

**АПРОБАЦІЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНОЛОГІЧЕСКОГО
ІНСТРУМЕНТАРІЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ
ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕССОВ
ПРЕДОСТАВЛЕННЯ УСЛУГ**

В.Д. ЛЕВЧУК

Приведены результаты апробации программно–технологического инструментария процессов предоставления услуг, полученные во время его внедрения в работу двух отделений связи г. Гомеля. Описана методика анализа качества предоставления услуг, которая легко распространяется на другие проблемные области. На конкретном примере рассмотрена технология системного анализа динамики изменения «узких мест» в ходе имитационного эксперимента, позволяющая исследовать сложные процессы в условиях, значительно отличающихся от существующей практики организации работы отделений связи.

ВВЕДЕНИЕ

На кафедре математических проблем управления Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины разработан программно–технологический инструментарий (ПТИ) автоматизации имитационного моделирования процессов предоставления услуг (ППУ) [1, 2]. Проблемной областью ППУ является предприятие, предоставляющее множество услуг (сервисов) своим клиентам. Согласно принципу Парето [3] в сложных системах наблюдается тенденция, при которой 20% составных элементов определяют 80 % свойств самой системы. Следовательно, подмножество тех услуг, которые вносят главный вклад в результаты функционирования предприятия, должны быть изучены в первую очередь. Это подмножество далее будем называть структурообразующими сервисами. Оно должно быть выделено из общего числа сервисов с помощью статистических или эмпирических методов [4] в соответствии с постановкой задачи моделирования.

При анализе средств автоматизации моделирования, применяемых в сфере услуг, было обнаружено, что стандартная схема разработки имитационных моделей заключается в следующем [5, 6, 7]. В зависимости от целей моделирования составляется формальное описание предметной области в терминах инструментальных средств. Результатом являются имитационные модели, которые интегрируются в состав программно–технологического комплекса. Технологическим недостатком данной схемы является необхо-

димось каждый раз писать похожий код для обслуживания потребителей услуг. Ограничением схемы служит замкнутость круга задач.

ПТИ автоматизации имитационного моделирования ППУ лишен указанных недостатков и содержит технологическую и программную составляющие [8]. Первая из них имеет методики формализации объекта моделирования, преобразования формального описания в программу имитационной модели (ИМ), ее верификации, исследования свойств и эксплуатации заказчиком. В программных компонентах ПТИ реализованы необходимые алгоритмы функционирования, обеспечивающие обслуживание потребителей и операндов сервиса последовательностью микротехнологических операций (МТХО).

Интерфейс прикладного программирования ИМ ППУ обеспечивает трехмодульную структуру программы ИМ, позволяющую сочетать коллективную работу различных групп специалистов (исследователей и разработчиков ИМ). Распространенным структурообразующим сервисам соответствуют готовые программные заготовки, что позволяет свести программирование ИМ к добавлению дополнительных параметров и элементов к стандартным программным компонентам.

Программа ИМ состоит из трех модулей: системного, информационного и функционального. Системный модуль является единым для всех ИМ. Информационный — создается отдельно для каждой ИМ, и в узком смысле программа ИМ представляется информационным модулем. Функциональный модуль отображает этап использования ИМ — реализацию имитационного эксперимента (ИЭ) — и предназначен для решения некоторой задачи с помощью ИМ. Интерфейс решения задач с ИМ ППУ позволяет ставить серии имитационных экспериментов в едином функциональном модуле, а также проводить одни ИЭ по результатам других. В ПТИ также входят стандартные средства сбора статистики и первичной обработки результатов ИЭ.

ПТИ апробирован на предприятиях почтовой связи г. Гомеля, которые оказывают клиентам более 50 видов услуг [1]. Однако по экспертному заключению управленческого аппарата, структурообразующими почтовыми услугами (СПУ) являются семь типов услуг: прием подписки (СПУ₁), прием платежей (СПУ₂), реализация товаров народного потребления (СПУ₃), выплата пенсий (СПУ₄), реализация знаков почтовой оплаты (СПУ₅), прием и оплата переводов (СПУ₆), пересылка и доставка корреспонденции (СПУ₇). С помощью разработанного ПТИ построены ИМ для каждого вида СПУ, что позволяет утверждать именно об апробации инструментария, а не отдельных ИМ. Эффективность ПТИ ППУ была продемонстрирована при решении ряда задач оценки пропускной способности, качества организации технологического процесса.

В данной статье приводятся наиболее существенные результаты апробации, полученные в ходе внедрения ПТИ СПУ в отделениях связи № 6 (ОС₆) и № 44 (ОС₄₄) г. Гомеля.

МЕТОДИКА АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ПОЧТОВЫХ УСЛУГ В ОТДЕЛЕНИИ СВЯЗИ

Вектор интегральных откликов h -го варианта ИМ СПУ в ОС _{k} состоит из трех групп компонент, характеризующих следующие параметры: среднесу-

точную загрузку рабочих мест ($\bar{\eta}_{0h}$); среднесуточную величину общего дохода ОС_k от предоставления всех СПУ_i (\bar{Q}_{0h}); усредненное значение времени обслуживания заказов клиентов $\{\bar{\tau}_{0h}\}$, что является одним из критериев качества обслуживания. Таким образом, вариант h характеризуется вектором откликов

$$\bar{Y}_h = (\bar{\eta}_{0h}, \bar{Q}_{0h}, \{\bar{\tau}_{0h}\}). \quad (1)$$

ИЭ проводится с целью поиска такого варианта h_0 , который обеспечивал бы максимум обобщенного критерия эффективности W_h . Для первых двух компонент вектора откликов требуется их максимизация, тогда как для третьей группы компонент вектора (1) необходимо стремиться к их минимизации. Кроме того, размерности и области изменения значений компонент вектора (1) могут быть различными. Поэтому воспользуемся процедурой приведения компонент вектора \bar{Y}_h к одному типу и масштабу, в результате чего все компоненты модифицированного таким образом вектора откликов будут безразмерными величинами, изменяющимися на интервале $[0,1]$. Компоненты функции W_h являются слабо связными, т.е. изменение одной компоненты приводит к изменению другой в крайних случаях. В плановых режимах работы ОС, при которых апробировался ПТИ, компоненты являются несвязными. Таким образом, оправдано использование целевой функции W_h вида

$$\max_h W_h = \left(\bar{\eta}_{0h} \delta_1 + \bar{Q}_{0h}^* \delta_2 + \delta_3 \sum_l \tau_{0h}^{**} \right), \quad (2)$$

где $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ — весовые коэффициенты важности для исследователя групп компонент вектора откликов ($\delta_1 \geq 0, \delta_2 \geq 0, \delta_3 \geq 0; \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 1$); $\bar{Q}_{0h}^*, \tau_{0h}^{**}$ определены ниже.

