

УДК 681.3

И.В. Максимей, Е.И. Сукач, Е.А. Ерофеева, П.В. Гируц

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭТАПОВ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Рассматриваются принципы формализации транспортных систем, функционирующих в условиях случайных воздействий, приведена структура специализированного комплекса автоматизации имитационного моделирования транспортных систем и технология его использования при решении задач исследования функционирования различных транспортных сред.

Введение

Современное общество характеризуется непрерывным увеличением объема транспортного сообщения. При этом рост количества транспортных средств зачастую опережает развитие дорожной сети. В этих условиях задача обеспечения безопасности, надежности и качества функционирования транспортных систем (ТС) чрезвычайно усложняется. Её игнорирование зачастую приводит к образованию перегрузок линий и узлов связи, повышению уровня их аварийности, экономическому ущербу. Для поиска эффективных стратегий управления транспортными потоками в регионе необходимо учитывать широкий спектр характеристик ТС, закономерности влияния внешних и внутренних факторов на динамику её функционирования.

Попытки решения столь сложной и многоаспектной задачи с помощью детерминированных алгоритмов не обеспечивают достаточную степень детализации моделирования, а также не дают возможности учитывать «случайные» факторы, в результате чего общее качество таких моделей оказывается неудовлетворительным [1, 2]. В данной работе предлагается преодолеть вышеизложенные трудности посредством имитационного моделирования, которое позволяет учесть всё многообразие транспортных ситуаций и их стохастическое проявление [3].

Проблеме исследования сложных систем (СС) на имитационных моделях (ИМ) посвящено много работ. Безусловно, одно перечисление работ по имитации транспортных систем заняло бы много места, поскольку проблема исследования

их по названию не новая. В работе предлагается ещё одна возможность имитации процессов в транспортных системах, как дополнение к уже имеющимся. С нашей точки зрения, учёт особенностей функционирования ТС, использование различных направлений анализа ТС (железнодорожная сеть, сеть автомобильного транспорта, сеть городского транспорта) требуют разработки специализированного комплекса имитации ТС, автоматизирующего этапы разработки и эксплуатации имитационных моделей (ИМ) ТС.

В работе излагаются основы формализации ТС, описаны состав комплекса автоматизации имитационного моделирования ТС и технология его использования при решении задач исследования динамических характеристик различных ТС.

ИМ реализуется инженером-программистом на основе формального описания ТС, составленного с учётом знаний и опыта специалиста-предметника. Однако, предлагаемое использование библиотеки «параметризованных» заготовок ИМ, позволяет специалистам в области управления транспортными потоками, обычно не владеющими методиками компьютерного моделирования на необходимом уровне, создавать новые модели путём модификации элементов структуры ИМ, изменения состояния компонентов ИМ и управления параметрами моделирования. Основное в технологии – это эксплуатация разработанного авторами комплекса имитации.

Вероятностный характер функционирования ТС обуславливает необходи-

мость проведения серии имитационных экспериментов (ИЭ) с использованием метода Монте-Карло. Как следствие, полученные результаты имитации также являются вероятностными, что определяет проблему верификации имитационных моделей ТС. Для этой цели используются процедуры технологического обеспечения комплекса, автоматизирующие процесс доказательства адекватности модели.

Эксплуатация ИМ реализуется в соответствии с технологией применения комплекса имитации, которая является универсальной для исследования различных ТС и позволяет проводить исследования специалистам-предметникам на уровне их профессиональной подготовки. Завершается этап эксплуатации выбором решения на основе процедур системы анализа и принятия решения в условиях неопределённости и риска.

Постановка задачи. Цель работы – ознакомить читателей с новой возможностью использования типовых ИМ транспортных потоков в эксплуатационной практике организации рациональных вариантов транспортных потоков региона, которые удовлетворяли бы администрацию и пользователей транспортных систем. Необходимо было бы создать новый способ формализации ТС и на его основе построить ряд имитационных моделей ТС при высоком уровне детализации процессов обслуживания транспортных средств в технологии их обслуживания в пределах региона. В качестве средства построения и использования ИМ ТС предлагается использовать комплекс автоматизации имитационного моделирования транспортных систем. Далее необходимо разработать технологию использования комплекса в эксплуатационной практике специалистами предметниками ТС.

