

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<sub>*i*</sub> соответствует свой граф ( $GRPU_i$ ), узлами которого являются ТХО<sub>*ij*</sub>. Далее каждая ТХО<sub>*ij*</sub> представляется блок-схемой связи (МТХО<sub>*ij*</sub>). Устанавливаются взаимосвязи между компонентами ТПП по управлению, информационному взаимодействию, выполняемым функциям. Выделяются виды функциональных связей между МТХО<sub>*ijk*</sub>, определяются траектории движения запросов клиентов внутри ПУ<sub>*i*</sub>, устанавливаются взаимодействия по управлению и информации запросов клиентов и МТХО<sub>*ijk*</sub>.

Для каждой ПУ<sub>*i*</sub> составляется своя концептуальная модель (КМ<sub>*i*</sub>), которая описывает: параметры управления моделью *k*-го варианта ПУ<sub>*i*</sub>  $\{X_k\}$ ; 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<sub>*i*</sub> ( $STADKV_k$ ); 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 ПУ<sub>6</sub> последовательностью МТХО<sub>6j</sub>, 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 ПУ<sub>7</sub> с помощью последовательности МТХО<sub>7j</sub>, 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 ПУ<sub>4</sub> 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 ПУ<sub>1</sub> матрицу вероятностей подписки клиентами *l*-го типа на периодические издания *f*-го типа ( $\|P_{relf}\|$ );
- для ПУ<sub>2</sub> матрицу вероятностей оплаты абонентами *l*-го типа платежей *f*-го типа ( $\|P_{plf}\|$ );
- для ПУ<sub>7</sub> матрицу связей пользователей *l*-го типа с адресатом *m*-го типа при выполнении услуги в ПОС<sub>*k*</sub> ( $\|MADR\|$ );
- матрицу вероятностей использования индивидуального ресурса *m*-го типа при обслуживании МТХО<sub>*ij*</sub> запросов пользователей *l*-го типа ( $\|P_{mijl}\|$ );
- для ПУ<sub>6</sub> матрицу средних времен реакции клиентов *l*-го типа на вручение извещения от ПОС<sub>*k*</sub> ( $\|\tau_{rki}\|$ ); 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<sub>tilk</sub>*);
- матрицу функций распределений стоимостей для *l*-го пользователя услуг *i*-го типа в ПОС<sub>*k*</sub> ( $\|F_{2i}(C_{ust})\|$ ).

Множество задаваемых характеристик состава и структуры технологии ПУ<sub>*i*</sub> в ПОС<sub>*k*</sub> (*FGTE*) включает в себя:

- расписание функционирования МТХО<sub>*i*</sub> (*RASP*);
- матрицу нормативных затрат ПУ<sub>*i*</sub> на реализацию МТХО<sub>*ij*</sub> ( $\|Z_{ij}\|$ ) и потерь

времени на организацию пересменок в ТХО<sub>*i*</sub> ( $\|\Delta\tau_{sm\ ik}\|$ );

— 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<sub>*k*</sub>;

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

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

— нормативные характеристики процента дохода ПОС<sub>*k*</sub> 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<sub>*i*</sub> ( $q_{oi}$ );

— нормативный процент дохода ПОС<sub>*k*</sub> от выплат пенсий ( $q_{pe}$ );

— расписание выплат пенсий *l*-го типа в ПОС<sub>*k*</sub> ( $RASPEN_{kl}$ );

— матрицу функций распределения расхода ресурсов ПУ<sub>*i*</sub> общего пользования при выполнении МТХО<sub>*ij*</sub> запросов пользователей *l*-го типа ( $\|F_{ijl}(V_R)\|$ );

— матрицу функций распределения расхода материалов при выполнении МТХО<sub>*ij*</sub> запросов клиентов *l*-го типа в ПОС<sub>*k*</sub> ( $\|F_{ijl}(\mu t)\|$ );

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

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

Управление режимами ТПП в ПОС<sub>*k*</sub> осуществляется с помощью графа структуры ПУ<sub>*i*</sub> ( $GR_{ski}$ ), 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<sub>*i*</sub> в ПОС<sub>*k*</sub> 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  $\Delta t_0$ , являются: среднедневные значения времени обслуживания *l*-го запроса на *i*-ю услугу ( $\tau_{жилt}$ ); среднедневное значение дохода ПОС<sub>*k*</sub> от реализации запросов всех клиентов на ПУ<sub>*i*</sub> ( $Q_{oilt}$ ); общее число запросов клиентов *l*-го типа, обслуженных ПУ<sub>*i*</sub> за операционный день ( $n_{зlt}$ ).

