

О.М. Демиденко, И.В. Максимей

МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОГО ВЫБОРА РАБОЧЕЙ ОБЛАСТИ
ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА
ПРИ ПРОЕКТНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ВС

Ключевые слова: проектное моделирование, технология обработки заданий, результаты апробации, методика выбора, рабочая область параметров.

1. Необходимость поиска рабочей области параметров моделирования
ВП в ВС

При адаптации универсального программно-технологического обеспечения (ПТО) вычислительных систем (ВС) к требованиям рабочей нагрузки (РН) все чаще приходится использовать имитационное моделирование (ИМ) как инструмент анализа последствий принятия проектных решений. Но из-за отсутствия прототипов при проектировании новой технологии обработки запросов пользователей (ЗП) на ВС исследователи вычислительного процесса (ВП) зачастую оказываются в сложном положении при принятии решений. Поскольку реальной технологии обработки информации ВС еще нет, то отсутствует этап проверки адекватности ИМ, и это приводит к неверным проектным решениям. Поэтому в этих условиях актуальна замена этапа проверки адекватности ИМ ВП в ВС процедурой поиска рабочей области изменения параметров рабочей нагрузки (РН), в пределах которой имеет смысл исследовать зависимость откликов (Y) модели ВП от параметров моделирования (X). Обычно эта процедура позволяет сбалансировать скорости поступления ЗП на обслуживание в ВС со скоростью обработки информации на ВС. Возможны различные правила выбора границ рабочей области изменения параметров ВП и РН. В данной работе предлагается для этой цели использовать критерий «сбалансированности» скоростей поступления на ВС ЗП на обслуживание со скоростями удовлетворения ОС ВС этих запросов в ходе реализации ВП.

2. Концептуальная модель ВП при моделировании вариантов
организации ВС

В общем случае в ИМ ВП и РН на ВС можно выделить три группы характеристик, которые влияют на значения откликов ИМ.

1. Характеристики РН, определяющие состав (q_i) пользователей i -го типа и интенсивности (λ_i) поступления ЗП на обслуживание в ВС. Обычно $X = (\lambda_i, q_i)$; $i = \overline{1, J}$ представляют собой вектор параметров моделирования РН, который варьируется наиболее часто при проектном моделировании. Исследователь может не только менять интенсивности ЗП (λ_i), но и изменять соотношения и число пользователей (q_i) в любых диапазонах.

2. Вектор характеристик элементной базы, из которой формируются узлы обработки ЗП на ВС. С этой целью для l -го типа оборудования ВС задаются свои скорости обработки ЗП (φ_{pl}) на ЦП.

3. Характеристики структуры запросов ресурсов (STR_i), затрачиваемых ВС при обслуживании ЗП. Причем каждый i -й ЗП определяет свою РН на ВС в виде функции распределения $F_{ik}(t_{обс})$ длительности выполнения на ЦП программных модулей (ПМК). Исследователь может при этом не только менять параметры этих распределений, но и варьировать типом распределений (экспонента, нормальное, равномерное).

В качестве откликов ИМ ВП на ВС выступают вектора следующих статистик моделирования:

- коэффициенты использования ЦП k -м программным модулем (η_k);
- средние значения длины очереди ЗП к k -м программным модулям или устройствам ($l_{очк}$);
- средние длительности циклов обслуживания на ВС ЗП i -го типа ($T_{жi}$);
- количество обслуженных ЗП i -го типа (n_i) за время моделирования ($T_{модs}$) s -го варианта организации ВП в ВС.

Кроме того, из этих статистик моделирования формируются два интегральных отклика ИМ ВП в ВС:

— коэффициент загрузки ЦП ($\eta_{цп} = \sum_k \eta_k$);

— коэффициент использования внешней памяти ВС ($\eta_{впп}$).

В общем случае ИМ ВП в ВС будем представлять в виде «черного ящика», на входе которого задаются значения векторов $\{X=(n_i, q_i); G=(\varphi_{pl}); STR_i=(F_{ik}(t_{обсл}))\}$, а на выходе которого определяются:

— вектор откликов $Y_1=(\eta_k, l_{очк}, h_{цп}, h_{впп})$, характеризующий качество организации ВП в ВС;

— вектор откликов $Y_2=(T_{жi}; i=\overline{1, J})$, характеризующих качество обслуживания пользователей ВС.

Для поиска рациональных соотношений между параметрами ИМ ВП в ВС и откликами необходимо составить дробный факторный эксперимент (ДФЭ) и провести большую серию имитационных экспериментов (ИЭ) с последующей оценкой значимости отдельных факторов и итеративным способом определить искомые рациональные соотношения между X , G и STR_i . Но из-за больших расходов ресурса времени ЭВМ на организацию ИЭ и сил исследователя эта задача обычно трудно реализуема. Поэтому ниже предлагается упрощенная процедура поиска рабочей области параметров ИМ ВП в ВС.

