

УДК 656.802

И. В. Максимей, В. Д. Левчук, Г. А. Терещенко, В. В. Старченко

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины
ул. Советская, 104, 246000 Гомель, Республика Беларусь

Имитационная модель технологических процессов сети почтовой связи

Предложен подход к формализации запросов пользователей при имитационном моделировании технологических процессов почтовой связи. Рассмотрены особенности реализации, состав, структура и назначение имитационной модели.

Ключевые слова: технологический процесс, микротехнологическая операция, математическая модель, имитационная модель, концептуальная модель, целевая функция, модельное время, локальный отклик, интегральный отклик, генератор, поглотитель, транзакт.

Введение

Почтовая связь объединяет в себе большое количество отделений почтовой связи (ПОС) с различным объемом выполняемых операций. Обычно ПОС реализует множество технологических процессов почтовой связи (ТПП), формально объединенных на одних площадях, но функционально независимых друг от друга. Каждый ТПП реализует несколько десятков почтовых услуг (ПУ), состоящих из множества технологических операций (ТХО). Структура отрасли представляет собой многоуровневую систему: городские и сельские отделения связи, районные узлы почтовой связи, областные предприятия, РО «Белпочта» и Министерство связи. Основная трудность изучения сети почтовой связи заключается в большом количестве структурных подразделений. Так, меньше 500 отделений связи нет ни в одной области Беларуси. Если рассматривать всю почтовую связь республики, то она состоит из более чем 3500 отделений связи, причем каждое из них предоставляет примерно четыре десятка видов ПУ, функционально не связанных друг с другом. Это определяет необходимость исследования динамики предоставления ПУ в сети, общее число узлов которой превышает 140000.

При анализе динамики предоставления отделениями связи услуг управление почтовой связью сталкивается с проблемами повышения их конкурентоспособности за счет улучшения качества обслуживания клиентов и снижения затрат на организацию обслуживания. Для этой цели необходимо: собрать статистику о составе запросов клиентов на ПУ, провести анализ эффективности функционирования

© И. В. Максимей, В. Д. Левчук, Г. А. Терещенко, В. В. Старченко

ПОС, оценить качество предоставления ПУ каждым структурным подразделением. Проводить подобные работы на функционирующих ПОС экономически нецелесообразно.

Большие размеры сети почтовой связи, нестационарный характер запросов на ПУ, необходимость использования большого числа ТХО, каждая из которых может состоять из множества микротехнологических операций (МТХО) — все это в совокупности определяет актуальность исследования на ЭВМ динамики реализации ТПП с помощью математических моделей (ММ). По своей сути все ТПП являются дискретными. В качестве математического аппарата описания ММ более всего подходит теория массового обслуживания (ТМО) и календарного планирования с помощью сетевых графиков (СГР). Из-за нестационарного вероятностного характера потоков запросов на ПУ и невыполнения основных предположений аналитические модели ТМО и СГР в данном случае не обеспечивают необходимой точности моделирования.

Поэтому в данной работе предлагается использовать для исследования динамики реализации ТПП имитационное моделирование (ИМ). Поскольку имитация представляет собой весьма ресурсоемкое средство изучения сложной системы, то возникает ряд вопросов технологического характера, связанных с принципами создания ИМ, испытания их свойств и эксплуатации ИМ при проектном моделировании всех уровней иерархии взаимодействия структурных подразделений почтовой связи.

Формальное описание ТПП в сети почтовой связи

Несмотря на различия по объему и составу оказываемых отделениями связи услуг, можно выделить ряд принципов формализации ТПП, выполнение которых необходимо при построении ИМ ТПП, которые являются расширением и конкретизацией для нашего случая универсальной технологии построения ИМ сложных систем (СС) [1].

Вначале осуществляется обоснование структуры и выбор состава компонент ИМ ТПП, которые представляют интерес при исследовании функционирования ТПП. Затем осуществляется декомпозиция ТПП до последовательностей $\{ТХО_i\}$. При этом каждой ПУ_{*i*} соответствует свой граф ($GRPU_i$), узлами которого являются ТХО_{*ij*}. Далее каждая ТХО_{*ij*} представляется блок-схемой связи (МТХО_{*ij*}). Устанавливаются взаимосвязи между компонентами ТПП по управлению, информационному взаимодействию, выполняемым функциям. Выделяются виды функциональных связей между МТХО_{*ijk*}, определяются траектории движения запросов клиентов внутри ПУ_{*i*}, устанавливаются взаимодействия по управлению и информации запросов клиентов и МТХО_{*ijk*}.