Используем следующую методику анализа качества организации СПУ в ОС_k.

Вначале решаем задачу 1. Установив δ_1 в максимальное значение, находим такой вариант (h_{r1}) сочетания параметров всех ИМ СПУ, при котором критерий W_{hr1} достигает максимума.

Затем решаем задачу 2. Максимальное значение устанавливаем δ_2 и находим номер варианта СПУ (h_{r2}), при котором достигается максимум критерия W_{hr1} .

Далее решаем задачу 3. Максимальное значение устанавливаем δ_3 и находим номер варианта СПУ (h_{r3}), при котором критерий W_{hr3} максимален.

Наконец, решаем задачу 4, когда $h_{r1} = h_{r2} = h_{r3}$, и определяем номер варианта СПУ (h_{r4}), при котором критерий W_{hr4} достигает максимума.

Каждая из четырех комбинаций значений вектора $\{\delta_r\}$ определяет различные стратегии анализа технологии предоставления ОС_k клиентуре поч-

товых услуг. Согласно стратегии 1 приоритет у исследователя имеет степень загрузки рабочих мест в ОС_k. При стратегии 2 приоритет отдается получению максимума доходов ОС_k от предоставления СПУ клиентам. Для стратегии 3 преимущество имеет время обслуживания запросов клиентов. Для стратегии 4 важно найти сбалансированное сочетание интересов администрации и клиентов ОС_k. Поэтому вариант h_{rk} сочетания параметров ИМ СПУ, обеспечивающий максимум критерия (2), будет считаться рациональным.

Алгоритм использования ПТИ для реализации данной методики:

1. Выбор необходимой ИМ СПУ_i из библиотеки моделей.
2. Определение базового состояния ИМ путем выбора файла исходных данных для необходимого ОС_k.
3. Задание плана ИЭ в соответствии с решаемой задачей.
4. Запуск ИМ на выполнение и получение результатов моделирования в текстовом файле, настроенном на обработку в одной из программных сред статистической обработки данных (здесь использовался табличный процессор Excel).
5. Открытие файла результатов моделирования и формирование одной или нескольких целевых функций.
6. Построение необходимых для анализа таблиц и диаграмм по результатам моделирования, подставленных в сформированные целевые функции.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ «УЗКИХ МЕСТ» В ТЕХНОЛОГИИ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ СПУ И ОЦЕНКА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ОТДЕЛЕНИЯ СВЯЗИ

Согласно технологии решения задачи 1, для каждой МТХО_{ij} определены пары значений среднесуточных коэффициентов загрузки ($\bar{\eta}_{ij}$) и коэффициентов потерь запросов клиентов в очередях к МТХО_{ij} (\overline{LT}_{ij}), которые затем были представлены в относительных величинах, изменяющихся на интервале [0,1]. Поскольку при организации СПУ_i на рабочем месте (РМ_k) совмещается выполнение нескольких МТХО_{ij}, то производится вычисление коэффициентов загрузки РМ_k ($\bar{\eta}_{PM_k}$) и коэффициентов потерь Литла (\overline{LT}_{PM_k}).

На рис. 1–6 показаны поля распределения точек ($\bar{\eta}_{ij}, \overline{LT}_{ij}^*$) и ($\bar{\eta}_{PM_k}, \overline{LT}_{PM_k}^*$) для ОС₆ и ОС₄₄ г. Гомеля. Анализ этих рисунков позволил в обоих ОС_k установить список МТХО_{ij}, являющихся «узкими местами» первого (область № 9) и второго типов (область № 7). По своей сути распределение точек ($\bar{\eta}_{ij}, \overline{LT}_{ij}^*$) дает относительную информацию о степени загрузки МТХО_{ij} для СПУ_i из-за существования совмещения на РМ_k разных типов МТХО_{ij}. С учетом этого обстоятельства на рис. 2–3, 5–6 дополнительно приведено распределение точек РМ_k ($\bar{\eta}_{PM_k}, \overline{LT}_{PM_k}^*$) в ОС₆ и ОС₄₄. Как видно (рис. 1, 2), из общей массы МТХО_{ij} и РМ_k выделены «узкие места» первого и второго типов в технологии обслуживания клиентов ОС_k.

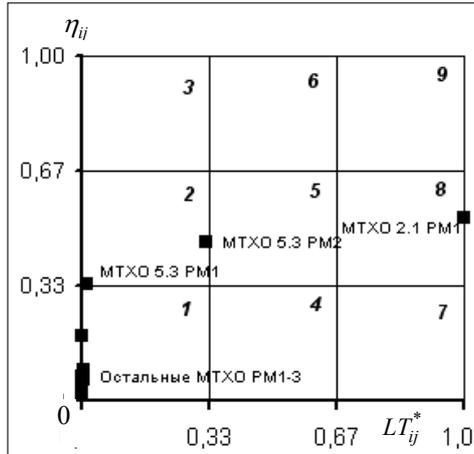


Рис. 1. Поле распределения точек для УПС_i, входящих в состав МТХО_{ij} РМ₁–РМ₃ ОС₆

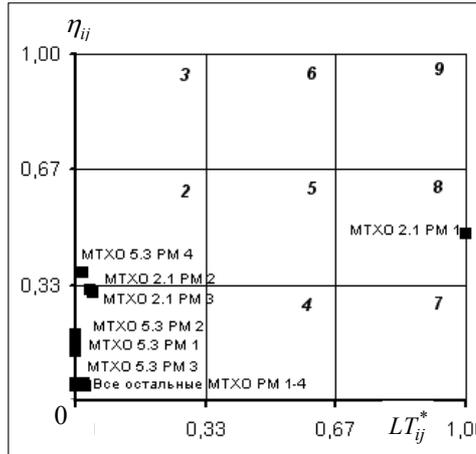


Рис. 2. Поле распределения точек для УПС_i, входящих в состав МТХО_{ij} РМ₁–РМ₄ ОС₄₄