3. Методика оперативного выбора рабочей области изменения параметров ИМ ВП в ВС

Вся процедура выбора рабочей области параметров моделирования реализуется следующей последовательностью шагов исследователя.

1. Фиксируем одну из степеней свободы варьирования параметров ИМ ВП в ВС, например, для STRi устанавливаются номинальные значения $F_{ik}(t_{обсл.})$.

2. Выбираем S уровней изменения вектора $X = (\lambda_{i1}, q_{i1}, \dots, \lambda_{is}, q_{is})$; $i = \overline{1, J}$ и г уровней вектора G изменения скоростей обработки информации при обслуживании ЗП на ВС ($\vartheta_{pl1}, \dots, \vartheta_{plr}$); $l = \overline{1, L}$. В результате общее число вариантов изменения параметров векторов X и G будет равно (rxs). На практике достаточно выбирать число уровней не более 5. Таким образом, необходимо поставить ИЭ из 25 опытов и на этой основе провести прикидочный поиск возможного местоположения рабочей области исследований в пространстве параметров ИМ ВП в ВС.

3. Для каждого сочетания интенсивностей запросов пользователей и типов элементной базы (λ_{is}, V_{plis}) узлов обработки ВС после имитации ВП очередного варианта организации ВС определяются вектора откликов Y_1 и Y_2 .

4. Проводят сравнение этих статистик имитации на предмет определения «узкого места» в ВП ВС. Под «узким местом» в ВП будем понимать следующее сочетание откликов Y_1 и Y_2 .

— большое значение $\eta_k, l_{очк}$ при больших временах обслуживания ЗП Tжi, означающие тот факт, что ВС не справляется с потоком ЗП на обслуживание интенсивности (λ_i) при числе пользователей (q_i) на входе ВС;

— большое значение Tжi при малых значениях η_k , показывающее наличие структурных несоответствий в ВП на ВС.

Кроме того, несомненный интерес для проектировщиков представляет и случай сбалансированности скоростей поступления и обслуживания ЗП на ВС, что имеет место при хорошей загрузке ПМк (η_k больше 0,5), малых очередях ($l_{очк}$) и принимаемых временах цикла обслуживания ЗП i-го типа (T^*_i), т.е. когда выполняются неравенства ($Tжi < T^*_i$).

Каждому из предполагаемых «узких мест» в ИМ ВП в ВС придается «указатель», по которому в ходе ИЭ исследователь отслеживает, чтобы тип и местоположение «узкого места» не менялись при изменениях сочетаний уровней факторов X и G. Итак, на данном шаге исследований фиксируется два вектора статистик значений указателей «узкого места» и «сбалансированности ВП» ($\eta_k^{(1)}, Tжi^{(1)}$) и ($\eta_k^{(2)}, Tжi^{(2)}$).

5. Только для этих статистик строятся семейства зависимостей:

$$\eta_k^{(1)} = \varphi_{1s}(\vartheta); Tжi^{(1)} = \varphi_{2s}(\vartheta_{pl}). \quad (1)$$

Очевидно, что семейства этих зависимостей будут показывать на падение $\eta_k^{(1)}$ и Tжi⁽¹⁾ при росте скорости обработки информации (ϑ_{pl}). По графикам (1) находим первую рабочую точку ($\lambda_{i01}, \vartheta_{pl01}$), означающую одновременное

изменение характера зависимостей (1) при увеличении скоростей обработки (ϑ_{pl}).

6. Аналогичным образом строим зависимости статистик «сбалансированности ВП» от параметров X и G :

$$\eta_k^{(2)} = \psi_{1s_{pl}}(\vartheta); T_{жi}^{(2)} = \psi_{2s_{pl}}(\vartheta). \quad (2)$$

По графикам (2) находим вторую рабочую точку ($\lambda_i^{02}, \vartheta_{pl}^{02}$), означающее одновременное изменение характера зависимостей (2) при росте (ϑ_{pl}).

Если дальнейшей целью исследования является поиск «узких мест», то в качестве рабочей точки моделирования выбирают вектор ($\lambda_i^{01}, \vartheta_{pl}^{01}$). Когда же исследователя интересует сбалансированность ВП в ВС, тогда в качестве рабочей точки моделирования выбирают вектор ($\lambda_i^{02}, \vartheta_{pl}^{02}$). Безусловно, устойчивыми результаты исследований будут при совпадении обеих рабочих точек моделирования.

7. Следующим шагом является поиск диапазонов изменения векторов ($\lambda_i^{02}, \vartheta_{pl}^{02}$), в пределах которых сохраняется регрессионная зависимость между откликами и параметрами модели:

$$Y_1 = \Phi_1(\lambda_i, \vartheta_{pl}); Y_2 = \Phi_2(\lambda_i, \vartheta_{pl}). \quad (3)$$

В этом случае можно говорить уже о рабочей области параметров, в пределах которой возможно нахождение вида и параметров зависимостей (3). Обычно на практике прежде всего стремятся найти параметры линейных зависимостей Φ_1 и Φ_2 .