Для каждой ПУ_{*i*} составляется своя концептуальная модель (КМ_{*i*}), которая описывает: параметры управления моделью *k*-го варианта ПУ_{*i*} $\{X_k\}$; состав статистик имитации $\{STIM_k\}$; список возможных состояний процессов $\{SO_{fki}\}$; переменные и статистики верификации ИМ ТПП $\{STVER_k\}$; статистики проверки адекватности ИМ реальной ПУ_{*i*} ($STADKV_k$); множество интегральных откликов качества поведения процессов и обслуживания запросов $\{Y_{kij}\}$; обобщенный отклик *k*-го варианта организации ТПП при решении *s*-й задачи анализа работы ПОС

(W_{ks}). В зависимости от целевой функции осуществляется выбор такого варианта k_o организации ПУ $_i$, который обеспечивает максимум W_{ks} .

Следующей операцией формализации ПУ является задание переменных модели и выделение компонент вектора факторов $\{X_k\}$, определяющих изменчивость организации ПУ и влияющих на множество откликов $\{Y_{kij}\}$ и W_{ks} .

В общем случае ПОС оказывает более 40 видов ПУ $_i$. Однако, с нашей точки зрения, структурообразующими являются 7 типов ПУ $_i$ ($i = \overline{1,7}$). Такими ПУ $_i$ являются: прием подписки (ПУ $_1$); прием платежей (ПУ $_2$); реализация товаров народного потребления (ПУ $_3$); выплата пенсий (ПУ $_4$); реализация знаков почтовой оплаты (ПУ $_5$); прием и оплата переводов (ПУ $_6$); пересылка и доставка корреспонденции (ПУ $_7$). Количество почтовых услуг можно увеличить, однако и перечисленного состава достаточно для отображения методики формализации алгоритмов реализации ПУ $_i$. Рассмотрим основные функции ПУ $_i$, выбранные для отображения в ИМ ПУ $_i$.

ИМ ПУ $_1$ имитирует следующие функции услуги «Прием подписки»: прием и оформление подписки в отделении связи и на дому; сбор и сортировка доставочных карточек; формирование заказов; составление отчетности оператором и начальником отделения; пересылка документов в вышестоящее предприятие связи; регистрация и компьютерная обработка заказов; формирование заказов на каждое издание районного (областного) уровня; пересылка заказов в соответствующее подразделение РО «Белпочта»; формирование единого заказа на каждое издание; пересылка заказа в соответствующие редакции; получение заказа редакциями и его обработка.

ИМ ПУ $_2$ реализует следующий набор функций услуги «Прием платежей»: прием и оформление платежа; сортировка и обработка извещений; составление отчетности; транспортировка отчетности в вышестоящее предприятие связи; контроль и обработка извещений и отчетности; перечисление принятых средств на расчетный счет организации, которой они предназначены.

ИМ ПУ $_3$ реализуется последовательностью МТХО $_{3j}$, которые в совокупности имитируют следующие функции услуги «Реализация товаров народного потребления»: получение продукции; передача продукции оператору; консультации клиента; расчет и выдача продукции; составление отчетности оператором и начальником отделения.

ИМ ПУ $_4$ с помощью последовательности МТХО $_{4j}$ имитирует операции услуги «Выплата пенсий» по двум ветвям: выдача пенсии в отделении связи и почтальоном на дому. По первой ветви реализуются операции: получение ведомостей и денег оператором или почтальоном; выплата пенсий в отделении; составление отчета; передача начальнику ведомостей и остатка денег; составление отчетности оператором и начальником; отправка документов на контроль; контроль выплаченных пенсий по окончании выплата периода. По второй ветви реализуются операции: доставка почтальоном ведомостей и денег на дом; выплата или возврат денег (при отсутствии получателя дома); составление отчета; оформление выплат на дому; сдача начальнику ведомостей и остатка денег.

ИМ ПУ $_5$ с помощью последовательности МТХО $_{5j}$, имитирует следующие функции услуги «Реализация знаков почтовой оплаты»: получение продукции,

выдача продукции оператору; консультация клиента; расчет с клиентом и выдача ему продукции; составление отчетности оператором; составление отчетности начальником; при необходимости — заключение договора; формирование счета-фактуры; по факту оплаты клиента — оформление накладной; выдача продукции.