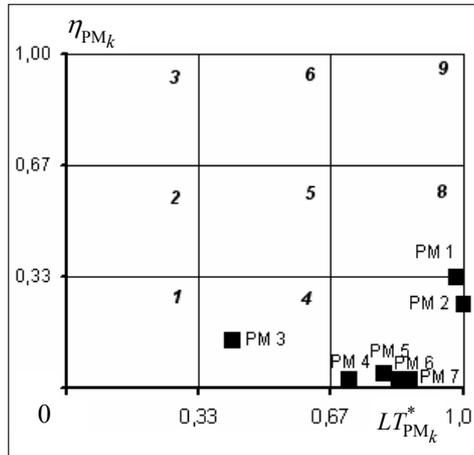


Рис. 3. Поле распределения точек РМ₁–РМ₇, входящих в состав ТПП ОС₆

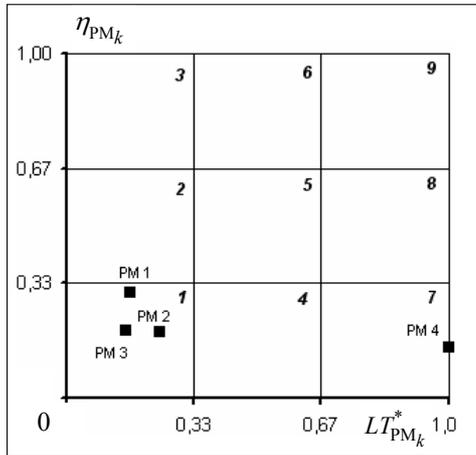


Рис. 4. Поле распределения точек РМ₁–РМ₄, входящих в состав ТПП ОС₄₄

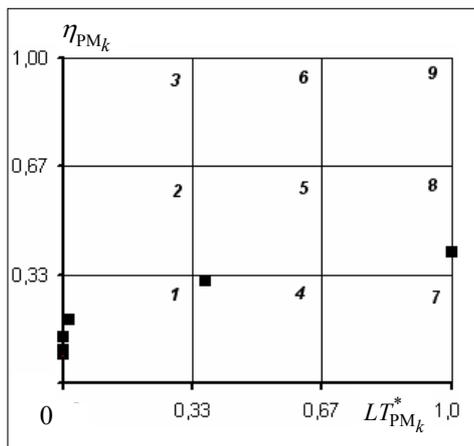


Рис. 5. Поле распределения точек РМ₁–РМ₇, входящих в ТПП ОС₆ при выполнении операций с клиентами (без учета составления отчетности)

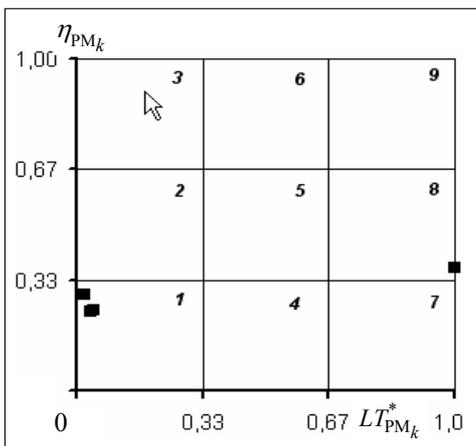


Рис. 6. Поле распределения точек РМ₁–РМ₄, входящих в ТПП ОС₄₄ при выполнении операций с клиентами (без учета составления отчетности)

Анализ полей распределения пар значений $(\overline{\eta}_{ij}, \overline{LT}_{ij}^*)$, показанных на рис. 1 и 4 для СПУ_{*i*}, входящих в состав рабочих мест операторов ОС₆ и ОС₄₄, позволяет установить, что практически все МТХО_{*ij*} при рассмотрении их в отдельности в ИМ СПУ_{*i*} функционируют в режиме недогрузки (область №1), при том, что местом несбалансированности технологии обслуживания является МТХО_{2,1} на РМ₁ в обоих ОС_{*k*}. Ряд МТХО_{*ij*} имеет коэффициент загрузки, близкий к 0,5. Анализ загрузки РМ_{*k*} в ОС₆ г. Гомеля показывает, что основная часть РМ_{*k*} является местом несбалансированности, поскольку они попадают в область № 7 (рис. 5). Однако при формировании координат точек учитывались все виды операций на данном рабочем месте, в том числе и составление отчетности. Но так как отчетность формируется оператором по окончании рабочего дня, что обусловлено технологией работы, то коэффициенты Литгла для этих операций принимают очень большие значения, благодаря которым точки и переносятся в область № 7.

Если при формировании точек учитывать только операции непосредственного обслуживания клиентов, то точки распределения рабочих мест операторов РМ₁, РМ₂ и РМ₃ переносятся в области 8, 5 и 1 соответственно, причем РМ₂ находится, практически, на границе областей 1, 2, 4 и 5 (см. рис. 3). Таким образом, РМ₁ характеризуется как среднезагруженное, РМ₂ и РМ₃ — слабозагруженные рабочие места. Рабочие места 4, 5, 6 и 7 попадают в область 1 и характеризуются самой низкой загрузкой, что вполне объяснимо, поскольку они являются рабочими местами почтальонов, для которых исследуемые СПУ_{*i*} не являются основной работой. Ситуация с ОС₄₄ характеризуется меньшими коэффициентами Литгла даже с учетом составления отчетности, поскольку ОС₄₄ не оказывает СПУ₄ (выплата пенсий), не оплачивает денежные переводы (в результате чего СПУ₆ предоставляется только частично) и, как следствие, обслуживает значительно меньшее количество клиентов. Однако и в данном случае исключение операций по составлению отчетности значительно меняет поле распределения точек РМ_{*k*} (рис. 5, 6). Описанные особенности технологии обслуживания клиентов дополнительно подтверждают верифицированность ИМ СПУ. Отметим, что на рис. 1–6 показаны ситуации, имевшие место в ходе натурального эксперимента (НЭ) для СПУ.

Согласно технологии решения задачи 2 были определены пропускные способности СПУ_{*i*} \mathcal{G}_{khi} ($k = \overline{1,2}; i = \overline{1,6}$), т.е. количества запросов клиентов в час, соответственно для ОС₆ и ОС₄₄ г. Гомеля (см. таблицу). Из предположения равной важности СПУ_{*i*} для администрации ОС_{*k*} с помощью ИЭ определены интегральные пропускные способности всех СПУ как сумма пропускных способностей ОС_{*k*} (\mathcal{G}_{kh0}). Аналогичная характеристика (\mathcal{G}_p) получена при НЭ в ОС₆ и ОС₄₄ во время апробации метода и средств исследования СПУ_{*i*}. В таблице для каждого варианта *h* представлены множества $\{\mathcal{G}_{khi}, \mathcal{G}_{kh0}, \mathcal{G}_p\}$, что позволяет оценить близость НЭ и ИЭ по такому важному показателю качества организации СПУ_{*i*}, как пропускная способность ОС_{*k*}.