4. Объект исследования, использованный для апробации методики поиска рабочей области моделирования

В качестве объекта моделирования был выбран ВП в типовой ВС. Моделировалась технология обработки заданий ОС ВС шести типов ($i=1, 6$) запросов пользователей:

- регламентные задания с интенсивностью поступления (λ_i);
- диалоговые запросы (q_2) пользователей с временем обслуживания ответов ($\tau_{об2}$);
- удаленная пакетная обработка с интенсивностью запросов (λ_3);
- кратковременная диалоговая работа (q_4) пользователей с программами, находящимися на разных узлах ВС и затрачивающих на обдумывание ответов ($\tau_{об4}$) единиц времени;
- однократная передача сообщений пользователей узла ВС интенсивностью (λ_5) пользователям, находящимся на других узлах ВС;
- многократное длительное взаимодействие (q_6) пользователей, находящихся на разных узлах ВС и затрачивающих на обдумывание ответов ($\tau_{об6}$) единиц времени.

Работа супервизиров ОС ВС имитировалась постоянным квантом обслуживания ($\tau_{ос}$) при отображении организации мультипрограммной работы задач и мультиобработки заказов этих задач устройствами обмена и ввода-вывода. При этом моделировалась конкуренция запросов ПМ j и

супервизора за ресурс ЦП таким образом, что в любой данный момент времени на ЦП выполняются либо программы супервизора длительностью τ_{oc} , либо один из ПМj длительностью $t_{обслj}$.

В качестве базовой ИМ ВП в узлах ВС использовалась модель, предложенная в работе [1], разработанная и каталогизированная в среде СМ МІСІС [2]. Характеристики структуры модели и элементной базы были зафиксированы и использовались из работы [3].

5. Анализ результатов апробации методики оперативного поиска рабочей области моделирования

Варьирование скоростей работы ЦП осуществлялось путем деления $t_{обслj}$ на коэффициент ϑ_{pi} . В качестве изменяемых параметров использовались: вектор интенсивностей поступления требований ($\lambda_1, \lambda_3, \lambda_5$) и вектор количества диалоговых пользователей (q_2, q_4, q_6). Было выбрано 3 уровня изменения интенсивностей (λ_i) и количества пользователей (q_i): малая РН (М), средняя РН (С) и большая РН (Б). В табл. 1 приведены значения параметров РН при каждом уровне ее изменения. Скорости обработки требований ПМj на ЦП менялись на 5 уровнях: $\vartheta_{pi}=1; 5; 10; 15; 20$ (т.е. $t_{обслj}$ кратно уменьшалось для всех ПМj одновременно и кратно в 5, 10, 15 и 20 раз по сравнению с основным вариантом, формируемым из $F_{ij}(t_{обслj})$, взятым из работы [1]).

Таблица 1

Значения параметров рабочей нагрузки

| Вид РН | Значения параметров РН | | | | | | | | |
|--------|------------------------|-------------|-------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|
| | λ_1 | λ_3 | λ_5 | q_2 | $\tau_{об2}$ | q_4 | $\tau_{об4}$ | q_6 | $\tau_{об6}$ |
| М | 0.120 | 0.080 | 0.180 | 6 | 8,0 | 1 | 20,0 | 3 | 30,0 |
| С | 0.072 | 0.048 | 0.108 | 12 | 8,0 | 2 | 20,0 | 6 | 30,0 |
| Б | 0.024 | 0.016 | 0.036 | 18 | 8,0 | 3 | 20,0 | 9 | 30,0 |

