

Сравнивая полученные с помощью предложенного подхода значения $\tilde{\alpha}(m)$, $\tilde{n}(m)$ с результатами имитационного моделирования $\hat{\alpha}$, $\hat{n}$, можно судить о применимости этого подхода для анализа последовательного критерия отношения правдоподобия и о его преимуществах перед оценками Вальда α_0 , n_0 .

Автор признателен студенту факультета прикладной математики и информатики Д.В. Кишилову за помощь в проведении имитационного моделирования для получения значений $\hat{\alpha}$, $\hat{n}$ в таблице.

Исследования поддержаны Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований, проект № Ф99М-108.

1. Вальд А. Последовательный анализ. М., 1960.
2. Ширяев А. Н. Статистический последовательный анализ. М., 1976.
3. Bather J. Decision Theory: An introduction to dynamic programming and sequential decisions. New York, 2000.
4. Харин А. Ю. // Математические методы в финансах и эконометрика. Мн., 2000. С. 188.
5. Абрамович М. С., Галинский В. А., Харин А. Ю. и др. // Компьютерный анализ данных и моделирование. 1998. Вып. 5. Ч. 3. С. 13.
6. Айвзян С. А. // Теория вероятностей и ее применения. 1959. № 4. Т. 1. С. 86.
7. Ширяев А. Н. Вероятность. М., 1980.
8. Кемени Дж., Снелл Дж. Конечные цепи Маркова. М., 1970.

Поступила в редакцию 22.12.2000.

Харин Алексей Юрьевич – кандидат физико-математических наук, ассистент кафедры теории вероятностей и математической статистики.

УДК 681.518:681.3.016

О.М. ДЕМИДЕНКО

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА И РАБОЧЕЙ НАГРУЗКИ НА ЛОКАЛЬНУЮ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНУЮ СЕТЬ

Principles for organization and creation of a conceptual model of computing components interaction with a working load have been suggested. Methods for the complex application for the investigation of computing and a working load parameters in local computing net units is described.

Исследованиям вычислительного процесса (ВП) посвящено много работ [например, 1, 2], в большинстве которых используется аппарат теории массового обслуживания (ТМО) для изучения сетевых аспектов организации обработки информации в локальных вычислительных сетях (ЛВС). Проблема же организации ВП при заданной рабочей нагрузке (РН) на узлах ЛВС уделяется недостаточно внимания в силу того, что необходимо рассматривать ВП на высоком уровне детализации, а это не позволяет применять аналитические методы моделирования. Данное обстоятельство определило актуальность разработки методики исследования параметров ВП и РН на узлах ЛВС и средств ее реализации.

1. Принципы формализации и построения концептуальной модели взаимодействия компонентов ВП и РН

Рабочая нагрузка представляет собой поток задач, каждую из которых можно представить в виде графа $GRPM_{ij}$, где i – номер типа пользователя,

j – номер типа обработки, узлами которого являются программные модули (PM_{ij}), а дуги определяют возможные передачи управления от ОС Windows на PM_{ij} . Для задания динамики использования запросами пользователя i -го типа ресурса центрального процессора (CPU) рабочих станций используются две матрицы: MP_{ikj} , элементы которой определяют вероятности перехода с k -го на j -й ПМ в запросах i -го типа; $MF_j(t_{kj})$ – элементы этой матрицы задают функции распределения длительностей использования ресурса CPU в задачах пользователя i -го типа. Начало процесса выполнения PM_{ij} определяется вектором вероятностей (P_{0i}), а длина последовательности PM_{ij} (n_j) замеряется в ходе натурных экспериментов (НЭ). Использование же ресурсов информационной базы данных (ИБД) запросами PM_j описывается графом $GRBD_j$. Для описания этого графа достаточно указать значения компонентов матриц: Mq_{jls} – вероятностей запросов PM_{ij} s -го модуля ИБД при условии, что перед этим использовался l -й модуль ИБД; $MF_j(V_{ls})$ – функций распределения объема ресурса жесткого диска (HDD) s -м модулем ИБД при условии предыдущего использования HDD l -м модулем ИБД по запросам PM_{ij} . Начало выбора модулей ИБД определяется вектором вероятностей (q_{jl}), а длина последовательности этих модулей – параметром (α_{ij}), зависящим от типа пользователя i и типа PM_j . На рис. 1 представлен пример взаимосвязи $GRPM_{ij}$ и $GRBD_j$. В основу описания динамики их взаимодействия положены полумарковские представления этого процесса. Поэтому запросы на обслуживание i -го пользователя реализуются двухступенчатым взаимодействием вложенных друг в друга графов.

