки износа всей сети используется ЛВМ, на вход которой подается граф сети и наборы полученных векторов вероятностей, характеризующих процессы износа участков сети. Путем использования различных функций, позволяющих учесть при моделировании сети как неопределенность данных, задаваемых векторами вероятностей состояний участков сети, так и неопределенность операций, задающих взаимосвязи между компонентами сети, формируется результирующее множество векторов вероятностей  $P_{sist} = \{\|P_{sist}^t\|\}$ , позволяющее проследить за изменением характеристик износа рассматриваемой сети во времени, которое по своей природе также является вероятностным.

### Состав и структура стенда имитационного моделирования транспортных систем региона

Стенд имитационного моделирования ТС состоит из следующих компонентов: параметризованной имитационной модели ТС; настраиваемой логико-вероятностной модели ТС; системы анализа транспортной ситуации и принятия решения; базы данных исследуемой транспортной сети; системы контроля хода имитации и отображения результатов моделирования.

Имитационная модель ТС, реализующая имитацию на основе сочетания алгоритма Форд-Фалкерсона, процедуры Монте-Карло и использования принципа суперпозиции независимых ТП в одном и том же графе, представляет собой объединение семи процедур, каждая из которых реализует технологию использования ИМ для решения задачи исследования вероятностных ТП сети.

Процедура занесения исходной информации о моделируемом объекте в БД ТС (*PR.ZAPIT*) организует автоматическое заполнение параметров ТС. При этом определяется структура сети  $G(N, U)$ , вводятся значения матриц  $C = \|c_{ij}\|$ ,  $L = \|l_{ij}\|$ ,  $Q = \|q_{ij}\|$ ,  $X = \|x_{ij}\|$ , определяется множество входов и выходов для исследуемого направления, которое обозначается  $ZY$ . Вводится также матрица  $V = \|v_{ij}\|$ , элементами которой являются функции распределения внутренних потоков  $H_{ij}(\tau)$  участков сети.

Процедура реализации метода Монте-Карло (*PR.MONTEC*) в соответствии с функциями распределения внутренних потоков  $H_{ij}(\tau)$  определяет значения матрицы величины внутренних потоков для  $l$ -й ( $l = 1, \dots, L$ ) реализации ИЭ  $V_l$ .

Процедура корректировки пропускных способностей (*PR.FOPROP*) с учетом значений матрицы  $V_l$  определяет значения матрицы пропускных способностей сети для  $l$ -й реализации ИЭ  $C_l$ .

Процедура реализации алгоритма Форда-Фалкерсона (*PR.FORFAL*) для очередной  $l$ -й реализации процедуры Монте-Карло определяет значения максималь-

ных потоков  $\|\varphi_{zy}^k\|$  и распределения этих потоков по ветвям ТС  $\|X_{zy}^k\|$  ( $k = 1, \dots, K$ ) для различных сочетаний входов и выходов, число которых равно числу транзитных потоков  $K$  исследуемого направления. Полученные отклики запоминаются в БД ТС в качестве элементов выборок статистик имитации с использованием процедуры сбора и обработки статистики (*PR.STAT*).

Процедура управления процессом моделирования (*PR.YPRMOD*) в соответствии с планом ИЭ организует цикл из  $L$  итераций метода Монте-Карло. По завершении  $L$  итераций в БД ТС находятся выборки статистик для различных сочетаний входов и выходов исследуемого направления по значениям максимальных потоков и их распределениям по ветвям сети.

Процедура сбора и обработки статистики (*PR.STAT*) считывает из БД ТС значения сформированных выборок статистик, по которым вычисляет средние значения и выборочные дисперсии откликов моделирования. Результатом ее работы являются оценки средних значений статистик максимального потока  $\|\overline{\varphi_{zy}^k}\|$  и их распределений  $\|\overline{X_{zy}^k}\|$ , в соответствии с которыми определяются показатели выгоды максимальных потоков  $\|\overline{F_{zy}^k}\|$  в исследуемом направлении  $ZY$ . Эти статистики имитации запоминаются в БД ТС.

Процедура определения интегрального максимального потока (*PR.INTEGR*) организует поиск наиболее эффективного варианта организации интегрального максимального потока  $\varphi_{zy}^?$ , обеспечивающего минимальные затраты на перемещение транспорта в заданном направлении. При этом по исследуемому направлению анализируются значения двух матриц  $\|\overline{\varphi_{zy}^k}\|$  и  $\|\overline{F_{zy}^k}\|$ .