Результаты оценки пропускной способности ТПП СПУ_i и ОС_k (k = 6,44)

ОС _k	$\lambda_i \tau_j$	\mathcal{G}_{khi}						\mathcal{G}_{kh0}	\mathcal{G}_p	$\Delta \mathcal{G}$	$\varepsilon, \%$
		СПУ1	СПУ2	СПУ3	СПУ4	СПУ5	СПУ6				
ОС ₆	$\lambda_0 \tau_0$	8,64	39,01	1,35	5,89	13,73	2,64	71,25	75	3,75	5,27
	$\lambda_{\min} \tau_0$	6,39	28,68	1,35	3,42	13,73	2,64	56,20	75	18,80	33,45
	$\lambda_{\max} \tau_0$	15,70	62,66	1,35	6,06	13,73	2,64	102,14	75	27,14	26,57
	$\lambda_0 \tau_{\min}$	8,64	39,10	1,35	5,99	13,73	2,64	71,44	75	3,56	4,99
	$\lambda_0 \tau_{\max}$	8,64	39,42	1,35	4,82	13,73	2,64	70,59	75	4,41	6,25
	$\lambda_{\min} \tau_{\max}$	6,42	28,67	1,35	4,21	13,73	2,64	57,02	75	17,98	31,54
	$\lambda_{\max} \tau_{\min}$	15,75	60,39	1,35	6,40	13,73	2,64	100,26	75	25,26	25,19
	$\lambda_{\min} \tau_{\min}$	6,33	28,71	1,35	5,00	13,73	2,64	57,76	75	17,24	29,85
	$\lambda_{\max} \tau_{\max}$	15,67	61,46	1,35	6,58	13,73	2,64	101,42	75	26,42	26,05
ОС ₄₄	$\lambda_0 \tau_0$	4,75	32,66	1,68	–	17,2	1,47	57,76	60	2,24	3,87
	$\lambda_{\min} \tau_0$	3,52	24,00	1,68	–	13,68	1,47	44,36	60	15,64	35,27
	$\lambda_{\max} \tau_0$	7,71	52,42	1,68	–	23,19	1,47	86,47	60	26,47	30,61
	$\lambda_0 \tau_{\min}$	4,74	32,74	1,68	–	17,21	1,47	57,85	60	2,15	3,71
	$\lambda_0 \tau_{\max}$	4,74	32,55	1,68	–	17,21	1,47	57,65	60	2,35	4,08
	$\lambda_{\min} \tau_{\max}$	3,51	23,88	1,68	–	13,68	1,47	44,22	60	15,78	35,67
	$\lambda_{\max} \tau_{\min}$	7,74	51,45	1,68	–	23,2	1,47	85,54	60	25,54	29,86
	$\lambda_{\min} \tau_{\min}$	3,50	24,21	1,68	–	13,8	1,47	44,61	60	15,39	34,49
	$\lambda_{\max} \tau_{\max}$	7,625	53,54	1,68	–	23,1	1,47	87,44	60	27,44	31,39

Из таблицы видно, что, во-первых, пропускная способность ОС₆ оказалась на 25% выше, чем в ОС₄₄. Во-вторых, различие откликов ИМ и реального СПУ для ОС₆ и ОС₄₄ составляет соответственно 5,27 и 3,87%. Такая погрешность находится в пределах ошибки имитации, чем подтверждается адекватность ИМ СПУ такому значимому для администрации почтовой связи показателю, как пропускная способность ОС_k. Таким образом, подбором комбинации параметров ИМ (λ_i, τ_i) можно увеличить пропускную способность ОС₆ и ОС₄₄ на 29,85 и 31,39% соответственно. В-третьих, очевидно, что определяющим в общей пропускной способности является вклад СПУ₂: 54,8% в ОС₆ и 56,6% в ОС₄₄. Рост пропускной способности обусловлен увеличением интенсивности поступления запросов клиентуры. Здесь наблюдается практически линейный характер роста. При изменении интенсивности поступления клиентов от минимального к максимальному значению пропускная способность возрастает в 1,82 раза для ОС₆ и в 1,95 раза для ОС₄₄. Вклад в общую пропускную способность СПУ_i можно разделить на три группы: незначительный (менее 4%) у СПУ₃ и СПУ₆, средний (от 12 до 20%) у СПУ₁ и СПУ₅ и существенный (свыше 50%) у СПУ₂. Здесь и далее процедура группирования является экспертной, принятой в отрасли на уровне региона. Ранжировка по группам сделана инженерно-экономическим (иссле-

довательским) персоналом областного предприятия связи при внедрении ПТИ на двух подведомственных объектах.

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА ОРГАНИЗАЦИИ СПУ

Методика анализа качества предоставления СПУ_{*i*} клиентам апробирована в ОС₆ и ОС₄₄ г. Гомеля. Значения обобщенного критерия W_{hi} определялись путем свертки вектора откликов с помощью выражения (1) по способу весовых коэффициентов. Во всех h -х вариантах модификации вектора параметров $\{X_h\}$ при расчете решалась W_{hi} задача 4 ($\delta_1 = \delta_2 = \delta_3$) из предположения неизменности характера и интенсивности поступления запросов клиентов на обслуживание ($G_{PH_i} = \text{const}$, $X_{PH_i} = \text{const}$). Интегральный отклик по всем ОС_{*k*} (W_{0h}) представлял собой среднее значение W_{hi} по всем СПУ_{*i*}, определяемое с учетом вклада каждой СПУ_{*i*} в ОС_{*k*}.

$$W_{oh} = \sum_{i=1}^6 W_{hi} \rho_i, \quad \rho_i = \frac{n_{oi}}{\sum_i n_{oi}}, \quad (3)$$

где n_{oi} — среднесуточное количество обслуженных запросов клиентуры в СПУ_{*i*}.

В качестве рационального варианта (h_r) для обоих ОС выбран вариант комбинации параметров (λ_{\max}, τ_0), обеспечивающий максимум критерия (3) при решении задачи 3.

По данным ИЭ было проведено ранжирование СПУ_{*i*} по трем откликам имитации: среднесуточному количеству обслуженных клиентов, коэффициенту загрузки всех МТХО_{*ij*}, среднесуточному доходу от предоставления СПУ_{*i*}. Определялся удельный вес вклада СПУ_{*i*} в соответствующие общие показатели ОС_{*k*}. Результаты ранжирования приведены на рис. 7.