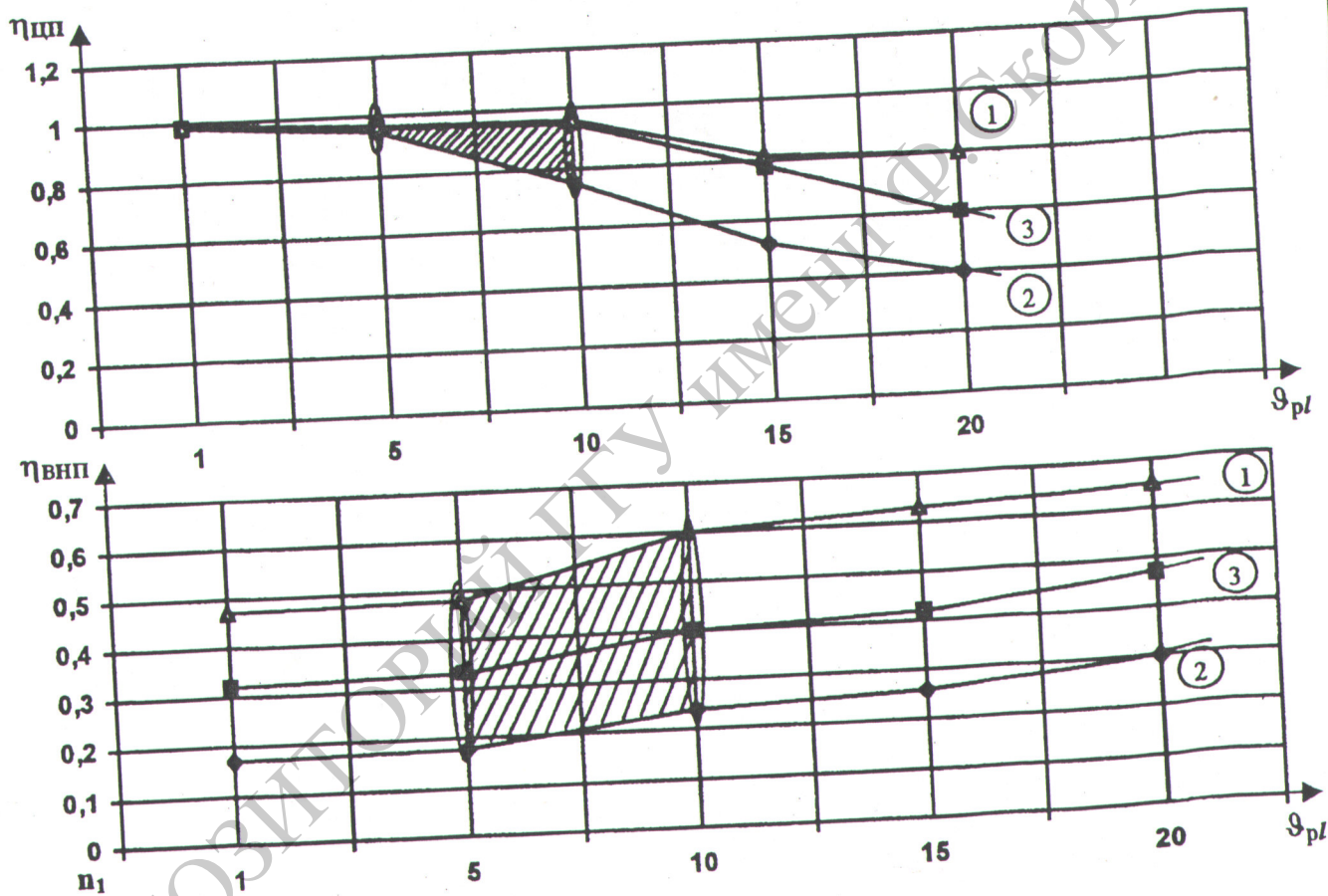
Для каждого варианта соотношений ($\lambda_i, q_i, \vartheta_{pi}$) был проведен соответствующий ИЭ по методике, изложенной ранее, и результаты моделирования 15 вариантов этих соотношений представлены в табл. 2. По каждому 4-му варианту проводился поиск указателей «узкого места» в ВП ВС и указателей «сбалансированности ВП». Было установлено практическое совпадение указателей узкого места и сбалансированности ВП и для Φ_1 и Φ_2 с качественно похожим видом зависимостей (3). Поэтому в дальнейшем весь анализ результатов был проведен на основании указателя «узкого места» в ВП. На рис. 1 приведены графики изменения вектора характеристик ВП ($\eta_{цп}, \eta_{вып}$) от ϑ_{pi} при разных видах РН (М, С, Б). На рис. 2 изображены графики изменения векторов откликов (T_{ji} и $p_i, i=1,6$) при изменении ϑ_{pi} и разных видах РН.