ИМ ПУ₆ последовательностью МТХО_{6j}, имитирует следующие функции услуги «Прием и оплата переводов»: прием перевода, составление отчетности оператором, составление отчетности начальником; контроль и обработка переводов оператором переводного отдела; оформление извещений на перевод; доставка извещения получателю; оплата перевода в отделении или на дому; передача переводов на кассу и оформление оплаты; составление отчетности оператором; составление отчетности начальником.

ИМ ПУ₇ с помощью последовательности МТХО_{7j}, имитирует следующие функции услуги: «Пересылка и доставка корреспонденции»: объезд и выемка писем из почтовых ящиков; объезд отделений связи и сбор писем, сданных в отделении; доставка корреспонденции в пункт обработки; сортировка по направлениям; штемпелевание; оформление мешков с корреспонденцией; оформление сопроводительных документов; доставка мешков в места назначения; вскрытие мешков с корреспонденцией; сортировка по доставочным участкам; доставка корреспонденции в почтовый ящик клиента. При увеличении этапов пересылки соответственно возрастает количество операций по транспортировке и сортировке.

Расшифруем состав групп параметров, переменных, статистик и откликов модели.

Множество задаваемых характеристик (*FGPH*) поведения клиентов ПОС включает в себя:

- для ПУ₄ матрицу функций распределений размеров выплат пенсий клиентам *l*-го типа ($\|F_{kl}(C_{pe})\|$); матрицу состава пенсионеров *l*-го типа в ПОС ($\|n_{kl}\|$);
- для ПУ₁ матрицу вероятностей подписки клиентами *l*-го типа на периодические издания *f*-го типа ($\|P_{relf}\|$);
- для ПУ₂ матрицу вероятностей оплаты абонентами *l*-го типа платежей *f*-го типа ($\|P_{plf}\|$);
- для ПУ₇ матрицу связей пользователей *l*-го типа с адресатом *m*-го типа при выполнении услуги в ПОС_{*k*} ($\|MADR\|$);
- матрицу вероятностей использования индивидуального ресурса *m*-го типа при обслуживании МТХО_{*ij*} запросов пользователей *l*-го типа ($\|P_{mijl}\|$);
- для ПУ₆ матрицу средних времен реакции клиентов *l*-го типа на вручение извещения от ПОС_{*k*} ($\|\tau_{rki}\|$); матрицу вероятностей типов переводов *f* в запросах пользователей *l*-го типа ($\|P_{tpfl}\|$); матрицу функций распределений сумм переводимых денег *l*-м пользователем ($\|F_{1i}(C_{perl})\|$);
- расписание поступления во времени запросов пользователей *l*-го типа на ПУ *i*-го типа в *k*-м ПОС (*RASP_{tilk}*);
- матрицу функций распределений стоимостей для *l*-го пользователя услуг *i*-го типа в ПОС_{*k*} ($\|F_{2i}(C_{ust})\|$).

Множество задаваемых характеристик состава и структуры технологии ПУ_{*i*} в ПОС_{*k*} (*FGTE*) включает в себя:

- расписание функционирования МТХО_{*i*} (*RASP*);
- матрицу нормативных затрат ПУ_{*i*} на реализацию МТХО_{*ij*} ($\|Z_{ij}\|$) и потерь

времени на организацию пересменок в ТХО_{*i*} ($\|\Delta\tau_{sm\ ik}\|$);

— матрицы средних времен операций транспортировки ($\|\tau_{tr\ ik}\|$), вспомогательных операций ($\|\tau_{vs\ ik}\|$), обслуживания запросов клиентов ($\|\tau_{od\ kil}\|$) при реализации *i*-й услуги в ПОС_{*k*};

— матрицу средних времен доставки уведомления или выдачи переводов на дому клиентам *l*-го типа в ПОС_{*k*} ($\|\tau_{d\ kl}\|$);

— матрицу затрат времен на организацию связи клиентов *l*-го типа с адресатом через ПОС_{*k*} ($\|\tau_{ikl}\|$);

— нормативные характеристики процента дохода ПОС_{*k*} от перечисления денег при доставке на дом (q_{dos}); сумм C_i за вручение уведомления (q_{uv}); от перевода сумм C_i без дополнительных услуг клиентом *l*-го типа в ПУ_{*i*} (q_{oi});

— нормативный процент дохода ПОС_{*k*} от выплат пенсий (q_{pe});

— расписание выплат пенсий *l*-го типа в ПОС_{*k*} ($RASPEN_{kl}$);

— матрицу функций распределения расхода ресурсов ПУ_{*i*} общего пользования при выполнении МТХО_{*ij*} запросов пользователей *l*-го типа ($\|F_{ijl}(V_R)\|$);

— матрицу функций распределения расхода материалов при выполнении МТХО_{*ij*} запросов клиентов *l*-го типа в ПОС_{*k*} ($\|F_{ijl}(\mu t)\|$);

— матрицу функций распределения длительностей обслуживания запросов абонентов на МТХО_{*ij*} в *k*-м ПОС ($\|F_{ijk}(\tau_{obs})\|$).