Основным параметром, описывающим характер воздействия РН на узел ЛВС, является интенсивность поступления запросов пользователей i -го типа (λ_i). Таким образом, состав и структура РН на узел ЛВС описывается вектором параметров X_1 , который состоит из следующих групп компонентов с соответствующими характеристиками:

- использования ресурса CPU рабочих станций (MP_{ikj} , $MF_j(t_{kj})$, P_{0i} , n_j)= $GRPM_{ij}$;
- использования распределений ИБД (Mq_{jls} , $MF_j(V_{ls})$, q_{jl} , λ_{ij})= $GRBD_j$;
- интенсивностей поступления запросов пользователей (λ_i ; $i=1, 3$).

Различаем следующие группы параметров ВП: наличные ресурсы оперативной памяти ($V_{OЗУ}$), размеры ИБД ($V_{ИБД}$), скорость обработки информации на CPU (ϑ_{CPU}), скорость доступа к данным на жестком диске (ϑ_{HDD}), длительность режима исследования ВП ($T_{ис}$), тип используемой версии ОС Windows (TOS). Все они являются компонентами вектора откликов X_2 :

$$X_2=(\vartheta_{CPU}, V_{ИБД}, TOS, T_{ис}, V_{OЗУ}, \vartheta_{HDD}).$$

Качество ВП будем характеризовать вектором откликов Y_1 , компонентами которого являются коэффициенты загрузки основных ресурсов узла ЛВС:

$$Y_1=(\eta_{CPU}, \eta_{HDD}, \eta_{MEM}, \eta_{VID}, \eta_{NET}),$$

где η_{CPU} , η_{HDD} , η_{MEM} , η_{VID} , η_{NET} – коэффициенты использования процессора, жесткого диска, оперативной памяти, видеосистемы, сетевого адаптера соответственно.

Дополнительными характеристиками качества ВП являются показатели сбалансированности загрузки компонент ЛВС в динамике обработки информации на узле ЛВС:

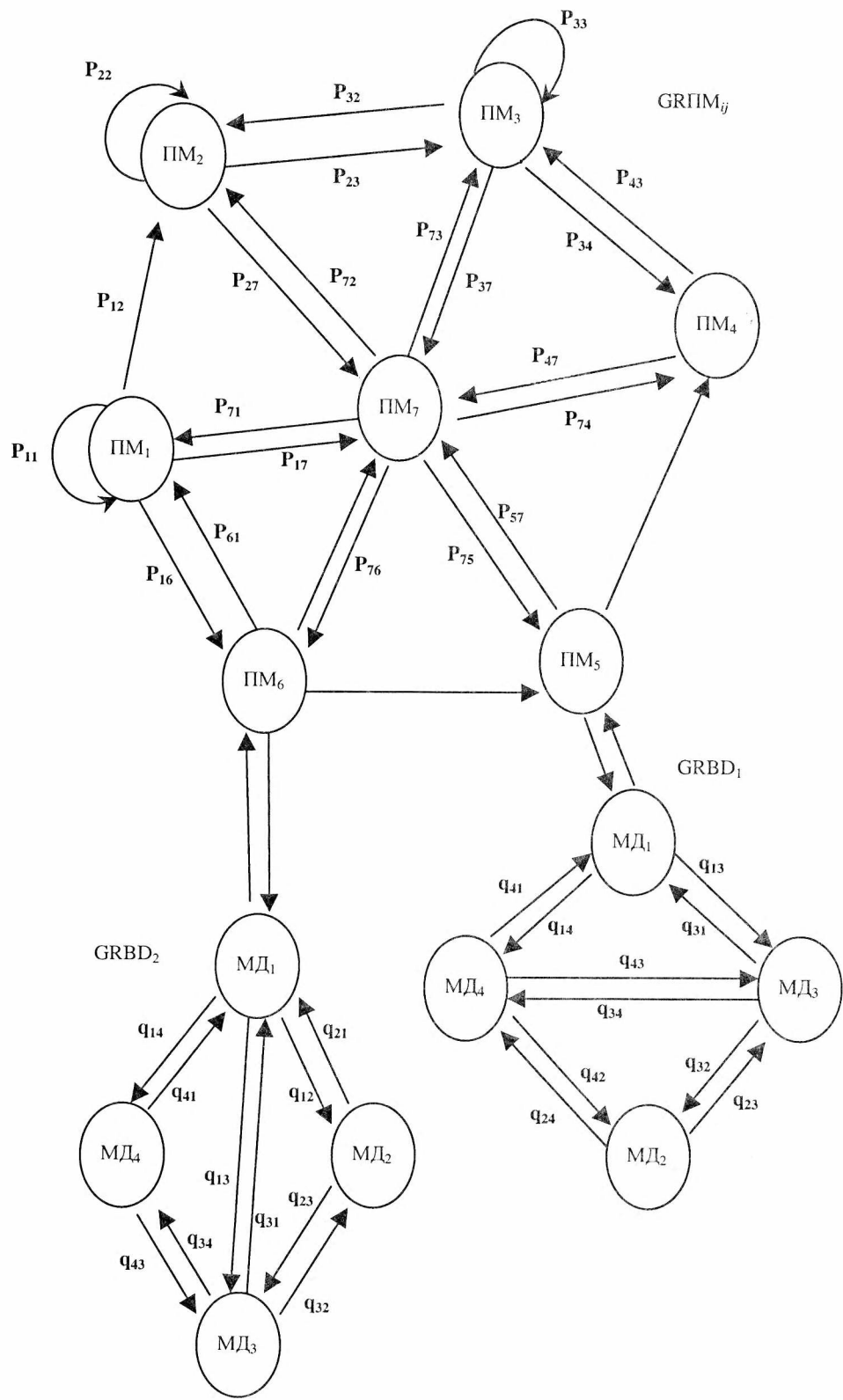


Рис. 1. Пример взаимосвязи графов $PH\ GR\Pi M_{ij}$ и $GRBD_i$

- $l_{Oчl}$, $T_{Oжl}$ – средняя длина и время ожидания запросов пользователей в очереди к l -у ресурсу узла ЛВС;
- $\gamma_{Oчl}$ – процент количества запросов пользователей, побывавших в очереди, от общего числа запросов, использовавших l -й ресурс ЛВС.

Все эти показатели являются компонентами вектора откликов Y_2 :

$$Y_2 = (l_{Oчl}, T_{Oжl}, \gamma_{Oчl}, l=1, a),$$

где a – количество ресурсов на некотором узле ЛВС.

Третью группу откликов концептуальной модели представляет вектор качества обслуживания пользователей:

$$Y_3 = (T_{ж1}, T_{ж2}, T_{ж3}),$$

где $T_{ж1}$, $T_{ж2}$, $T_{ж3}$ – длительности обслуживания узлом ЛВС запросов пользователей, работающих в фоновом, диалоговом и транзитной передачи данных в узле ЛВС режимах соответственно.

Исходя из кибернетического подхода к исследованию сложных систем, на рис. 2 представлено графическое изображение концептуальной модели функционирования узла ЛВС.