Значения откликов ИМ ВП в ВС

Таблица 2

| №№ вари- антов | Параметры | | Отклики модели | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------|---------------|----------------|--------------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|
| | РН | ϑ_p | $\eta_{цп}$ | $\eta_{вып}$ | Тж1 | Тж2 | Тж3 | Тж4 | Тж5 | Тж6 | n1 | n2 | n3 | n4 | n5 | n6 |
| 1 | М | 1,0 | 0,985 | 0,170 | 642 | 312 | 483 | 402 | 665 | 427 | 39 | 29 | 78 | 4 | 88 | 19 |
| 2 | М | 5,0 | 0,950 | 0,180 | 107 | 27 | 27 | 45 | 63 | 63 | 165 | 145 | 115 | 6 | 264 | 138 |
| 3 | М | 10,0 | 0,750 | 0,240 | 17 | 11 | 5 | 25 | 11 | 35 | 174 | 1109 | 127 | 73 | 274 | 205 |
| 4 | М | 15,0 | 0,520 | 0,260 | 7 | 9 | 3 | 22 | 5 | 32 | 181 | 2670 | 141 | 228 | 290 | 460 |
| 5 | М | 20,0 | 0,400 | 0,300 | 7 | 9 | 3 | 23 | 4 | 32 | 198 | 3736 | 188 | 285 | 303 | 548 |
| 6 | С | 1,0 | 0,990 | 0,320 | 918 | 490 | 1157 | 571 | 697 | 673 | 38 | 29 | 69 | 4 | 99 | 12 |
| 7 | С | 5,0 | 0,960 | 0,330 | 454 | 78 | 115 | 85 | 391 | 212 | 249 | 439 | 319 | 72 | 536 | 188 |
| 8 | С | 10,0 | 0,950 | 0,400 | 87 | 21 | 18 | 39 | 49 | 58 | 531 | 1980 | 357 | 182 | 735 | 269 |
| 9 | С | 15,0 | 0,780 | 0,420 | 16 | 11 | 5 | 25 | 10 | 35 | 569 | 3828 | 398 | 283 | 765 | 495 |
| 10 | С | 20,0 | 0,600 | 0,470 | 16 | 11 | 5 | 25 | 10 | 35 | 589 | 3928 | 448 | 283 | 765 | 606 |
| 11 | Б | 1,0 | 0,995 | 0,470 | 1204 | 492 | 1451 | 952 | 936 | 687 | 34 | 100 | 64 | 14 | 72 | 7 |
| 12 | Б | 5,0 | 0,970 | 0,480 | 533 | 138 | 267 | 86 | 620 | 286 | 243 | 1563 | 472 | 159 | 553 | 199 |
| 13 | Б | 10,0 | 0,960 | 0,600 | 171 | 35 | 29 | 49 | 110 | 81 | 544 | 3910 | 556 | 282 | 1024 | 335 |
| 14 | Б | 15,0 | 0,820 | 0,630 | 46 | 16 | 11 | 31 | 23 | 44 | 576 | 4574 | 554 | 312 | 1263 | 487 |
| 15 | Б | 20,0 | 0,800 | 0,650 | 16 | 11 | 5 | 25 | 9 | 36 | 818 | 4837 | 576 | 362 | 1297 | 698 |

Рис. 1. Зависимости откликов $\eta_{\text{цп}}$, $\eta_{\text{вп}}$ от $\vartheta_{\text{р}}$