Особенности формализации транспортных систем. В качестве аппарата формализации ТС используется её представление в виде графа $G = \{N, U\}$, состоящего из множества вершин N и множества рёбер U , соединяющих эти вершины. Вершины и рёбра образуют множество статических элементов сети (STEL). Вершины графа представляют отдельные

узлы транспортной сети, которые могут быть пунктами отправления, назначения или промежуточными пунктами, и относятся ко множеству $STEL_1$. Рёбра графа – это участки дорог между двумя пунктами сети. Они образуют множество статических элементов $STEL_2$.

Для ТС характерны связи между элементами сети, реализованные в виде обмена транспортными потоками. Транспортные потоки образуют единицы транспорта, которые составляют множество динамических элементов ТС (DEL) и могут быть двух типов. Для описания простых транспортных единиц используются динамические элементы первого типа DEL_1 , которые в модели представляются информационными транзактами, имитирующими вагоны для железнодорожной сети или автомобили для автомобильной сети. Составные транспортные единицы описываются динамическими элементами второго типа DEL_2 , которые в ИМ представлены в виде сложных составных транзактов, включающих множество информационных транзактов и имеющих свои параметры. В железнодорожной ТС составы, формируемые из вагонов, являются динамическими элементами второго типа DEL_2 .

При описании статических элементов следует учитывать семантику ТС, которая выражается набором атрибутов, приписываемых дугам и вершинам. В качестве весовых характеристик рёбер $STEL_2$ используются различные характеристики, такие как: пропускная способность участка сети; провозная способность участка сети; длина участка сети; стоимость перемещения одной транспортной единицы по участку сети; величина потока на участке сети; величина внутреннего потока на участке сети.

Расширение аналитического аппарата формализации ТС состоит в добавлении к описанию узлов сети $STEL_1$ характеристик ресурсов, необходимых для реализации обслуживания транспортных единиц в узлах, а именно: объема индивидуально используемого ресурса j -го типа в i -м узле; объема коллективно используемого ресурса j -го типа в i -м узле; времени обслуживания динамического элемента в

i -м узле; стоимости обслуживания динамического элемента в i -м узле.

При перемещении транспортных единиц по сети реализуется обслуживание динамических элементов статическими элементами ТС. Алгоритм обработки j -го динамического элемента DEL_j статическими элементами сети задаётся маршрутом $MDEL_j$, который формируется в соответствии с матрицей назначений и записан в «теле» транзакта, имитирующего перемещение DEL_j . Матрица назначений представляет собой вариант распределения потока в ТС. Наиболее эффективный вариант распределения интегрального максимального потока, обеспечивающего минимальные затраты всех транспортных средств сети может быть получен на основе алгоритма, изложенного в [4]. При обслуживании DEL статическими элементами $STEL_1$ реализуется захват ресурсов, используемых коллективно и индивидуально. При обслуживании DEL статическими элементами $STEL_2$ необходимо учитывать, что оно реализуется с использованием коллективно используемого ресурса, объём которого задаётся величиной пропускной способности участка. Это условие влечёт появление конкуренции DEL за ресурсы $STEL_2$.

Решающим условием успешной работы ТС является наличие резервов ресурсов статических элементов, которые должны выражаться в некоторой избыточности – дополнительных средствах (для $STEL_1$ в железнодорожной сети необходимы резервы разгрузочно-погрузочных средств, подвижного состава, путей формирования составов, маневровых локомотивов) или дополнительных возможностях (для $STEL_2$ в любой транспортной среде необходимы резервы пропускной способности). Большое значение для устойчивого функционирования железнодорожных ТС имеет временное резервирование, т. е. время не занятое пропуском поездов. Определение необходимых резервов ресурсов позволит повысить эффективность функционирования ТС, а выявление и использование избыточного времени будет способствовать повышению их надёжности.