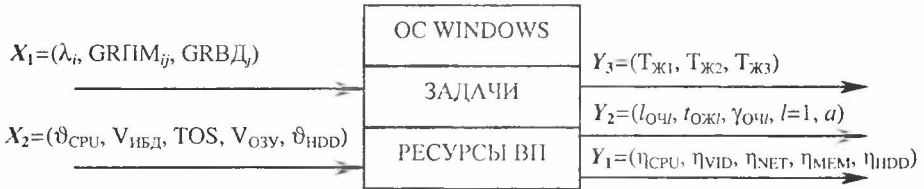


Рис. 2. Концептуальная модель функционирования узла ЛВС

2. Инструментарий определения параметров концептуальной модели

Приведенные параметры концептуальной модели ВП и РН необходимо либо измерить в ходе НЭ, либо задать экспертным путем для организации имитационного эксперимента (ИЭ). Поскольку отсутствовали стандартные средства автоматизации НЭ и ИЭ, то в Гомельском государственном университете им. Ф. Скорины был разработан программно-технологический комплекс исследования (ПТКИ) параметров ВП и РН на узлах ЛВС. Состав, структура и технологические характеристики системы мониторинга (SYSMON) из ПТКИ даны в [3]. Остановимся только на некоторых дополнительных компонентах ПТКИ, имеющих важное значение для изложения методики исследования параметров ВП и РН на узлах ЛВС. Структурно ПТКИ включает в себя систему моделирования MICIS [4], обеспечивающую автоматизацию построения ИМ; процедуры обработки данных в среде MS Excel; подсистемы параметризованных имитационных моделей для построения ИМ ВП и РН (COMPON); подсистемы исследования свойств ИМ ВП и РН (ISPIM); библиотеки готовых ИМ ЛВС (LIB.IMLVS); информационной базы данных; подсистему мониторинга параметров ВП и РН на реальных узлах ЛВС (SYSMON); подсистему постановки и управления натурным экспериментом на ЛВС (MODLTEST); подсистему обработки, анализа и отображения журналов статистики о поведении компонентов узла ЛВС (LOGVIEW); библиотеки процедур принятия решения (RECHEN).

3. Методика исследования с помощью ПТКИ параметров ВП и РН на узлах ЛВС

Методика исследования параметров ВП и РН на узлах ЛВС с помощью ПТКИ реализуется через следующую последовательность этапов. Рассмотрим последовательность действий в ходе реализации каждого этапа.

На **этапе 1** SYSMON подключается в операционную среду ОС Windows, при этом устанавливается режим накопления статистики в ИБД ПТКИ. Затем анализируется операционная обстановка в узлах ЛВС. На этой основе принимается решение о целесообразности проведения адаптационных работ ВП под РН на узлы ЛВС. Поскольку интенсивности запросов пользователей (λ_i) могут меняться в широких пределах, то задача адаптации должна решаться в условиях неопределенности с использованием классических критериев принятия решений.

На **этапе 2** происходит обработка данных натурального неуправляемого эксперимента (ННЭ) и выделение классов пользователей, обладающих типовыми запросами ресурсов ЛВС. Эта информация необходима для последующего построения конкретных вариантов ИМ РН. В соответствии с предложенной концептуальной моделью использования ресурсов ВП запросами пользователей РН представляется совокупностью полумарковских моделей, определяющих алгоритмы поведения пользователей узлов ЛВС.

На **этапе 3** реализуется управляемый натурный эксперимент (УНЭ) с реальной ЛВС. С помощью MODLTEST ПТКИ задается постоянная структура РН. При этом возможны модификации первой компоненты вектора X_1 (λ_i) и различные варианты состава ресурсов ЛВС (векторы X_2). Предполагается, что обобщенный отклик узла ЛВС W_{rh} при r -й комбинации значений параметров ВП $X_2=(TOS_r, V_{MEMr}, \vartheta_{CPUr}, \vartheta_{HDDR}, T_{ICr})$ и h -й комбинации параметров РН (λ_{ih}) является аддитивной функцией, значения которой вычисляются по статистикам ST_k , измеренным с помощью SYSMON ПТКИ. Заметим, что в ходе исследования остаются неизменными остальные компоненты вектора X_1 ($GRPM_{ij}, GRBD_j$) для всей серии натуральных управляемых экспериментов.

Векторы откликов Y_1 и Y_2 объединим в один. Предполагается, что такие компоненты вектора Y_1 , как ($\eta_{MEM}, \eta_{VID}, \eta_{NET}$), и все компоненты вектора Y_2 являются второстепенными для решения задач по предлагаемой методике. Они используются при решении других задач. В частности, по Y_2 определяются узкие места в ВП. Поэтому для данной методики используется объединенный вектор