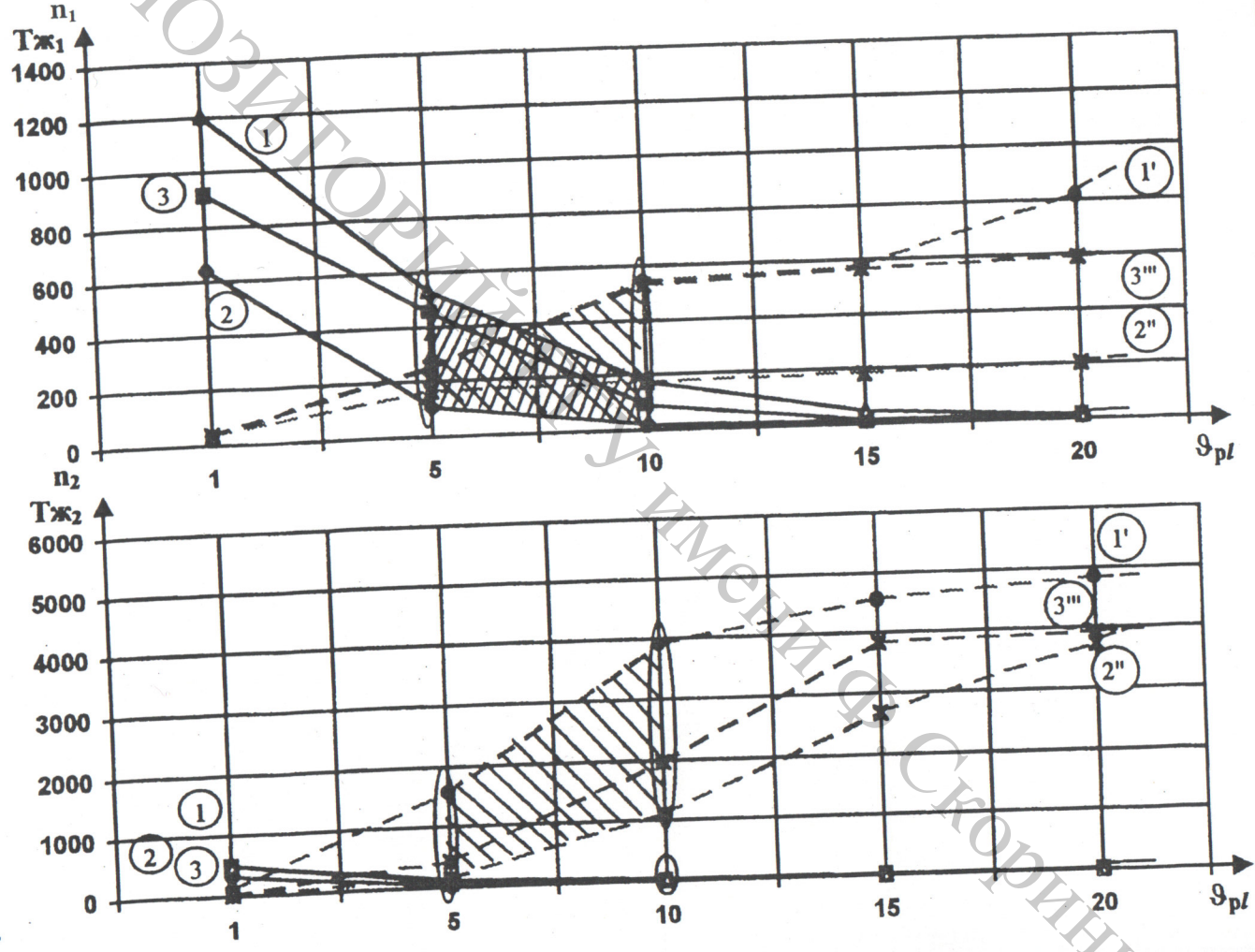
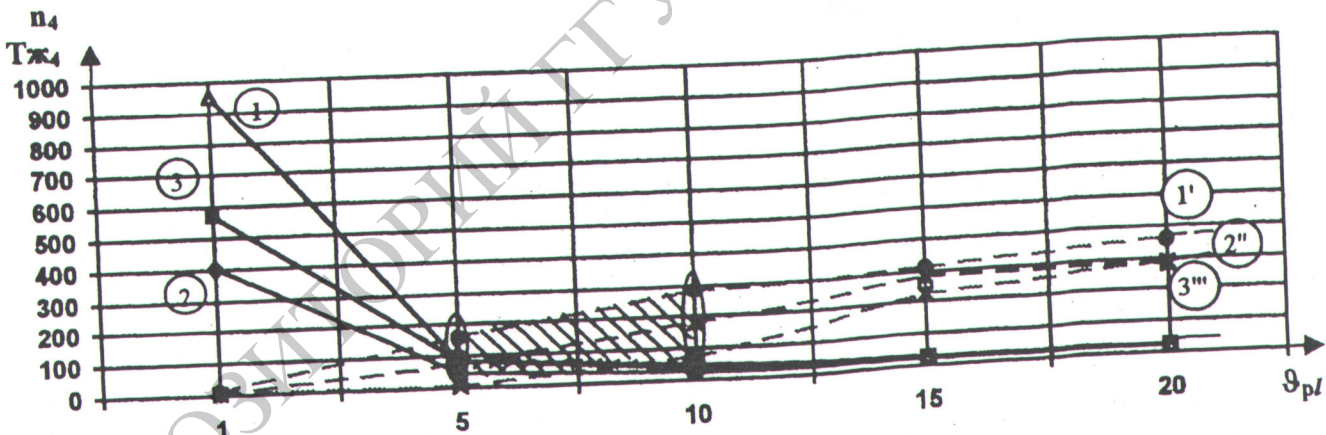
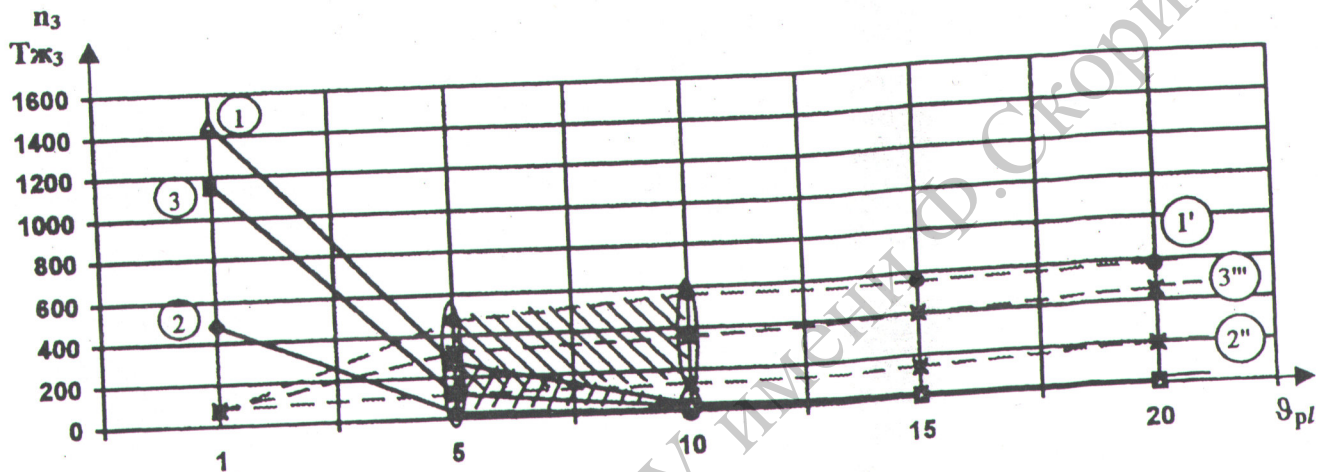