Для каждого статического элемента первого типа $STEL_1$ определяются группы параметров, переменных и откликов модели:

- множество задаваемых характеристик рабочей нагрузки (РН) на узел сети $\{RN_YZ\}$, которое составляют функция распределения структуры транспортного потока (FR_STRY) и функция распределения интенсивности поступления в узел сети транспортных единиц DEL_j (FR_POST);

- множество задаваемых характеристик состава и структуры технологических операций узла сети $\{STR_YZ\}$, на основании которых формируются матрица затрат на организацию обслуживания динамических элементов ($\|Q_{YZ}\|$) и матрица длительностей обслуживания динамических элементов DEL_j ($\|T_{YZ}\|$);

- управляемый параметр выбора стратегии (участковой или сквозной) обслуживания DEL_2 (YPR_STRG);

- управляемый параметр выбора режима организации функционирования статических элементов $STEL_1$ (YPR_YZ) с помощью графа структуры технологических операций узла сети, который определяется в соответствии с сетевым графиком (GR_YZ) выполнения работ по формированию-расформированию и техническому обслуживанию динамических элементов, суммарным объёмом ресурсов коллективного ($\|V_o\|$) и индивидуального пользования, имеющимся в распоряжении $STEL_1$ ($\|V_i\|$);

- интегральные отклики имитации $\{OTK_YZ\}$, включающие средние значения коэффициентов загрузки статических элементов $STEL_1$ (η_{YZ}), времени обслуживания динамических элементов DEL_j ($\|t_{YZ_j}\|$), затрат на реализацию обслуживания динамических элементов DEL_j ($\|q_{YZ_j}\|$), эффективности работы статических элементов $STEL_1$ (F_{YZ}).

Статические элементы второго типа $STEL_2$ характеризуются следующим набором параметров, переменных и откликов модели:

- множеством задаваемых характеристик РН на участок сети $\{RN_{RB}\}$, представленных функцией распределения структуры транспортного потока (FR_{STRB}), функцией распределения величины транзитного потока (FR_{TR}), функцией распределения величины внутреннего потока (FR_{VN});

- множеством характеристик по обслуживанию транспортных единиц DEL_j $\{PAR_{RB}\}$, которые определяются длиной участка сети (ℓ), функцией распределения пропускной способности участка (FR_{PR}), функцией распределения провозной способности участка (FR_{PRV}), матрицей стоимостей на перемещение транспортных единиц ($\|Q_{RB}\|$), составляющих поток на участке $STEL_2$;

- управляемым параметром режима функционирования участка сети $STEL_2$, который определяется сочетанием случайных факторов внешней среды (YPR_{RB});

- откликами имитации $\{OTKL_{RB}\}$, отражающими средние значения коэффициентов загрузки статических элементов $STEL_2$ (η_{RB}), времени обслуживания динамических элементов DEL_j ($\|t_{RB_j}\|$), затрат на реализацию обслуживания динамических элементов DEL_j ($\|q_{RB_j}\|$), эффективности работы статических элементов $STEL_2$ (F_{RB}).

Для динамических элементов DEL_j необходимо определение следующих параметров, переменных и статистик моделирования:

- множества характеристик динамического элемента, отражающих его свойства $\{PAR_{TR}\}$, а именно: номер пункта отправления ($n_{отр}$), функция распределения пунктов назначения (FR_{PN}), функция распределения количества простых транспортных единиц, составляющих составную транспортную единицу DEL_2 (FR_{VG}), функция распределения массы транспортной единицы вместе с грузом (FR_M), функция распределения скорости перемещения транспортной единицы (FR_{SK});

- множества характеристик обслуживания в узлах сети $STEL_1$ $\{TR_{YZ}\}$, включающего функции распределения объемов

индивидуально (V_{ITR}) и коллективно используемых ресурсов (V_{OTR});

- управляемого параметра, определяющего маршрут перемещения динамического элемента по сети ($MDEL_j$);

- множества статистик имитации $\{OTKL_{TR}\}$, включающего средние значения времени (t_{TR}) и затрат обслуживания (q_{TR}) динамических элементов статическими элементами $STEL_1$ и $STEL_2$, времени ($int_{t_{TR}}$) и стоимости ($int_{q_{TR}}$) перемещения совокупности DEL , образующих интегральный транспортный поток из пунктов отправления в пункты назначения.

Для описания взаимодействия статических и динамических элементов используется транзактный способ передачи информации о составе и количестве обслуживаемых динамических элементов, а также описание алгоритмов реализации функционирования сети с помощью процессов, последовательностью которых можно управлять сигналами «открыть», «закрыть» и «прервать» выполнение алгоритма процесса.