$$Y_0=(\eta_{CPUr}, \eta_{HDDR}, T_{Ж1r}, T_{Ж2r}, T_{Ж3r}).$$

В его состав вошли два типа компонент. Коэффициенты загрузки оборудования (η_{CPUr}, η_{HDDR}) необходимо максимизировать, изменяются они в диапазоне $[0, 1]$. Время обслуживания узлом ЛВС запросов пользователей ($T_{Ж1r}, T_{Ж2r}, T_{Ж3r}$) желательно минимизировать. Кроме того, они обычно меняются в диапазоне большем 1. Это обстоятельство требует операции приведения компонент к одному типу и диапазону их изменения. Операция приведения к одному типу состоит в том, чтобы сформировать обратные величины ($Z_i, i=\overline{1, 3}$) от компонент ($T_{Жi}, i=\overline{1, 3}$) по формуле:

$$\rho_i = \frac{1}{T_{Жi}}, i=\overline{1, 3}. \quad (1)$$

Далее необходимо привести ρ_i к диапазону их изменения $[0, 1]$:

$$Z_i = \rho_i / \rho_{Mi}, \quad (2)$$

где $\rho_{Mi} = \max_r \rho_i$.

В результате формируется вектор откликов одинакового типа. Можно искать вариант r_0 , у которого компоненты вектора максимальны и изменя-

ются на одном и том же интервале $[0, 1]$. Далее предлагается операция вычисления обобщенного отклика (W_r) с помощью весовых коэффициентов важности для исследователя одних компонентов над другими. Свертка вектора

$$Y_{0r}^* = (\eta_{CPUr}, \eta_{HDDR}, Z_1, Z_2, Z_3)$$

к скаляру W_r по формуле:

$$W_r = \delta_1 \eta_{CPUr} + \delta_2 \eta_{HDDR} + \delta_3 Z_1 + \delta_4 Z_2 + \delta_5 Z_3,$$

где $0 \leq \delta_k \leq 1$; $k = \overline{1, 5}$; $\sum_{k=1}^5 \delta_k = 1$.

Состав вектора $(\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4, \delta_5)$ назовем стратегией. Возможно любое число стратегий (st_h), поэтому из W_r можно получить множество обобщенных показателей W_{rh} (здесь h – номер стратегии свертки вектора W_r).

Однако мы ограничимся шестью наиболее типовыми: равновероятная важность значений весовых коэффициентов; первостепенная важность загрузки ресурсов оборудования CPU и HDD; качество обслуживания диалоговых пользователей узла ЛВС; определяющая важность загрузки CPU рабочих станций; загрузка жесткого диска узла ЛВС; сбалансированный компромисс между качеством обслуживания диалоговых запросов и использованием оборудования узла ЛВС.

Выбор рационального состава ресурсов ЛВС для разных интенсивностей запросов пользователей осуществляется на основе процедур, реализующих классические критерии принятия решений в условиях неопределенности и риска [4].

Данная методика нахождения рационального варианта параметров ВП при выбранной структуре ИБД ЛВС и имеющаяся РН на входе узла ЛВС одинакова для НЭ и ИЭ. Если возможностей НЭ недостаточно для адаптации ВП под РН, то исследования продолжаются на этапах 4 и 5.

На **этапе 4** создается новая имитационная модель ИМ ВП и РН на узел ЛВС, если в библиотеке LIB.IMLVS таковая отсутствует. Для этой цели с помощью технологических возможностей СМ MICIC [4] ПТКИ реализуется новая ИМ ВП и РН на узел ЛВС, которая затем каталогизируется в LIB.LVS. При задании параметров имитационной модели (ИМ) используются результаты этапа 2 и методики применения СМ MICIC. С помощью библиотеки ISPIM проводится следующая последовательность технологических операций по созданию новой ИМ ЛВС: оценка точности имитации конкретного варианта ИМ ЛВС, определение длины переходного периода имитации в ИМ; оценка чувствительности откликов ИМ к вариациям параметров ИМ ЛВС; проверка устойчивости процесса имитации. Затем осуществляется верификация алгоритма ИМ ЛВС и проверяется адекватность ИМ ЛВС. Этой процедурой завершается этап создания нового варианта ИМ ЛВС, которая затем каталогизируется в библиотеку параметризованных ИМ ВП и РН на узел ЛВС. По результатам каждого ИЭ в ИБД ПТКИ накапливается статистика имитации. Обработка этой статистики средствами ПТКИ используется на следующем этапе.