Анализ диаграмм вкладов СПУ_{*i*} в среднесуточные значения откликов моделирования ОС₆ (рис. 7) позволяет сделать следующие выводы:

1. По числу обслуживаемых клиентов за сутки можно выделить три группы СПУ_{*i*} во всех вариантах загрузки: вклад СПУ₂ — от 50 до 61% (значительный), СПУ₁ и СПУ₅ — 11–19% (средний), остальные услуги (СПУ₃, СПУ₄ и СПУ₆) востребованы у 2–9% клиентов (минимальный).

2. Доля загрузки ОС_{*k*} при выполнении СПУ_{*i*} существенно различается. По коэффициенту загрузки можно выделить две группы: 1) максимальный вклад принадлежит СПУ₂ и составляет от 77 до 90%, и 2) минимальный, объединяющий все остальные услуги. Доля каждой из них варьируется от 0,3 до 7,3%.

3. В общем доходе вклад каждой СПУ_{*i*} неравнозначен: максимальный доход приносит СПУ₁ (43–54%), второе место по доходности принадлежит СПУ₂ (17–22%); средней можно назвать доходность от СПУ₄ (7–16%), СПУ₅ и СПУ₆ (по 10%); мизерную доходность дает СПУ₃ (менее 1%).

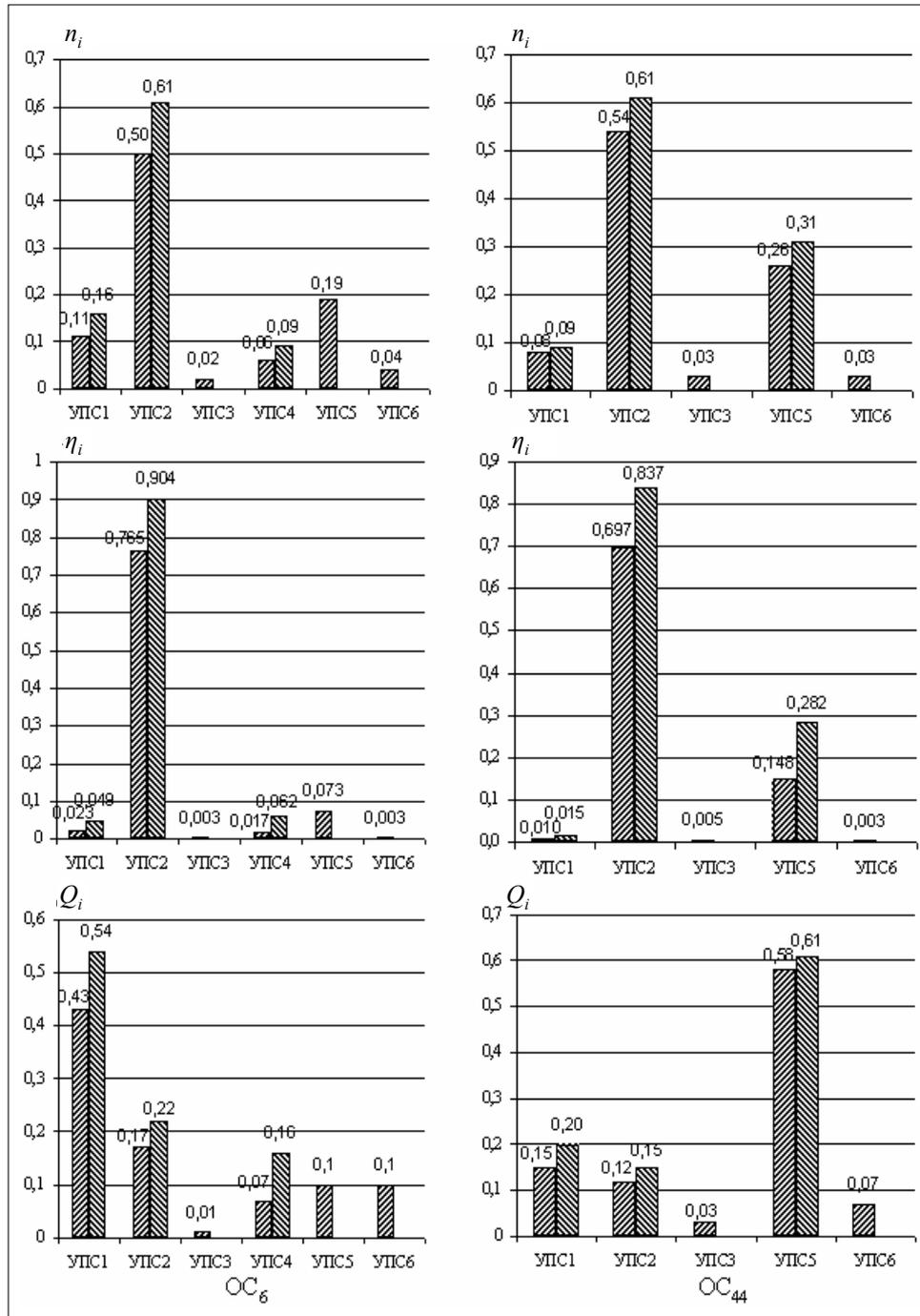


Рис. 7. Диаграммы вкладов УПС_{*i*} в интегральные отклики (n_i, η_i, Q_i) ИМ ТПП в ОС₆ (левосторонняя штриховка) и ОС₄₄ (правосторонняя) г. Гомеля

Результаты ранжирования СПУ_{*i*} для ОС₄₄ приведены на рис. 7. На основе анализа диаграмм вкладов СПУ_{*i*} в среднесуточные значения откликов имитации СПУ сделаем следующие выводы:

1. По числу обслуживаемых клиентов за сутки можно выделить две группы СПУ_{*i*} во всех вариантах загрузки: первую группу составляют СПУ₂ и СПУ₅. Каждая из них обслуживает от 26 до 61%. Во вторую группу входят все остальные СПУ_{*i*}, на каждую из которых приходится от 3 до 9% клиентов.

2. По загрузке ОС₄₄ на первом месте стоит СПУ₂ (70–84%), СПУ₅ дает от 15 до 28% общей загрузки ОС₄₄. Загрузка каждой из остальных услуг колеблется в пределах 0,3–1,5%.

3. По вкладу в общий доход первое место занимает СПУ₅ (58–61%). Далее по доходности находится СПУ₁ (15–20%) и СПУ₂ (12–15%). Незначительный доход дают СПУ₆ (7%) и СПУ₃ (3%).

Такой значительный вклад СПУ₅ в отклики ОС₄₄ по сравнению с ОС₆ объясняется тем, что в ОС₄₄ осуществляется реализация знаков почтовой оплаты не только частным, как в ОС₆, но и юридическим лицам.