Новизна и отличие описания ТС. Использование транзактов сложной структуры, обладающих “телом” является основным отличием нашего подхода к информатизации процесса движения транспортных средств. В “теле” транзакта указывается маршрут движения транспортной единицы по ТС, как это имеет место в реальности. Как видим, уровень детализации процессов обслуживания транспортных единиц в ТС очень высокий. Поэтому новизна состоит в том, что одновременно рассматривается движение каждого типа транспортного средства от места его появления до места назначения его движения в ТС с определением максимального транспортного потока и оценкой качества этого потока за счёт введения в состав параметров ветвей графа ТС таких характеристик как стоимость движения по ветви и время движения от i -го к j -у узлу сети.

Состав и структура комплекса автоматизации имитационного моделирования транспортных систем. Для реализации ИМ ТС согласно изложенным особенностям формализации разработан комплекс моделирования ТС, который по-

зволяет автоматизировать большую часть этапов общей методики постановки ИЭ [5], адаптированных для случая исследования различных ТС региона. Структурно комплекс имитации ТС (ITS) включает следующие подсистемы:

- технологическую оболочку комплекса, организующую диалоговое взаимодействие пользователя с подсистемами комплекса (INTF);
- базовую систему моделирования MICIC4 [6];
- библиотеку описаний компонентов различных ТС (LB_KM);
- библиотеку параметризованных ИМ различных ТС (LB_IM);
- подсистему испытания и исследования свойств ИМ ТС (ISPT);
- подсистему оптимизации и принятия решений (OPTIM);
- подсистему динамического отображения результатов моделирования (VIZ).

Взаимодействие структурных подсистем комплекса автоматизации имитационного моделирования ITS осуществляется через общую информационную базу данных.

Технологические этапы разработки и эксплуатации ИМ транспортных систем. Технология использования комплекса имитации ТС в процессе реализации этапов разработки и эксплуатации ИМ ТС предполагает сочетание знаний и опыта различных коллективов специалистов.

В соответствии с общей технологией постановки ИЭ [3] можно выделить следующие стадии использования комплекса имитации функционирования ТС по методу Монте-Карло: описание объекта исследования; каталогизация в библиотеках комплекса вариантов ИМ для различных ТС; верификация, испытание и исследование свойств ИМ; эксплуатация готовых ИМ; принятие проектных решений. Стадии описания объекта, эксплуатации ИМ и принятия решений требуют участия специалистов-предметников. Разработка вариантов ИМ, их верификация и испытание реализуется инженерами-программистами.

На первой стадии, с целью выявления особенностей функционирования ТС и постановки задачи исследования в ходе составления содержательного описания объекта моделирования используются знания инженеров-аналитиков в области управления транспортными потоками. При построении концептуальной модели на основе содержательного описания инженер-аналитик уточняет общий замысел модели, для чего выполняет следующую последовательность действий: осуществляет декомпозицию ТС; определяет структуру сети; выбирает параметры и переменные; уточняет критерии эффективности функционирования ТС; выдвигает основные гипотезы и фиксирует сделанные допущения. В результате, преобразование концептуальной модели в формальное описание ТС предполагает задание графовой структуры исследуемой ТС (G). С целью уменьшения размерности графа используется процедура линейного сжатия графа, которая упрощает структуру модели за счет объединения нескольких последовательных ребер в одно. Затем выделяются статические (STEL) и динамические элементы ТС (DEL), для которых определяются конкретные значения переменных, параметров моделирования, которые заносятся в информационную базу данных. Функции распределения параметров элементов ТС могут быть получены путём проведения натурных экспериментов и использования оценок экспертов. Они задаются либо в табличном виде, либо путём описания параметров стандартных распределений.

Вторая стадия разработки ИМ ТС предполагает участие программиста. Программист может воспользоваться возможностями базовой системы моделирования MICIC4 для алгоритмизации, кодирования и отладки отдельных компонентов ИМ в соответствии с изложенным аппаратом формализации. Под компонентами понимаются группы однотипных по функционированию генераторов внешних событий (создание потока транзактов), обслуживающих устройств (STEL_j) и транзактов (DEL_j). Система моделирования MICIC4 использует библиотеку программ и ши-

рокораспространённый объектно-ориентированный язык программирования C++. При этом от программиста не требуется изучение нового языка моделирования, приобретение опыта верификации и отладки программ ИМ. Он использует привычный полнофункциональный инструмент интегрированной среды разработки приложений на C++. Как следствие, отсутствие необходимости специального обучения удобно для реализации ИМ силами научно-исследовательского подразделения транспортной организации.