Работа ЛВМ ТС, в основу создания которой положена концепция многоуровневого представления объекта исследования и поэтапное использование комплекса процедур, реализует основные этапы моделирования.

Процедура занесения начальных данных моделирования в БД ТС (*PR.INIT*) организует автоматическое задание структуры сети  $G(N, U)$ , а также заполнение эксплуатационных и технических характеристик исследуемой сети, определяющих состояния дорог. Для выбранной структуры сети вводятся значения матриц, определяющих коэффициенты скользкости, изношенности, ровности, прочности в дискретные моменты времени  $t = 1, \dots, T$ , соответственно  $SK^t = \|sk_{ij}^t\|$ ,  $IZ^t = \|iz_{ij}^t\|$ ,  $R^t = \|r_{ij}^t\|$ ,  $PR^t = \|pr_{ij}^t\|$ .

Процедура разбиения участков сети на группы (*PR.RAZB*) на основе сравнительного анализа занесенных в БД ТС параметров участков сети формирует множество групп, схожих по характеристикам и условиям эксплуатации участков  $\{GR_d\}$ , где  $d$  — количество выделенных групп.

Процедура построения комплекса моделей для выделенных групп участков  $\{GR_d\}$  сети (*PR.SOSD*) реализует алгоритм подбора параметров моделей  $\{MM_d\}$ , отображающих процессы износа отдельных участков дорог, которые описываются стационарными поглощающими цепями Маркова. Для этого используются из-

меняющиеся во времени значения коэффициентов эксплуатационных характеристик групп участков и формируются значения матриц переходных вероятностей  $P^d = \|p_{ij}^d\|$ ,  $i, j = 1, \dots, b$  ( $b$  — число состояний участка сети).

Процедура организации моделирования на первом уровне (*IM.MARK*) реализует имитационное моделирование с использованием библиотеки моделей  $\{MM_i\}$ , формирует векторы вероятностей нахождения участков дорог в определенных состояниях и заносит полученные статистики в БД ТС.

Процедура организации моделирования на втором уровне (*IM.LOGIC*) реализует моделирование ТП с учетом заданной структуры сети. При этом автоматически происходит преобразование к эквивалентной форме графа с параллельными и последовательными соединениями. Используя информацию, полученную на первом уровне моделирования, процедура формирует результирующие векторы вероятностей, характеризующие изменение состояния всей сети во времени, и заносит результаты расчетов в БД ТС.

Процедура управления моделированием (*PR.YPR*) задает время моделирования, организует сбор и передачу результатов моделирования в БД ТС, а также извлечение необходимых данных для проведения моделирования на выбранных уровнях моделирования.

Важное место при решении задачи управления распределением интегрального ТП отводится системе анализа транспортной ситуации и принятия решений (*OPTIM*), которая включает следующие компоненты: блок управления ИМ ТС и учета величины установившегося ТП; блок управления логико-вероятностной моделью ТС и учета текущей транспортной ситуации; блок анализа результатов моделирования и принятия решений.

База данных ТС (*BD\_YPR*) первоначально заполняется при установке параметров моделей стенда имитации и содержит формализованную информацию о структуре и параметрах исследуемой ТС, а также данные, полученные от эксперта в области эксплуатации дорог об особенностях и технических характеристиках участков сети: множество параметров, определяющих уровень износа  $\{IZN\}$ ; уровень аварийности за истекший период времени  $\Delta t_1$  ( $AV = \|av_{ij}\|$ ); предполагаемое время эксплуатации до очередного ремонта ( $T^p = \|t_{ij}^p\|$ ). С учетом особенностей исследуемой сети эксперт в автоматическом режиме формирует группы правил, управляющие процессом моделирования и определяющие: влияние перехода участков сети в аварийное (критическое) состояние, на процесс моделирования соседних участков сети; изменение пропускной способности (стоимости перемещения транспортной единицы) участка в зависимости от изменения значений вектора вероятностей состояний участка сети; перераспределение нагрузки на сеть в результате аварийности участков сети.

Система контроля хода имитации и отображения результатов моделирования (*VIZUAL*) включает множество процедур, облегчающих процесс восприятия параметров и результатов моделирования.