По данным ИЭ определены также интегральные отклики ИМ СПУ г. Гомеля. Особенностью вычисления откликов общей загрузки и суммарного времени выполнения запросов клиентов являлась необходимость их усреднения в соответствии с удельным весом числа откликов в СПУ_{*i*} по формуле

$$\omega_{ih} = n_{ih} / \sum n_{ih}, \quad \bar{\eta}_0 = \sum_{i=1}^6 \eta_{hi} \omega_{ih}, \quad \tau_{hi} = \sum_{i=1}^6 \tau_{hi} \omega_{ih}. \quad (4)$$

Результаты расчета интегральных откликов для *h*-го варианта сочетания параметров (λ_i, τ_i) при $h = \overline{1,9}$ для ОС₆ и ОС₄₄ приведены на рис. 8 и 9. Здесь же приведены значения возможных приращений обобщенного показателя качества технологии обслуживания клиентов в ОС_{*k*} (ΔW_h %) по сравнению со значением показателя W_h , имевшем место во время постановки НЭ при апробации метода и средств имитационного моделирования в ОС₆ и ОС₄₄ г. Гомеля. \bar{Q}_{hh}^* означает нормирование величины отклика \bar{Q}_h для *h*-го варианта сочетания параметров (λ_i, τ_i) . Аналогичным образом τ_h^{**} означает нормированное значение времени обслуживания клиентов в *h*-м варианте организации ОС_{*k*}. Расчет обобщенного показателя качества W_h вариантов организации СПУ в ОС_{*k*} проводился при равных значениях весовых показателей значимости ($\delta_i = 0,33$) по формуле (2), предполагая таким образом случай сбалансированного учета качества обслуживания по времени обслуживания, средней загрузке и величине дохода от СПУ_{*i*}.

Другими словами, на рис. 8 и 9 построены поля модификации откликов для различных сочетаний параметров (λ, τ) на всем диапазоне их изменения в ОС₆ и ОС₄₄ соответственно. Нижние и верхние уровни значений параметров обозначены индексами min и max, серединные значения — нулевыми индексами.

На рис. 10 и 11 построены графики изменения откликов ИМ СПУ в ОС₆ и ОС₄₄. На основе анализа этих графиков сделаем выводы:

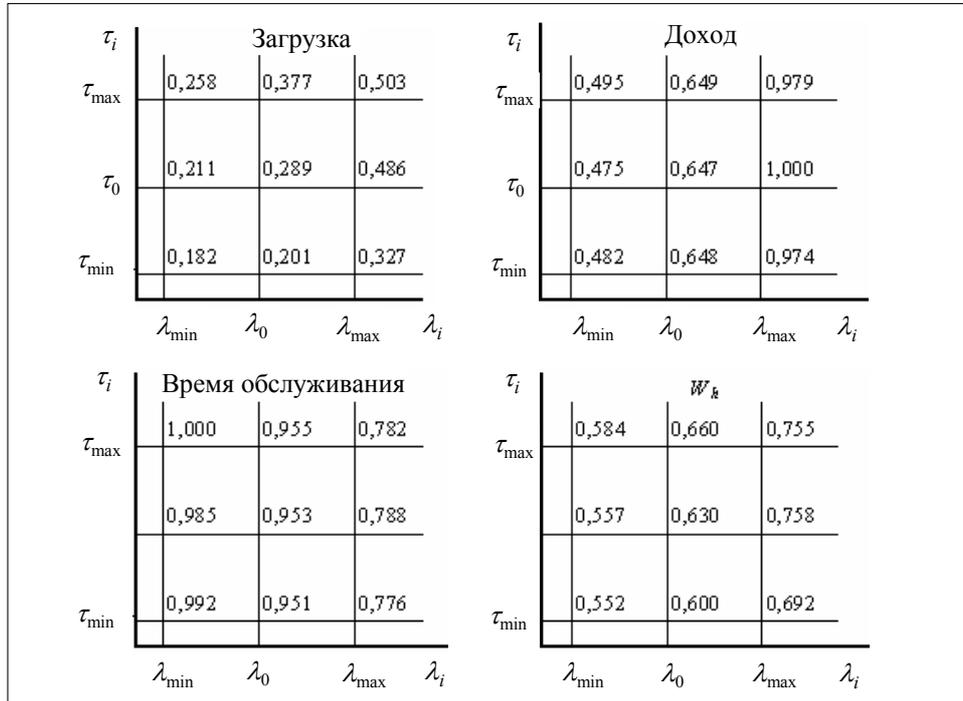


Рис. 8. Поля модификации откликов для сочетаний параметров (λ_0, τ_0) на всем диапазоне их изменения в ОС₆ г. Гомеля

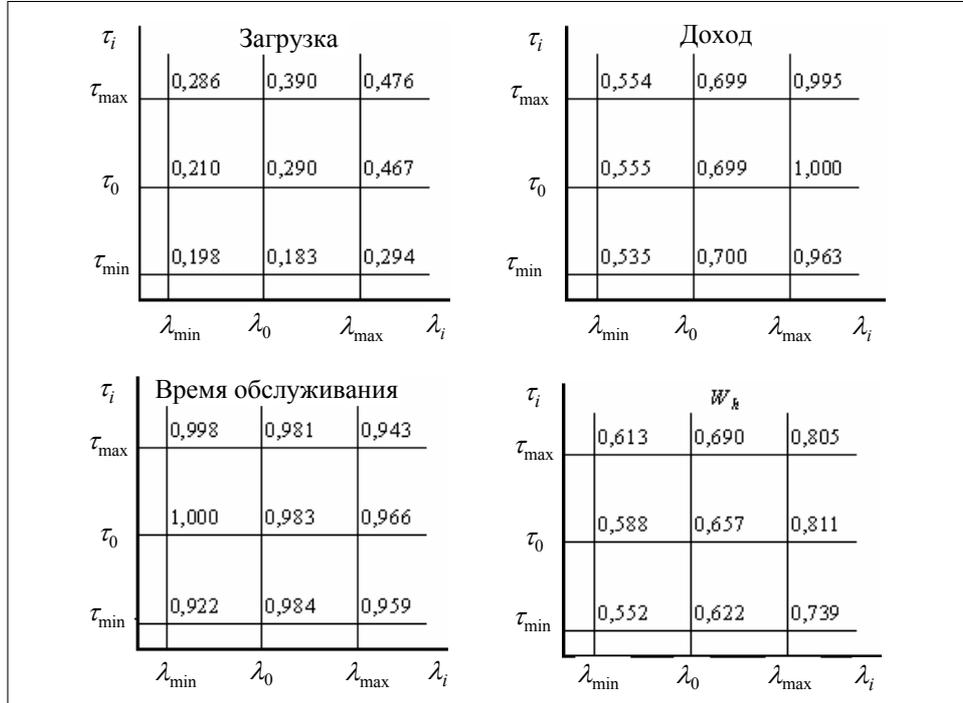


Рис. 9. Поля модификации откликов для сочетаний параметров (λ_0, τ_0) на всем диапазоне их изменения в ОС₄₄ г. Гомеля