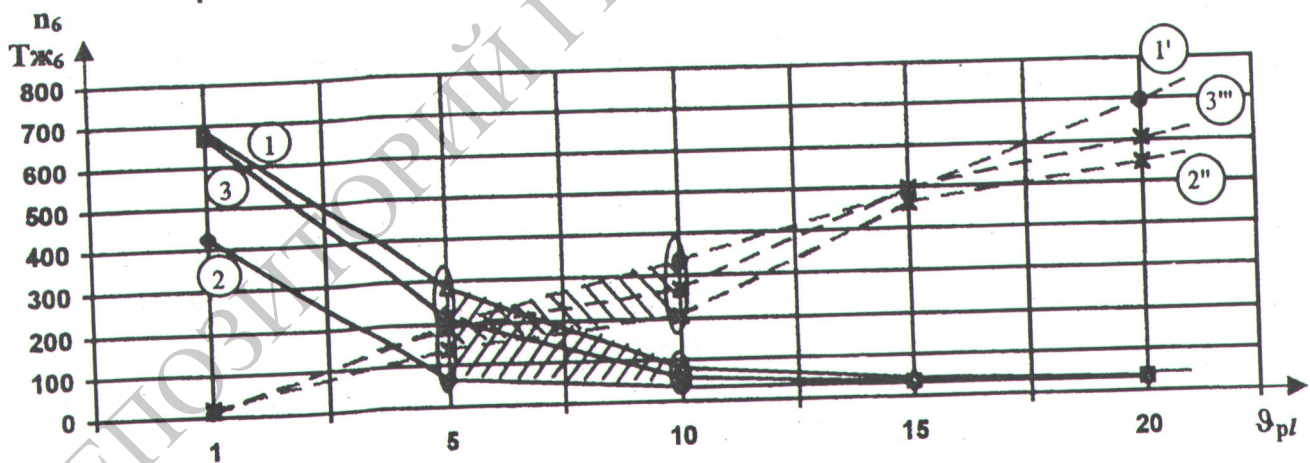
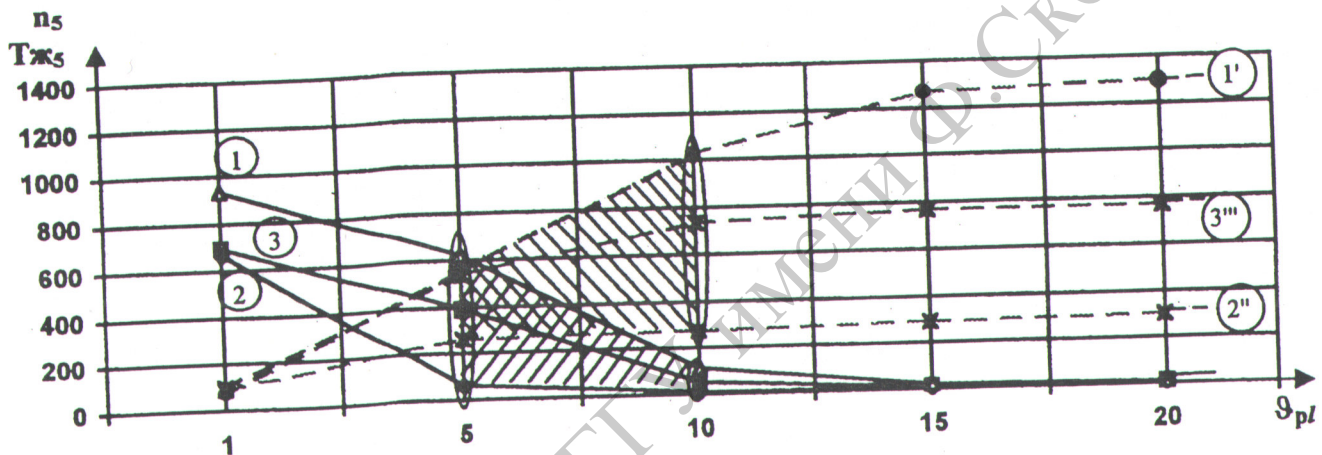