В качестве управляемых параметров, модифицирующих поведение клиентов на входе ПОС_{*k*}, используется матрица распределений длительностей между поступлениями запросов клиентов *l*-го типа на ПУ_{*i*} в ПОС_{*k*} $X_{pнк} = \|F_{мптi}(\tau)\|$. В итоге с помощью $\{RASP_{iil}\}$ и $X_{pнк}$ регулируется интенсивность поступления запросов клиентов *l*-го типа на ПУ_{*i*} (λ_{il}).

Управление режимами ТПП в ПОС_{*k*} осуществляется с помощью графа структуры ПУ_{*i*} (GR_{ski}), который задается следующими параметрами:

— матрицей связей между $\{\text{МТХО}_{ij}\}$;

— суммарным объемом ресурсов общего пользования, выделенных в распоряжение ПУ *i*-го типа в *k*-м ПОС ($V_{\Sigma ik}$); суммарным суточным размером материалов, расходуемых при реализации ПУ_{*i*} в ПОС_{*k*} при обслуживании запросов пользователей ($\mu_{\Sigma ik}$).

В ходе имитации *s*-го варианта ТППУ фиксируется вектор статистик имитации $\{STIM_s\}$ и множество состояний процессов $\{SO_{fslj}\}$.

Компонентами $STIM_s$, фиксируемыми с шагом модельного времени Δt_0 , являются: среднедневные значения времени обслуживания *l*-го запроса на *i*-ю услугу ($\tau_{жилt}$); среднедневное значение дохода ПОС_{*k*} от реализации запросов всех клиентов на ПУ_{*i*} (Q_{oilt}); общее число запросов клиентов *l*-го типа, обслуженных ПУ_{*i*} за операционный день ($n_{зlt}$).

Состояниями процессов $\{SO_{fkij}\}$ являются множество статистик загрузки МТХО_{*ij*}: $\{lt_{ij}(t), \eta_{ij}(t), po_{ij}(t)\}$, фиксируемые с шагом Δt_0 и состоящие из компонентов:

$lt_{ij}(t) = l_{оч\ ij}(t) \times t_{ож\ ij}(t)$ — потери запросов клиентов в очередях к МТХО_{*ij*} (средняя длина очереди, умноженная на среднее время ожидания в очереди);

$\eta_{ij}(t)$ — среднее значение коэффициента использования МТХО_{*ij*};

$po_{ij}(t)$ — процент потерь времени запросов клиентов к МТХО_{*ij*}.

В качестве статистик верификации k -го варианта ИМ ТПП ($STVER_k$) используется общее число запросов пользователей, обслуженных всеми ПУ $_i$ за операционный день ($\sum_l \sum_i \sum_j n_{ijl}$), и вектор, компонентами которого является общее количество обслуженных запросов пользователей $\{n_{ijl}\}$.

Для проверки адекватности k -го варианта ИМ ТПП реальной работе ПОС $_k$ используется множество статистик ($STADKV_k$):

— вектор среднесуточных значений коэффициентов использования МТХО $_{ij}$ ($\{\eta_{ijt}\}$);

— множество ежедневных размеров выплат пенсий ($\sum P_{pe}$),

— множество ежедневного размера пересылаемых сумм денег ПОС $_k$ ($\sum C_{li}$).

Локальными откликами k -го варианта ИМ ТПП являются:

— пары значений $\{lt_{ijt0}, \eta_{ijt0}\}$, фиксируемые с заданным шагом изменения модельного времени (Δt_0);

— матрица среднеедневных значений длительностей обслуживания пользователей l -го типа в ОПС $_k$ ($\|T_{oklij0}\|$);

— матрица средних значений дохода ПОС $_k$ от реализации ПУ $_i$ в те же моменты модельного времени ($\|Q_{oklij0}\|$).

Интегральными откликами ИМ ТПП являются средние значения статистик загрузки МТХО $_{ij}$ $\{\overline{\eta_{kij}}\}$, средние времена обслуживания запросов клиентов l -го типа $\{\overline{T_{okli}}\}$, средние величины дохода ПОС $_k$ $\{\overline{Q_{okli}}\}$, вычисленные за время постановки k -го варианта ТПП.