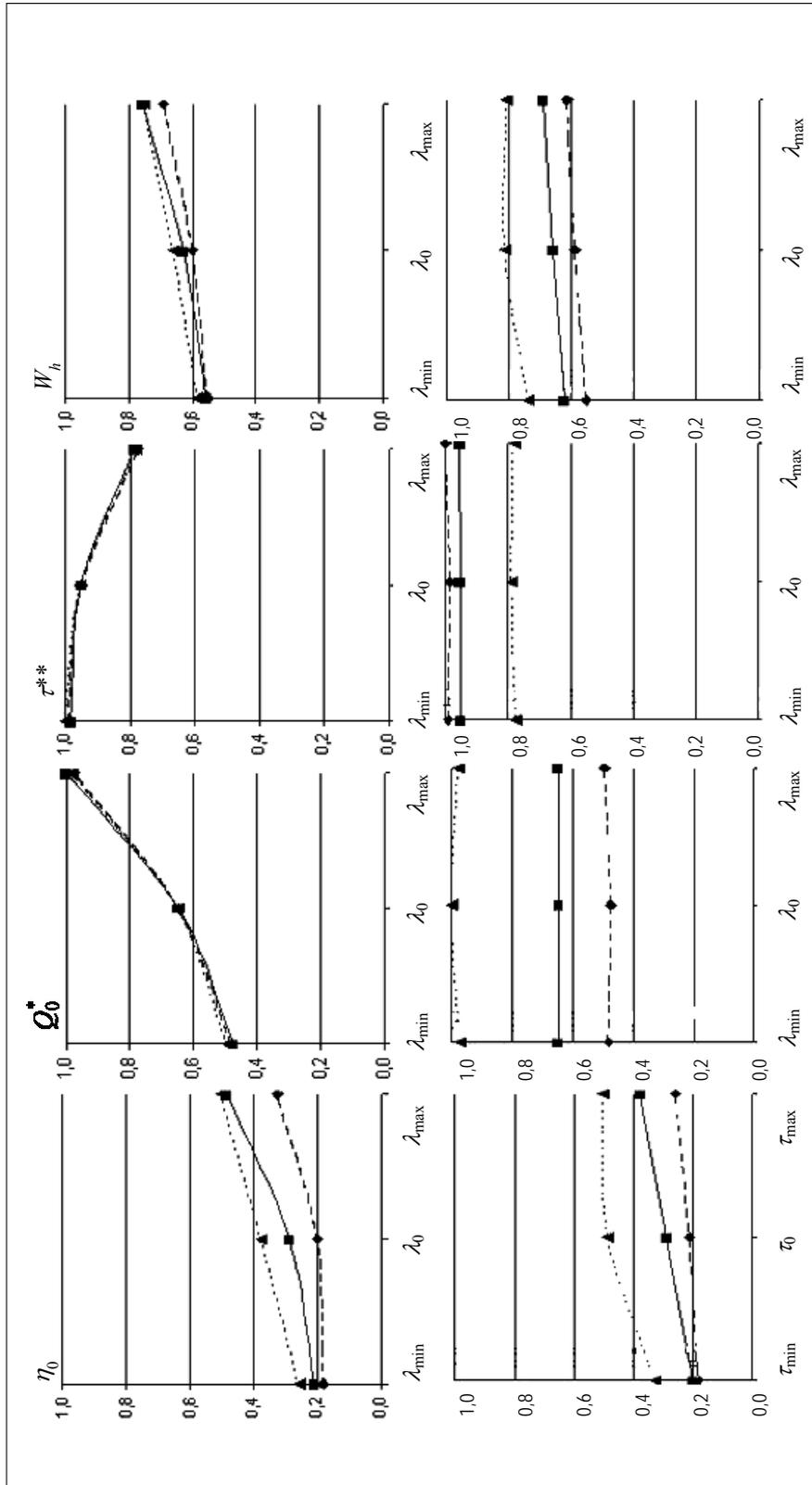


Рис. 10. Графики изменения откликов ИМ ТПП УПС в ОС₆

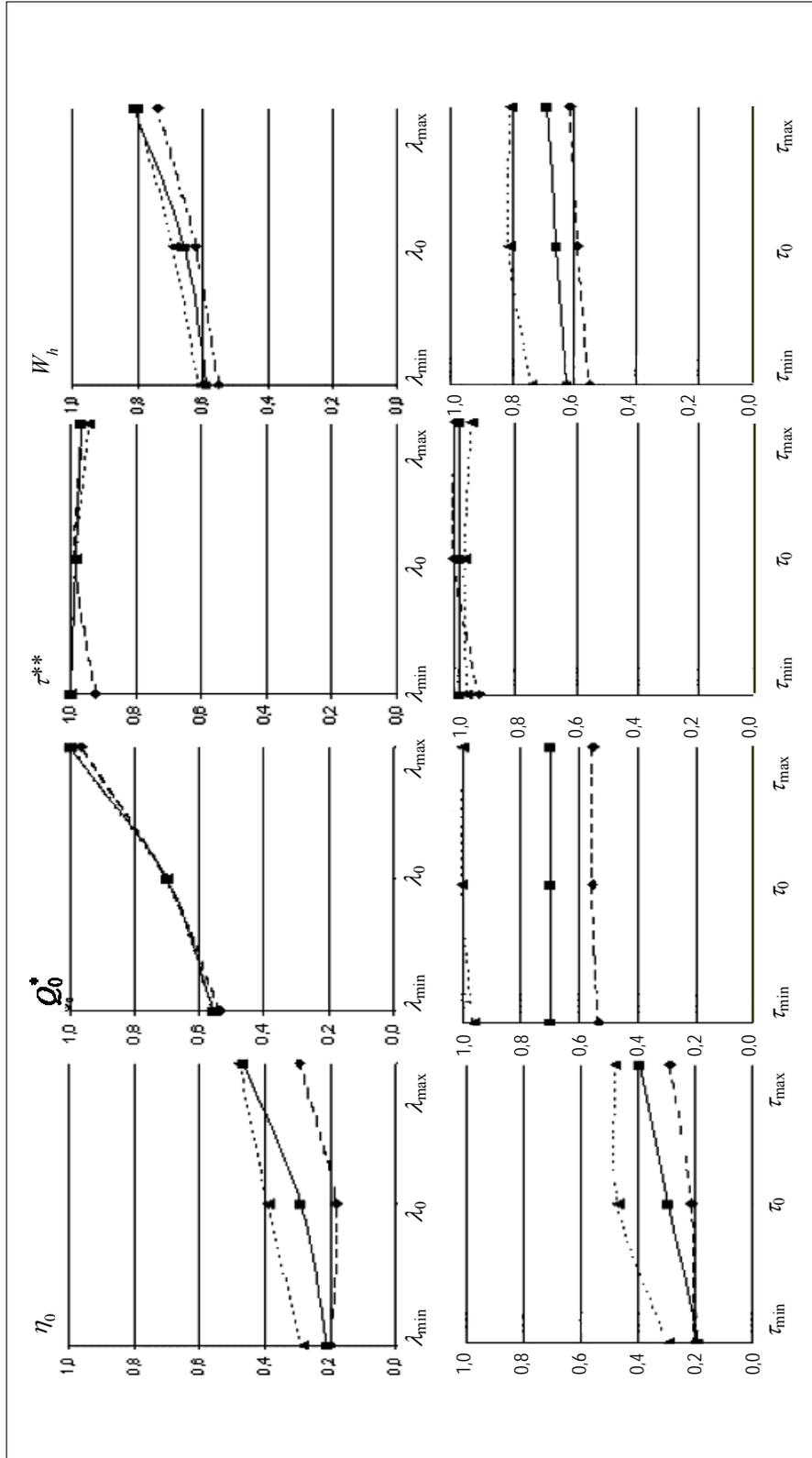


Рис. 11. Графики изменения откликов ИМ ТПП УПС в ОС44

1. Коэффициент загрузки η_0 в обоих ОС_к линейно растет с ростом параметров λ и τ практически во всех случаях (с учетом ошибки моделирования). При увеличении λ разница между минимальным и максимальным значениями составляет 0,15–0,28 для ОС₆ и 0,1–0,25 для ОС₄₄; рост τ обуславливает разницу между максимумом и минимумом (0,08–0,18 для ОС₆ и 0,1–0,2 для ОС₄₄).

2. Приведенная величина среднесуточного дохода в основном линейно зависит от интенсивности поступления запросов клиентов в обоих ОС_к и практически не зависит от времени обслуживания МТХО_{ij} запросов клиентов (τ_i). Диапазон изменения величины дохода от интенсивности большой (0,5–1,0), а изменение дохода от τ_i соизмеримо с точностью моделирования СПУ ОС₆ и ОС₄₄.

3. Приведенное время жизни заявки в ОС₆ несколько отличается от результатов моделирования СПУ в ОС₄₄. Так, с ростом интенсивности время жизни уменьшается с 1,0 до 0,8 для ОС₆, и с 1,0 до 0,95 для ОС₄₄, а при увеличении τ_i отклик практически не меняется, находясь в пределах ошибки имитации.

4. Обобщенный критерий W_h в ОС_к линейно зависит от параметров λ_i и τ_i (с учетом ошибки моделирования). С ростом λ_i значение W_h увеличивается в диапазонах от 0,55 до 0,8 в обоих ОС_к. Изменение τ_i менее существенно влияет на увеличение W_h (разница между максимумом и минимумом во всех случаях составляет примерно 0,06).

Таким образом, общий резерв улучшения обобщенного показателя качества (W_h) СПУ в ОС_к составляет:

- за счет увеличения интенсивности поступления клиентов в ОС₆ в два раза прирост W_h — 20,36% по сравнению с данными имитации реально существующей ситуации (вариант № 3 при λ_{\max}, τ_0);
- увеличение интенсивности поступления клиентов в ОС₄₄ в два раза дает более существенный прирост $W_h = 23,37\%$ (вариант № 3 при λ_{\max}, τ_0);
- увеличение обобщенного показателя качества СПУ в ОС_к за счет изменения характеристик технологии обслуживания клиентов τ_i слабо влияет на W_h , находясь в пределах ошибки имитации СПУ в ОС₆ и ОС₄₄.