Рис. 2. Зависимости откликов $T_{ж1}$, $T_{ж2}$, $T_{ж3}$, $T_{ж4}$, $T_{ж5}$, $T_{ж6}$, n_1 , n_2 , n_3 , n_4 , n_5 , n_6 от ρ_{pl}

Продолжение рис. 2



Продолжение рис. 2



Анализ зависимостей $\eta_{\text{цп}} = \Phi_1(\lambda_i, q_i, \vartheta_{pi})$ позволяет сделать вывод, что 10-кратный рост ϑ_{pi} приводит к падению $\eta_{\text{цп}}$ на 20% при малой РН и на 50% при большой РН. Дальнейшее увеличение ϑ_{pi} в 2-раза приводит к падению $\eta_{\text{цп}}$ на 50% (при малой РН) и 20% (при большой РН). Существует точка перегиба этой зависимости, за которой при росте ϑ_{pi} происходит резкое падение $\eta_{\text{цп}}$.

Вид зависимости $\eta_{\text{вип}} = \Phi_1(\lambda_i, q_i, \vartheta_{pi})$ имеет обратную тенденцию. Здесь уже заметен слабый рост $\eta_{\text{вип}}$ при увеличении ϑ_{pi} . Причем при большой РН этот рост больше (15%), чем при малой РН (10%). Точка перегиба не выражена, и, скорее всего, можно говорить о линейном характере этого возрастания.

Графики зависимостей $T_{жi} = \Phi_2(\lambda_i, q_i, \vartheta_{pi})$ и $n_i = \Phi_2(\lambda_i, q_i, \vartheta_{pi})$ показывают на противоположный характер зависимостей длительностей цикла обслуживания i -го запроса ($T_{жi}$) и пропускной способности узла ВС по i -му типу запросов (n_i). Для $T_{жi}$ у всех типов запросов имеет место экспоненциальное падение их значений от рабочей точки при росте скоростей обработки запросов ПМ j на ЦП. Причем, чем выше РН, тем сильнее характер этого падения. Практически во всех зависимостях $T_{жi} = \Phi_2(\lambda_i, q_i, \vartheta_{pi})$ имеет место «насыщение» в районе $\vartheta_{pi} = 10$, после которого дальнейшее увеличение ϑ_{pi} не приводит к падению $T_{жi}$. Для $n_i = \Phi_2(\lambda_i, q_i, \vartheta_{pi})$ у всех типов запросов имеет место монотонный рост n_i до той же точки перегиба ($\vartheta_{pi} = 10$), после которого также наступает «насыщение» роста в районе $\vartheta_{pi} = 10$.

Сопоставляя между собой рис. 1 и рис. 2, можно определить начало и конец рабочей зоны модели изменения параметров моделирования ($\lambda_i, q_i, \vartheta_{pi}$). Так, при $\vartheta_{pi} = 5,0$ имеет место начало рабочей зоны, при которой с увеличением ϑ_{pi} : начинается падение $\eta_{\text{цп}}$, завершается рост $\eta_{\text{вип}}$; начинается линейный участок роста n_i ; появляется первая точка перегиба зависимости $T_{жi}$ от ϑ_{pi} .

А при $\vartheta_{pi} = 10,0$ имеет место конец рабочей зоны, при котором с увеличением ϑ_{pi} : начинается существенное падение $\eta_{\text{цп}}$; завершается существенный рост $\eta_{\text{вип}}$; завершается линейный участок роста n_i и имеет место вторая точка перегиба $T_{жi}$, при которой падение прекращается при росте ϑ_{pi} .

Отсюда следует вывод. Можно считать рабочей областью следующие интервалы изменения параметров РН и скоростей обработки запросов на ЦП:

$$\lambda_1 = [0,120 \div 0,024]; \quad \lambda_3 = [0,080 \div 0,016]; \quad \lambda_5 = [0,180 \div 0,036];$$

$$q_2 = [6 \div 18];$$

$$q_4 = [1 \div 3];$$

$$q_6 = [3 \div 9].$$

$$\vartheta_{pi} = [5,0 \div 10,0].$$

Эти области зашифрованы на рис. 1 и рис. 2 различным образом для $T_{ж1}$ и n . Подводя итог исследований, можно утверждать о положительном результате апробации методики упрощенного поиска рабочей области и ее можно рекомендовать к использованию при подобном характере исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вагих М.А. Метод и средства автоматизации имитационного моделирования для оценки надежности характеристик сетей ЭВМ: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Гомель, 1996. — 22 с.
2. Максимей М.В., Левчук В.Д., Жогаль С.П. и др. Задачи и модели исследования операций: Учеб. пособие. — Гомель: БелГУТ, 1999. — Ч. 3: Технология имитации на ЭВМ и принятие решений. — 150 с.
3. Сукач Е.И. Автоматизация имитационного моделирования сетей ЭВМ: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Киев, 1995. — 22 с.