Процедура визуализации графа сети и отображения атрибутов ребер и узлов (*PR.VIZ*) отображает граф исследуемой сети и указывает все атрибуты вершин и дуг графа, используя информацию, занесенную пользователем в БД ТС. Изображение графа, сформированное алгоритмом рисования, можно корректировать, пе-

рещающая вершины, добавляя и удаляя ребра. После такой корректировки полученный граф сохраняется в БД. При этом автоматически корректируется соответствующая информация в БД ТС. Масштаб изображения графа можно менять от 1 до 100 %. При этом значения параметров элементов графа изображаются только при максимальном масштабе его представления. Полезной возможностью стенда является открытие отдельного окна, содержащего обзорный вид графа с прямоугольником, ограничивающим видимую в обычном окне часть графа.

Процедура контроля хода имитации (*PR.MONIT*) отображает на графе ТС текущие данные моделирования. С интервалом  $\Delta t_1$  происходит выделение цветом участков дорог, функционирующих в режиме периодических профилактических ремонтов, и дорог, находящихся в аварийном состоянии. На основании этой информации корректируются данные структуры графа и параметров ИМ в БД ТС. С интервалом  $\Delta t_2$  отображается информация о наиболее эффективном варианте распределения ТП. При необходимости могут быть просмотрены данные об альтернативных вариантах распределения ТП.

Процедура отображения результатов моделирования (*PR.REZULT*) строит графики и диаграммы изменения статистик ИМ ТС, а также обеспечивает просмотр динамики изменения функций распределения состояний участков сети и всей сети.

### Автоматизация процесса управления транзитными потоками с помощью стенда имитации транспортных систем

Работа стенда имитации и контроля предполагает формирование управляющих воздействий в режиме реального времени на объекты ТС. Для этого в системе должна функционировать обратная связь, обеспечивающая автоматическую передачу оперативных данных о работе объектов ТС в систему анализа транспортной ситуации и принятия решения *OPTIM*, которая взаимодействует с ИМ ТС, используя алгоритмы анализа вариантов организации интегрального максимального потока в сети для установившейся интенсивности потока транспортных средств и его состава. С другой стороны, она взаимодействует с ЛВМ ТС, и путем обработки вероятностных характеристик износа ТС реализует корректировку параметров сети и ее структуры. Наконец, *OPTIM* непрерывно обращается к базе данных *BD\_YPR* для организации управления ходом моделирования, получения и обновления текущей информации, выработки программы перераспределения ТП.

На первом этапе организуются эксперименты с ИМ ТС, параметры которой настроены с учетом информации, занесенной в БД экспертом на подготовительном этапе настройки системы. В результате определяется возможный максимальный поток сети с учетом заданных эксплуатационных характеристик сети, которые определяют пропускные способности участков ТС, и формируются статистики, определяющие множество вариантов  $\{V_1, \dots, V_K\}$  выбора значения максимального потока  $\|\overline{\varphi}_{zy}^k\|$ , эффективности максимального потока  $\|\overline{F}_{zy}^k\|$  и распределения ТП по участкам сети  $\overline{X}_{zy} = \left\| \sum_{zy} \overline{x}_{ijzy}^k \right\|$  в направлении *ZY*. Варианты упорядочены по

эффективности.

Одновременно реализуется логико-вероятностное моделирование комплексом моделей, параметры которых подобраны с учетом информации БД о характеристиках различных участков сети. Для получения статистик моделирования реализуются ИЭ с моделями участков сети  $\{MM_i\}$  на временном интервале  $\Delta t_1$ . При этом множество всех состояний износа участков дорог разбивается на следующие группы: состояния дорог в аварийном состоянии  $\{S_a\}$ ; состояния дорог, когда возможно проведение профилактических ремонтных работ по их восстановлению  $\{S_v\}$ ; промежуточные состояния  $\{S_p\}$ . По усредненным статистикам работы цепи Маркова согласно методу Монте-Карло для исследуемых групп участков дорог формируются векторы вероятностей нахождения дорог в каждом состоянии на интервале  $\Delta t_1$ . В результате анализа этих векторов для дискретных моментов времени на интервале  $\Delta t_1$  с учетом наиболее вероятных состояний определяются значения признаков аварийности участков дороги  $\alpha_{ij}$ . При  $\alpha_{ij} = 1$  считается, что участок дороги требует длительного ремонта. При  $\alpha_{ij} = 2$  дорога продолжает функционировать в режиме периодических профилактических ремонтов. Если значение признака  $\alpha_{ij} = 0$ , участок продолжает функционировать в обычном режиме. В том случае, если значение признака  $\alpha_{ij} \neq 0$  в соответствии с правилами БД принимаются решения по модификации структурной организации сети и корректировке нагрузки. При аварийном состоянии дороги по функции распределения разыгрывается время, необходимое для проведения ремонтных работ ( $t_p$ ). На этот период соответствующее ребро графа исключается из структурного описания сети. В случае перехода участка в критическое состояние ( $\alpha_{ij} = 2$ ), корректируются параметры модели, описывающей его функционирование (осуществляется переход к модели с восстановлениями). На более высоком уровне моделируется вся ТС и для дискретных моментов времени на интервале  $\Delta t_1$  формируются векторы вероятностей состояний сети. С учетом полученных значений признаков  $\alpha_{ij}$  аварийности участков для каждого момента времени определяется признак аварийности всей сети  $\alpha_s$ , на основе которого делаются выводы о возможности функционирования сети.