Состояниями процессов  $\{SO_{fkij}\}$  являются множество статистик загрузки МТХО<sub>*ij*</sub>:  $\{lt_{ij}(t), \eta_{ij}(t), po_{ij}(t)\}$ , фиксируемые с шагом  $\Delta t_0$  и состоящие из компонентов:

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

$\eta_{ij}(t)$  — среднее значение коэффициента использования МТХО<sub>*ij*</sub>;

$po_{ij}(t)$  — процент потерь времени запросов клиентов к МТХО<sub>*ij*</sub>.

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 ( $\Delta t_0$ );

— 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<sub>*i*</sub> 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<sub>*k*</sub>), районных узлов почтовой связи (ИМ РУПС<sub>*l*</sub>), пунктов почтового обмена (ИМ ППО), объединяющих РУПС при реализации ПУ<sub>*7*</sub>; областных предприятий почтовой связи (ИМ ОПС), республиканской сети реализации ПУ<sub>*7*</sub> (ИМ РПС). С их помощью komponуются ИМ ТПП любого уровня и назначения. Блок-схема ИМ ТПП, описывающая реализацию ПУ<sub>*i*</sub> ( $i = \overline{1,5}$ ) 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<sub>*i*</sub> ( $i = \overline{1,5}$ ) 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 ( $I_{ij}$ ), приоритет транзакта ( $P_{ij}$ ), адрес информационной части транзакта ( $\alpha_{ij}$ ), 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<sub>ij</sub>, генераторов ( $GE_i$ ) и поглотителей транзактов ( $PG_i$ ) узлам РПС приведено в таблице.

Соответствие состава ИМ узлов республиканской сети почтовой связи номерам МТХО<sub>ij</sub> и  $GE_i$