Кроме того, в ходе имитационного эксперимента (ИЭ) для k -го варианта ТПП фиксируются графики ежедневного изменения следующих откликов моделирования: доход ПОС $_k$ (Q_{okts}), затраты на реализацию ПУ $_i$ в ПОС $_k$ (Z_{okts}), эффективность работы ПОС $_k$ (E_{okts}).

Целевой функцией ИЭ при выборе вариантов организации ПОС $_k$ является вектор интегральных откликов

$$Y_{ok} = \{ \overline{\eta_{kij}}, \overline{T_{okij}}, \overline{Q_{okl}}, \overline{Z_{ok}}, \overline{E_{ok}} \}.$$

Одна часть компонентов вектора требует максимизации ($\overline{\eta_{kij}}, \overline{Q_{okl}}, \overline{E_{ok}}$), а для другой части компонентов ($\overline{T_{okij}}, \overline{Z_{ok}}$) необходима минимизация. Поэтому эти компоненты необходимо привести к одному типу и масштабу. Например, с помощью вычисления обратных величин все компоненты вектора приводятся к задаче максимизации, а затем путем нормировки значений откликов максимальным значением все компоненты вектора станут относительными величинами, изменяющимися на интервале $[0, 1]$.

Состав и структура типовых имитационных моделей ТПП

При реализации ИМ ТПП необходимо учитывать ряд особенностей предоставления ПУ $_i$. Реализация ИМ ТПП учитывает следующие особенности составляющих его услуг.

Во-первых, все услуги независимы друг от друга и объединяются только по месту их реализации.

Во-вторых, необходимо учесть существующую иерархию связей предприятий:

- сельские и городские отделения связи;
- районные узлы почтовой связи;
- областные предприятия почтовой связи;
- РО «Белпочта».

В-третьих, функционирование почтовой связи осуществляется посредством взаимодействия смежных уровней иерархии.

В-четвертых, в составе ИМ для отображения алгоритмов ТПП необходимо использовать соответствующие имитаторы их поведения.

В-пятых, каждое отделение связи представляет собой одновременно и генератор запросов на более высокий уровень иерархии, и поглотитель запросов клиентов после их обслуживания.

Указанные особенности представления в ИМ алгоритмов функционирования ПУ_{*i*} определили необходимость разработки библиотеки типовых ИМ ТПП в сети почтовой связи Беларуси. В эту библиотеку включены типовые модели структурных подразделений каждого уровня иерархии почтовой связи: сельских и городских отделений связи (ИМ ПОС_{*k*}), районных узлов почтовой связи (ИМ РУПС_{*l*}), пунктов почтового обмена (ИМ ППО), объединяющих РУПС при реализации ПУ_{*7*}; областных предприятий почтовой связи (ИМ ОПС), республиканской сети реализации ПУ_{*7*} (ИМ РПС). С их помощью komponуются ИМ ТПП любого уровня и назначения. Блок-схема ИМ ТПП, описывающая реализацию ПУ_{*i*} ($i = \overline{1,5}$) представлена на рис. 1.

Воздействие внешней среды на ТППУ имитируется с помощью генераторов и поглотителей транзактов. Генераторами транзактов имитируется поведение: клиентов (*GEN* КЛ); поставщиков товаров народного потребления, предоставляющих продукцию республиканскому объединению «Белпочта» (*GEN* ТНП1), областному предприятию (*GEN* ТНП2) и районным узлам почтовой связи (*GEN* ТНП3); органов социальной защиты (*GEN* СОЦ) и издательского центра «Марка», являющегося структурным подразделением РО «Белпочта» и выпускающим знаки почтовой оплаты (*GEN* ЗПО).

Поглотителями в ИМ являются: клиенты (*POGL* КЛ); редакции республиканских (*POGL* ИЗД1), областных (*POGL* ИЗД2) и районных (*POGL* ИЗД3) издательств; коммунальные службы (*POGL* ПЛ1, ..., *POGL* ПЛ \bar{N}).

Рис. 1 отображает комплекс взаимосвязанных подмоделей, имитирующих функции структурных подразделений при реализации ПУ_{*i*} ($i = \overline{1,5}$) на соответствующих этапах ТПП.