Для управления ТП в БД ТС через фиксированные интервалы времени ( $\Delta t_2$ ) поступает информация о величине потока на входах сети. Далее подсистема *ОПТИМ* с учетом величины максимального потока и вариантов его организации реализует алгоритм выбора наиболее эффективного варианта [2] и определяет распределение текущего интегрального потока по сети.

Результаты логико-вероятностного моделирования отражают процессы износа отдельных участков и всей сети через интервалы времени  $\Delta t_1$ . В результате обработки статистики подсистема *ОПТИМ* через указанные интервалы времени с использованием правил БД ТС корректирует значения пропускных способностей участков и модифицирует структуру всей сети. Полученные данные заносятся в БД и далее используются в процессе нахождения максимального потока в сети с помощью ИМ ТС.

Предполагается, что  $\Delta t_1 > \Delta t_2$ , и поэтому логико-вероятностное моделирование реализуется с опережением и определяет моменты модификации характеристик сети, на основании которых вычисляется максимальный поток и принимается решение о распределении текущего ТП.

## **Заключение**

С помощью описанного стенда имитации и контроля специалист в области управления ТП может исследовать ТС и обосновать стратегию перераспределения транспортных потоков, обеспечивающую равномерное распределение нагрузки на сеть, повышающую уровень безопасности движения на дорогах региона и уменьшающую износ дорог и транспортных средств. При этом он имеет возможность остановить процесс имитационного моделирования, изменить параметры ТП, модифицировать структуру исследуемой транспортной сети, перевести определенные участки сети в режим профилактического ремонта, исключить из рассмотрения аварийные участки дорог, изменить эксплуатационные и технические характеристики участков сети, что не представляется возможным при исследовании поведения реального объекта исследования. У него также появляется возможность проектного моделирования актуальных транспортных ситуаций, часто встречающихся в реальных ТС. Типовыми задачами в этом случае могут быть следующие: определение пропускной способности вариантов организации сети при установленном интегральном транспортном потоке (задача 1); поиск «узких» мест в ТС с учетом процесса износа участков сети (задача 2); выбор рационального варианта распределения транспортных потоков с точки зрения выбранного критерия (задача 3); установление оптимальной структуры транспортной сети с учетом вероятностных характеристик износа всей сети и отдельных ее секторов (задача 4).

Высокий уровень автоматизации исследований в технологической среде стенда имитации ТС, а также включение профессиональных знаний специалиста-предметника для поиска решений при контроле транспортной ситуации и анализе состояния дорог, позволят значительно повысить эффективность управления ТП и перевести функционирование ТС на качественно новый уровень.

1. *Зайченко Ю.П.* Исследование операций / Ю.П. Зайченко. — К.: Издат. дом «Слово», 2002. — 320 с.

2. *Максимей И.В.* Использование имитационного моделирования для нахождения интегрального максимального потока в транспортной сети региона / И.В. Максимей, Е.И. Сукач, П.В. Гируц // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2008. — Т. 10, № 1. — С. 49–58.

3. *Сукач Е.И.* Использование логико-вероятностного моделирования для исследования характеристик транспортной сети / Е.И. Сукач // Известия Гомельского гос. ун-та им. Ф. Скорины. — 2007. — № 5 (44). — С. 77–81.

4. *Максимей И.В.* Средства технологической поддержки имитационного эксперимента / И.В. Максимей, Е.И. Сукач. — Гомель: ГГУ им. Ф.Скорины, 2002. — 107 с.

Поступила в редакцию 23.06.2008