№№ п/п (I)	Название узла, сети	Направление запро- сов	Номера МТХО <sub>ij</sub>	Номера очередей	Генератор/ поглоти- тель	Другие типы ПУ <sub>i</sub>	
						ПУ <sub>1i</sub>	ПУ <sub>6i</sub>
13	Имитатор пересылки	В обе стороны	МТХО <sub>725</sub>	Все очереди	нет	нет	нет
1	ИМ зарубеж. ОПС <sub>1</sub>	из ОПОС <sub>1</sub>	МТХО <sub>71</sub>	оч.7.1	$GE_1$	$G_{11}$	$G_{61}$
		в ОПОС <sub>1</sub>	МТХО <sub>72</sub>	оч.7.2	$PG_1$	$P_{11}$	$P_{61}$
2	ИМ Брест ОПС <sub>2</sub>	из ОПОС <sub>2</sub>	МТХО <sub>73</sub>	оч.7.3	$GE_2$	$G_{112}$	$G_{612}$
		в ОПОС <sub>2</sub>	МТХО <sub>74</sub>	оч.7.4	$PG_2$	$P_{112}$	$P_{612}$
3	ИМ Гродно ОПС <sub>3</sub>	из ОПОС <sub>2</sub>	МТХО <sub>75</sub>	оч.7.5	$GE_3$	$G_{111}$	$G_{611}$
		в ОПОС <sub>2</sub>	МТХО <sub>76</sub>	оч.7.6	$PG_3$	$P_{111}$	$P_{611}$
4	ИМ Осипови- чи РУПС <sub>4</sub>	из РУПС <sub>4</sub>	МТХО <sub>77</sub>	оч.7.7	$GE_4$	$G_{110}$	$G_{610}$
		в РУПС <sub>4</sub>	МТХО <sub>78</sub>	оч.7.8	$PG_4$	$P_{110}$	$P_{610}$
5	ИМ Калинко- вичи ППО	из КПУЗ <sub>5</sub>	МТХО <sub>79</sub>	оч.7.9	$GE_5$	$G_{19}$	$G_{69}$
		в КПУЗ <sub>5</sub>	МТХО <sub>710</sub>	оч.7.10	$PG_5$	$P_{19}$	$P_{69}$
6	ИМ Гомель- ский ППО	из ПУЗ <sub>6</sub>	МТХО <sub>711</sub>	оч.7.11	$GE_6$	$G_{18}$	$G_{68}$
		в ПУЗ <sub>6</sub>	МТХО <sub>70</sub>	оч.7.12	$PG_6$	$P_{18}$	$P_{68}$
7	ИМ Гомель- ский ОПС <sub>7</sub>	из ОПОС <sub>7</sub>	МТХО <sub>723</sub>	оч.7.23	$GE_7$	$G_{17}$	$G_{67}$
		в ОПОС <sub>7</sub>	МТХО <sub>724</sub>	оч.7.24	$PG_7$	$P_{17}$	$P_{67}$
8	ИМ Бобруйск РУПС <sub>8</sub>	из ОПОС <sub>8</sub>	МТХО <sub>13</sub>	оч.7.13	$GE_8$	$G_{16}$	$G_{66}$
		в ОПОС <sub>8</sub>	МТХО <sub>14</sub>	оч.7.14	$PG_8$	$P_{16}$	$P_{66}$
9	ИМ Могилев ОПС <sub>9</sub>	из ОПОС <sub>9</sub>	МТХО <sub>15</sub>	оч.7.15	$GE_9$	$G_{15}$	$G_{65}$
		в ОПОС <sub>9</sub>	МТХО <sub>16</sub>	оч.7.16	$PG_{10}$	$P_{15}$	$P_{65}$
10	ИМ Минск ГОС <sub>10</sub>	из ОПОС <sub>10</sub>	МТХО <sub>17</sub>	оч.7.17	$GE_{10}$	$G_{14}$	$G_{64}$
		в ОПОС <sub>10</sub>	МТХО <sub>18</sub>	оч.7.18	$PG_{10}$	$P_{14}$	$P_{64}$
11	ИМ Минск ОПС <sub>11</sub>	из ОПОС <sub>11</sub>	МТХО <sub>719</sub>	оч.7.19	$GE_{11}$	$G_{13}$	$G_{63}$
		в ОПОС <sub>11</sub>	МТХО <sub>720</sub>	оч.7.20	$PG_{11}$	$P_{13}$	$P_{63}$
12	ИМ Витебск ОПС <sub>12</sub>	из ОПОС <sub>12</sub>	МТХО <sub>721</sub>	оч.7.21	$GE_{12}$	$G_{12}$	$G_{62}$
		в ОПОС <sub>12</sub>	МТХО <sub>722</sub>	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<sub>l</sub>); 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 (МТХО<sub>725</sub>). На высоком уровне иерархии ОПС<sub>k</sub> последовательность МТХО<sub>ij</sub> в ПУ<sub>7</sub> вырождается в две МТХО<sub>7l</sub>: при нечетных номерах  $l$  имитируются операции пересылки из ОПС<sub>k</sub> в РПС, при четных номерах  $l$  имитируются операции приема корреспонденции из сети в ОПС<sub>k</sub>. Собственно имитация пересылок корреспонденции обеспечивается МТХО<sub>725</sub>, алгоритм которой поочередно обслуживает все очереди подмоделей ОПС<sub>k</sub> согласно заданному расписанию пересылок корреспонденции. Очевидно, что только ПУ<sub>7</sub> организована настолько сложным образом. Остальные шесть ПУ<sub>i</sub> ( $i = \overline{1,6}$ ) реализуются соответствующими ТХО<sub>il</sub> ( $l = \overline{1,6}$ ,  $l = \overline{1,12}$ ), каждая из которых состоит из последовательности МТХО<sub>ijl</sub>, которые функционируют в автономном режиме. На рис. 3 функционирование (ПУ<sub>1</sub>÷ПУ<sub>6</sub>) представлено: ТХО<sub>il</sub> 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<sub>k</sub> (ИМ РУПС); городской сети ПОС<sub>k</sub> (ИМ ГОС); областных предприятий связи (ИМ ОПС<sub>k</sub>); 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<sub>il</sub>;
- оценка пропускной способности и эффективности реализации ПУ<sub>il</sub>;
- анализ вариантов реализации ТПП и адаптация ПОС<sub>k</sub> под существующий состав запросов клиентов на оказание ПУ<sub>i</sub>;
- оценка эффективности вариантов модификации структуры и состава ПОС<sub>k</sub>;
- исследование динамики оказания ПУ<sub>i</sub> 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<sub>i</sub>.

## **Выводы**

Разработанная библиотека типовых ИМ ТПП позволяет оперативным образом исследовать варианты организации ПУ для решения актуальных задач эксплуатационной практики ПОС<sub>k</sub> 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<sub>i</sub>, место ИМ в иерархии подчиненности ПОС, количество базовых компонент ИМ ПУ<sub>i</sub>, структуры и технологических МТХО<sub>ij</sub>, 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