Разработанные компоненты ИМ ТС составляют предметно-ориентированную библиотеку компонентов ИМ (LB_KM), на основе которых программист разрабатывает параметризованные «заготовки» ИМ ТС. С этой целью он объединяет компоненты ИМ ТС, добавляет в текст ИМ операторы синхронизации и сбора статистики. Далее путём добавления программ начала и завершения моделирования формируется универсальная «заготовка» ИМ ТС, ориентированная для исследования определённой ТС. Завершается формирование информационного модуля каталогизацией «заготовок» ИМ рассматриваемой ТС в библиотеке заготовок LB_IM комплекса имитации. В результате, используя универсальные процедуры информационной стыковки «заготовок» и описаний компонентов ИМ ТС разработчик реализует компиляцию h-го варианта ИМ исследуемой ТС.

Третья стадия реализации технологии имитационного моделирования ТС включает верификацию алгоритмов функционирования ИМ ТС, испытание и исследование свойств ИМ. Верификация ИМ состоит в доказательстве соответствия алгоритма её функционирования замыслу моделирования. Для этой цели используется ряд процедур: проверка правильности алгоритма функционирования модели объекта исследования, замена стохастических элементов модели детерминированными и проверка на «ожидаемость» результатов моделирования, тестирование на «непрерывность» моделирования. Испытание и исследование свойств ИМ ТС предполагает использование следующих

процедур: оценки точности имитации; отыскания длины переходного периода имитации; оценки устойчивости имитационных процедур; оценки чувствительности ИМ по параметрам и откликам с ранжированием их между собой по средним значениям интегральных откликов; отыскания рабочей области параметров ИМ. Процесс исследования ИМ полностью автоматизирован набором процедур подсистемы ISPT, и результаты его проведения позволяют убедиться в адекватности ИМ реальному объекту имитации.

Четвёртая стадия предполагает проведение серии многопрогонных ИЭ по методу Монте-Карло для h-го варианта ИМ ТС с помощью процедур технологического обеспечения INTF комплекса имитации ТС. Используя различные подсистемы комплекса, инженер-аналитик может оперативным образом корректировать параметры ИМ, просматривать значения откликов ИМ в динамике имитации процессов, организовывать автоматический мониторинг режима имитации, формировать и реализовывать планы имитационного эксперимента. По результатам серии ИЭ в информационной базе данных комплекса имитации формируются выборки статистик имитации. По этим выборкам определяются средние значения откликов и их выборочные дисперсии. Использование подсистемы динамического отображения результатов моделирования VIZ позволяет наблюдать за изменением откликов моделирования во времени и оперативно управлять процессом моделирования. На этапе эксплуатации в ходе проведения ИЭ предполагается решение следующих задач:

- нахождение эксплуатационных и экономических характеристик функционирования ТС для различных вариантов сочетаний входных параметров ТС;
- определение «узких мест» ТС, устранение которых позволит увеличить пропускную способность сети с минимальными затратами;
- распределение нагрузки на ТС, при которой сеть функционирует ритмично и равномерно загружены все её участки.

Пятая стадия реализуется инженером-аналитиком, который анализирует

результаты многопрогонных ИЭ с использованием подсистемы оптимизации и принятия решений ОРТІМ комплекса имитации, в которой реализована технология векторной оптимизации и принятия решений на основе классических критериев [6].

Каждый h -ый вариант организации функционирования транспортной сети оценивается с помощью вектора $\|Y_h\|$, компонентами которого служат характеристики времени перемещения множества DEL_j ($\bar{Y}_{1h} = \bar{T}_{jh}$), среднесуточная стоимость перемещения множества DEL_j ($\bar{Y}_{2h} = \bar{Q}_{jh}$), коэффициент загрузки участков дорог сети $STEL_{2j}$ ($\bar{Y}_{3h} = \bar{\eta}_{2,jh}$) и коэффициент загрузки узлов сети $STEL_{1j}$ ($\bar{Y}_{4h} = \bar{\eta}_{1,jh}$), на величину которого оказывают влияние коэффициенты использования индивидуальных ресурсов $\bar{\eta}ri_{1,jh}$ и общих ресурсов $\bar{\eta}ro_{1,jh}$. Поэтому для выбора наиболее эффективного варианта организации ТС предполагается применение методов векторной оптимизации.