Блок-схема ИМ ТПП, в состав которой входят операции транспортировки корреспонденции и почтовых переводов, представлена на рис. 2. Воздействие внешней среды на ТППУ также имитируется с помощью соответствующих генераторов и поглотителей: поток международной входящей и исходящей корреспонденции и переводов моделируется *GEN* ВХ3 и *POGL* ИСХ3 соответственно; движение потоков входящей и исходящей корреспонденции и переводов других

областей имитируется *GEN BX2* и *POGL ICX2*; межрайонные связи имитируются соответственно *GEN BX1* и *POGL ICX1*. *GEN ICX* и *POGL BX* представляют собой соответственно объемы исходящей и входящей корреспонденции, в т.ч. и переводов, уровня отделения связи. Для упрощения поток корреспонденции, собранной из почтовых ящиков, также моделируется *GEN ICX*.

Следует отметить, что данная схема отражает общий принцип движения потоков корреспонденции. При составлении ИМ ТППУ для конкретно взятой области республики необходимо учитывать технологию пересылки и планы направлений почты, схему движения автотранспорта данного региона и т.д.

Все подмодели, генераторы и поглотители транзактов (TR_{ij}) реализованы в среде системы моделирования MICIS [2]. Каждая $MTXO_{ij}$ представляет собой процесс, обслуживающий запросы клиентов l -го типа, представленных в виде соответствующих транзактов ($TR ZP_l$). В среде СМ MICIS $TR ZP_l$ обладают «телом» с программируемой логикой их поведения по ТПП. В «теле» $TR ZP_l$ содержится: идентификатор транзакта (I_{li}), приоритет транзакта (P_{li}), адрес информационной части транзакта (α_{li}), в которой хранится программа, алгоритмы расчетных операций (AL_{ij}) и программа выбора следующей $MTXO_{ij}$; поле накопления статистики обслуживания транзакта ($ST TR_{ij}$).

Технологические возможности транзактно-процессного способа имитации в СМ MICIS позволяют оперативным образом конструировать ИМ указанных уровней иерархии любого состава компонентов и различной структуры ТПП. С помощью средств размножения СМ MICIS задается состав генераторов и поглотителей в ИМ типовой структуры. Используя параметрический способ описания стохастических характеристик этих генераторов транзактов, обеспечивается индивидуальный характер их воздействия на остальные компоненты ИМ ТПП. Информационное взаимодействие между подмоделями и генераторами организуется с помощью единой информационной базы данных (ИБД) СМ MICIS.

Имитационная модель технологических процессов сети почтовой связи Беларуси

С помощью библиотеки типовых ИМ ТПП, используя итеративный характер ИМ, представленных на рис. 1 и рис. 2, была построена ИМ ТПП республиканской сети почтовой связи (РПС). Вначале на основе экспертных данных задается информация для отображения алгоритмов концептуальной модели, являющаяся исходной информацией для задания режимов работы генераторов транзактов, имитирующих поведение внешней среды, и структуру запросов клиентов $ПОС_k$. По результатам имитации формируется информация, используемая как для анализа динамики поведения компонентов ИМ ТПП, так и для задания исходной информации к алгоритмам имитации $ПОС_k$ в ИМ ТПП РПС. По результатам имитации динамики обслуживания запросов на межобластном уровне взаимодействия формируется информация для анализа эффективности функционирования структурных подразделений почтовой связи; уточнения информации генераторам внешней среды в ИМ ТПП. Как следствие итерационного использования ИМ, представленных на рис. 1 и рис. 2, возможно согласование результатов имитации $ПУ_i$ на всех уровнях иерархии ТПП.

Отметим, что на рис. 1 рис. 2 не отмечено использование стандартных компонентов СМ МІСІС: управляющая программа моделирования, система сбора стандартной статистики использования очередей, транзактов к процессам, система управления взаимодействием процессов модели.

На рис. 3 приведена блок-схема ИМ ТПП РПС. Соответствие МТХО_{ij}, генераторов (GE_i) и поглотителей транзактов (PG_i) узлам РПС приведено в таблице.