Итак, для обоих исследуемых ОС_к лучшим является вариант № 3, при котором параметры ИМ СПУ находятся на уровнях (λ_{\max}, τ_0). По сравнению с ситуацией в ОС₆ и ОС₄₄ г. Гомеля резерв увеличения показателя качества достигается для ОС₆ на 20,36% за счет роста λ до его максимального значения и для ОС₄₄ на 23,37% также за счет увеличения интенсивности поступления клиентов до максимального значения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведены результаты апробации ПТИ ППУ, полученные в процессе его внедрения в производственную деятельность двух отделений связи

г. Гомеля. В полученных актах внедрения отмечается высокий уровень автоматизации исследований с помощью ПТИ ППУ. Методики его применения существенно сокращают сроки проектного моделирования состава и структуры параметров ППУ в отделениях связи при незначительных затратах ресурсов на анализ технологии производственного процесса. Технологии системного анализа динамики изменения «узких мест» в ходе ИЭ позволяют исследовать сложные ППУ в условиях, значительно отличающихся от существующей практики организации ППУ в любых отделениях связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Имитационная модель технологических процессов сети почтовой связи / И.В. Максимей, В.Д. Левчук, Г.А. Терещенко, В.В. Старченко // Реєстрація, зберігання і обробка даних. — 2004. — № 1. — С. 34–46.*
2. *Терещенко Г.А. Формализация технологических процессов предоставления почтовых услуг// Известия ГГУ им. Ф.Скорины. — 2003. — № 3. — С. 101–105.*
3. *Шеннон Р. Имитационное моделирование систем — искусство и наука. — М.: Мир, 1978. — 230 с.*
4. *Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных. — М.: Финансы и статистика, 1983. — 175 с.*
5. *Лоу А., Кельтон В. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. — Киев: ВНУ, 2004. — 847 с.*
6. *Томашевський В.М. Моделювання систем. — Київ: ВНУ, 2005. — 352 с.*
7. *Имитационное моделирование: теория и практика (ИММОД–2005): Сб. докл. второй всерос. конф. по имитационному моделированию. — Т.1, 2. — СПб.: ФГУП ЦНИИ технологии судостроения, 2005. — С. 75–81.*
8. *Левчук В.Д., Максимей И.В. Программно–технологические комплексы имитации сложных дискретных систем. — Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2006. — 263 с.*

Поступила 27.06.2006