Вышеперечисленные составляющие вектора $\|Y_h\|$, будучи откликами ИМ, разнотипны по сути оптимизации (одни из них требуют максимизации, а значения других откликов необходимо минимизировать). Поэтому для сравнения вариантов организации функционирования ТС все отклики желательно приводить к одному типу оптимизации и проводить покомпонентную нормировку их значений, чтобы они изменялись в интервале [0,1]. Следует учитывать, что для реальных ТС число вариантов их организации ограничено относительно неизменной графовой структурой сети, утверждённым планом формирования транспортных потоков для железнодорожной сети, устойчивым расписанием перемещения транспортных единиц, а сами значения параметров обслуживания динамических элементов статическими элементами сети являются дискретными и вероятностными. Поэтому осуществляется не оптимальный в классическом понимании перебор всевозможных вариантов организации функционирования ТС, а выбор из ограниченного набора вариантов её ра-

циональной организации. Операция приведения вектора откликов $\|Y_h\|$ к обобщённому скалярному отклику \bar{W}_h и выбор среди множества вариантов наилучшего в смысле выбранного критерия принятия решения осуществляется с использованием подсистемы ОРТІМ.

Следует отметить, что технология использования комплекса автоматизации имитационного моделирования ТС является итеративной. При этом исследователю зачастую приходится возвращаться на более ранние этапы для ликвидации ошибок описания динамики взаимодействия элементов ТС. Вероятностный характер ТС существенно усложняет технологию исследования ТС, и поэтому комплекс имитации ТС может существенно ускорить исследования за счёт автоматизации большинства этапов.

Заключение. Автоматизация этапов разработки и эксплуатации ИМ ТС с применением итеративной многоэтапной технологии использования комплекса имитации ТС, функционирующих в условиях случайных воздействий позволит исследователям найти наиболее эффективные варианты организации транспортных потоков в существующих сетях региона, экспериментировать с моделями предполагаемых ТС, а также исследовать поведение систем в новых ситуациях.

1. *Зайченко Ю.П.* Исследование операций / Ю.П. Зайченко. – Киев: Издат.дом. «Слово», 2002. – 320 с.
2. *Беленький А.С.* Исследование операций в транспортных системах / А.С. Беленький. – М.: Мир, 1998. – 265 с.
3. *Максимей И. В.* Имитационное моделирование на ЭВМ / И.В. Максимей. – М.: Радио и связь, 1983. – 230 с.
4. *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 обробка даних. – 2008. – Т. 10, № 1. – С. 49 – 58.
5. *Максимей И.В.* О технологии проектирования программной системы моделирования для предметных областей организации транспортных потоков региона / И.В. Максимей, Е.И. Сукач, П.В. Гируц,

Е.А. Ерофеева // 3-я Междунар. науч. конф. «Сетевые компьютерные технологии» Минск, 17-19 октября 2007, Мн.: БГУ, 2007. – С. 110 – 115.

6. *Задачи* и модели исследования операций. Ч. 3. Технология имитации на ЭВМ и принятие решений: Уч. пособие / И.В. Максимей, В.Д. Левчук, С.П. Жогаль, В.Н. Подобедов, под общ. ред. И.В. Максимея. – Гомель: БелГУТ, 1999. – 109 с.

Получено 12.06.2008

Об авторах:

Максимей Иван Васильевич,
Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедры математические
проблемы управления,

Сукач Елена Ивановна,
к.т.н., доцент, доцент кафедры
математические проблемы управления,

Гируц Павел Викторович,
аспирант кафедры математические
проблемы управления,

Ерофеева Елена Александровна, аспирант
кафедры прикладная математика,

Место работы авторов:

Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины.

Тел.: 8 10 375 232 60 4237 (раб.),
8 10 375 232 60 6037 (дом.),
e-mail: mpu@gsu.by

Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины.

Тел: 8 10 375 232 60 4237 (раб.),
8 10 375 232 57 7707 (дом.),
e-mail: eisukach@gsu.by,
elena.sukach@mail.ru

Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины.

Тел: 8 10 375 232 60 4237(раб.),
8 10 375 232 51 9103(дом.),
e-mail: pgiruts@tut.by

Белорусского государственного университета транспорта.

Тел: 8 10 375 232 95 2184(раб.),
8 10 375 232 78 0509(дом.);
e-mail: alerof@tut.by,
alerof@belsut.gomel.by