Соответствие состава ИМ узлов республиканской сети почтовой связи номерам МТХО_{ij} и GE_i

| №№ п/п (I) | Название узла, сети | Направление запро- сов | Номера МТХО _{ij} | Номера очередей | Генератор/ поглоти- тель | Другие типы ПУ _i | |
|---------------|-------------------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------|
| | | | | | | ПУ _{1i} | ПУ _{6i} |
| 13 | Имитатор пересылки | В обе стороны | МТХО ₇₂₅ | Все очереди | нет | нет | нет |
| 1 | ИМ зарубеж. ОПС ₁ | из ОПОС ₁ | МТХО ₇₁ | оч.7.1 | GE_1 | G_{11} | G_{61} |
| | | в ОПОС ₁ | МТХО ₇₂ | оч.7.2 | PG_1 | P_{11} | P_{61} |
| 2 | ИМ Брест ОПС ₂ | из ОПОС ₂ | МТХО ₇₃ | оч.7.3 | GE_2 | G_{112} | G_{612} |
| | | в ОПОС ₂ | МТХО ₇₄ | оч.7.4 | PG_2 | P_{112} | P_{612} |
| 3 | ИМ Гродно ОПС ₃ | из ОПОС ₂ | МТХО ₇₅ | оч.7.5 | GE_3 | G_{111} | G_{611} |
| | | в ОПОС ₂ | МТХО ₇₆ | оч.7.6 | PG_3 | P_{111} | P_{611} |
| 4 | ИМ Осипови- чи РУПС ₄ | из РУПС ₄ | МТХО ₇₇ | оч.7.7 | GE_4 | G_{110} | G_{610} |
| | | в РУПС ₄ | МТХО ₇₈ | оч.7.8 | PG_4 | P_{110} | P_{610} |
| 5 | ИМ Калинко- вичи ППО | из КПУЗ ₅ | МТХО ₇₉ | оч.7.9 | GE_5 | G_{19} | G_{69} |
| | | в КПУЗ ₅ | МТХО ₇₁₀ | оч.7.10 | PG_5 | P_{19} | P_{69} |
| 6 | ИМ Гомель- ский ППО | из ПУЗ ₆ | МТХО ₇₁₁ | оч.7.11 | GE_6 | G_{18} | G_{68} |
| | | в ПУЗ ₆ | МТХО ₇₀ | оч.7.12 | PG_6 | P_{18} | P_{68} |
| 7 | ИМ Гомель- ский ОПС ₇ | из ОПОС ₇ | МТХО ₇₂₃ | оч.7.23 | GE_7 | G_{17} | G_{67} |
| | | в ОПОС ₇ | МТХО ₇₂₄ | оч.7.24 | PG_7 | P_{17} | P_{67} |
| 8 | ИМ Бобруйск РУПС ₈ | из ОПОС ₈ | МТХО ₁₃ | оч.7.13 | GE_8 | G_{16} | G_{66} |
| | | в ОПОС ₈ | МТХО ₁₄ | оч.7.14 | PG_8 | P_{16} | P_{66} |
| 9 | ИМ Могилев ОПС ₉ | из ОПОС ₉ | МТХО ₁₅ | оч.7.15 | GE_9 | G_{15} | G_{65} |
| | | в ОПОС ₉ | МТХО ₁₆ | оч.7.16 | PG_{10} | P_{15} | P_{65} |
| 10 | ИМ Минск ГОС ₁₀ | из ОПОС ₁₀ | МТХО ₁₇ | оч.7.17 | GE_{10} | G_{14} | G_{64} |
| | | в ОПОС ₁₀ | МТХО ₁₈ | оч.7.18 | PG_{10} | P_{14} | P_{64} |
| 11 | ИМ Минск ОПС ₁₁ | из ОПОС ₁₁ | МТХО ₇₁₉ | оч.7.19 | GE_{11} | G_{13} | G_{63} |
| | | в ОПОС ₁₁ | МТХО ₇₂₀ | оч.7.20 | PG_{11} | P_{13} | P_{63} |
| 12 | ИМ Витебск ОПС ₁₂ | из ОПОС ₁₂ | МТХО ₇₂₁ | оч.7.21 | GE_{12} | G_{12} | G_{62} |
| | | в ОПОС ₁₂ | МТХО ₇₂₂ | оч.7.22 | PG_{12} | P_{12} | P_{62} |

Как видно из рис. 3, ИМ республиканской сети ТПП включает в себя: шесть подмоделей областных предприятий почтовой связи (ОПС_l); две подмодели пунктов почтового обмена (Гомельский ППО и Калинковичский ППО); три подмодели районных узлов почтовой связи (Осиповичский РУПС и Бобруйский РУПС); подмодель «производство «Минская почта»» (Минск ГОС) и имитатор пересылок корреспонденции (МТХО₇₂₅). На высоком уровне иерархии ОПС_k последовательность МТХО_{ij} в ПУ₇ вырождается в две МТХО_{7l}: при нечетных номерах l имитируются операции пересылки из ОПС_k в РПС, при четных номерах l имитируются операции приема корреспонденции из сети в ОПС_k. Собственно имитация пересылок корреспонденции обеспечивается МТХО₇₂₅, алгоритм которой поочередно обслуживает все очереди подмоделей ОПС_k согласно заданному расписанию пересылок корреспонденции. Очевидно, что только ПУ₇ организована настолько сложным образом. Остальные шесть ПУ_i ($i = \overline{1,6}$) реализуются соответствующими ТХО_{il} ($l = \overline{1,6}$, $l = \overline{1,12}$), каждая из которых состоит из последовательности МТХО_{ijl}, которые функционируют в автономном режиме. На рис. 3 функционирование (ПУ₁÷ПУ₆) представлено: ТХО_{il} генераторами транзактов (имитаторов запросов клиентов) G_{il} , поглотителями транзактов (P_{il}) $l = \overline{1,6}$.

Для структурных подразделений любого уровня можно решать задачи, связанные с организацией почтовых операций в пределах районной сети ПОС_k (ИМ РУПС); городской сети ПОС_k (ИМ ГОС); областных предприятий связи (ИМ ОПС_k); республиканской сети ТПП (ИМ РПС). С помощью рассмотренных ИМ ТПП возможно решение следующих задач проектного моделирования технологии организации почтовых услуг:

- поиск узких мест в технологических процессах реализации ПУ_{il};
- оценка пропускной способности и эффективности реализации ПУ_{il};
- анализ вариантов реализации ТПП и адаптация ПОС_k под существующий состав запросов клиентов на оказание ПУ_i;
- оценка эффективности вариантов модификации структуры и состава ПОС_k;
- исследование динамики оказания ПУ_i и выбор стратегии компромисса между интересами администрации и клиентуры почтовой связи;
- использование ИМ ТПП в качестве инструмента маркетинговых технологий в почтовой связи.

Технология имитационного эксперимента в среде СМ МІСІС позволяет реализовать два режима применения библиотеки ИМ ТПП: создание и модернизация структуры ИМ ТПП с последующей ее каталогизацией в библиотеке ИМ СМ МІСІС; использование готовых ИМ ТПП специалистами почтовой связи. В режиме разработки ИМ ТПП специалисты по системному моделированию создают в библиотеке СМ МІСІС параметризованные универсальные «модели-заготовки», обеспечивая при этом информацией все процедуры испытания и исследования свойств ИМ ТПП. В режиме эксплуатации ИМ ТПП требуется лишь задание исходной информации и указание состава фиксируемых статистик имитации. Эту работу могут выполнять работники почтовой связи, которые не обладают высоким уровнем квалификации по программированию и теории имитации на ЭВМ. При этом предполагается, что в их распоряжение предоставлены технологии ис-

пользования ИМ ТПП при решении задач проектного моделирования технологии оказания ПУ_i.

Выводы

Разработанная библиотека типовых ИМ ТПП позволяет оперативным образом исследовать варианты организации ПУ для решения актуальных задач эксплуатационной практики ПОС_k различных уровней иерархии их взаимодействия. Библиотека разработанных ИМ является открытой для расширения состава моделей других ТПП ПУ. Очевидно, что типовой состав ПУ и наличие у СМ МІСІС технологических средств и возможностей позволяет руководству адаптировать ИМ ТПП ПУ к конкретным условиям использования этой библиотеки ИМ. Благодаря высокому уровню автоматизации создания, верификации и исследования свойств ИМ ТПП, руководство ПОС всех уровней иерархии может решать перечисленные выше задачи, возникающие в современных условиях перехода на рыночные условия их функционирования. При этом организация натуральных имитационных экспериментов не требует больших усилий и существенных затрат ресурсов на адаптацию ИМ к конкретным условиям и задачам исследования. От пользователя библиотеки ИМ требуется в форме ответов на вопросы «меню» указать: тип ПУ_i, место ИМ в иерархии подчиненности ПОС, количество базовых компонент ИМ ПУ_i, структуры и технологических МТХО_{ij}, согласно рассмотренной ранее концептуальной модели. Наконец, изложенные выше подходы к: формализации ТПП сети почтовой связи, переводу формальной модели в ИМ, заданию исходной информации и верификации моделей универсальны.

1. Максимей И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ. — М.: Радио и связь, 1988. — 232 с.

2. Максимей И.В., Левчук В.Д., Жогаль С.П. Задачи и модели исследования операций, п. 3: технология имитации на ЭВМ и принятие решений: Учебное пособие, Гомель, БелГУТ, 1999. — 150 с.

Поступила в редакцию 12.06.2003