Этап 5 ИМ ВП и РН на ЛВС используется для выбора рационального состава параметров оборудования и программного обеспечения узла ЛВС. Согласно плану ИЭ проводится серия исследований вариантов организации ВП и РН. Расчеты значений обобщенного отклика W_{sh} ведутся по формулам (1)–(3). Результатом данного этапа является рациональный состав ресурсов,

обеспечивающий максимум W_{sh} для каждого из узлов ЛВС. Выбрав рациональный состав ресурсов узлов ЛВС, переходят к имитации ВП во всей ЛВС, объединяющей в своем составе несколько узлов.

Основными параметрами выступают характеристики структуры ИБД (STR) и размеров ИБД ($V_{ИБД}$). Варьируя составом использования распределенной ИБД (Mq_{jl} , $MF_j V_{ls}$, q_{jl} , α_{ij}), ищут такой состав параметров ($V_{ИБД}$, $V_{ОЗУ}$, ϑ_{CPU} , ϑ_{HDD} , TOS), который обеспечивает максимум W_{sh} , вычисляемый по формулам (1)–(3).

4. Апробация методики и средств исследования параметров ВП и РН на ЛВС

Апробация методики и средств исследования ВП проводилась в ГГУ им. Ф. Скорины. Для проведения НЭ использовалось 13 вычислительных комплексов различных конфигураций, которые были объединены в общую ЛВС в рамках одного домена сети Ethernet. Суммарное время сбора статистики при исследовании ВП в узле ЛВС составляло 300 ч машинного времени, погрешность измерений – 3 %. Были установлены следующие особенности режима обслуживания ОС Windows запросов пользователей:

1. Имеет место нелинейный (близкий к экспоненте) характер времени выполнения ПМ_j ($t_{ОБСj}$) от $V_{ОЗУ}$.

2. При росте скорости CPU (ϑ_{CPU}) $t_{ОБСj}$ нелинейным образом (экспоненциально) снижается. Однако коэффициент растяжения временной диаграммы ВП меняется только на 8 %.

3. Накладные расходы ВП в ОС Windows 98 вдвое превышают расходы ресурса CPU в ОС Windows 95 и Windows ME. Поэтому для класса вузовских пользователей Windows 95 является наименее эффективной.

На этапе 3 управляемый натурный эксперимент состоял из 24 вариантов. Варьировались три параметра: TOS, $V_{ОЗУ}$, ϑ_{CPU} . Была установлена несущественность влияния параметра $V_{ОЗУ}$ на величину W_{sh} (не более 5 % отклонений). Установлено, что при одинаковом времени обслуживания запросов в среде ОС Windows 98 ресурс CPU меньше всего занят. Однако время, потерянное на простоях CPU, ОС Windows 98 компенсирует за счет более оптимальной работы с жестким диском ЛВС. Наблюдалась существенная чувствительность узла ЛВС к типу выбранной стратегии вычисления обобщенного показателя W_{sh} . При этом значение W_{sh} может меняться практически в два раза. Однако к типу критериев оптимальности W_{sh} чувствительность ЛВС оказалась незначительной в силу малого числа составляющих вектора откликов.

На этапе 5 ставилась задача выбора такого состава параметров ИМ, которые дают максимум отклика W_{sh} по каждой из шести стратегий принятия решений. В качестве переменных изменялись параметры: $V_{ИБД}$, λ_2 , ϑ_{CPU} . Число откликов в ИЭ было увеличено (η_{CPU} , η_{HDD} , $T_{ж1}$, $T_{ж2}$, $T_{ж3}$). Параметры λ_2 и ϑ_{CPU} варьировались на 5 уровнях значений, а параметр $V_{ИБД}$ менялся на трех типовых уровнях изменения размеров ИБД. В ходе ИЭ было установлено следующее:

1. Отклики ($T_{ж1}$, $T_{ж2}$, $T_{ж3}$) практически не зависят от λ_2 в области сбалансированной РН с ВП. Зато от параметра ϑ_{CPU} эти отклики зависят весьма существенно.

2. Установлена слабая зависимость всех откликов ИМ ВП и РН от размера ИБД ($V_{ИБД}$) для университетского класса запросов РН к узлам ЛВС.

Результаты адаптации ВП под РН на узлах ЛВС с помощью ИЭ позволили сделать следующие выводы:

самой чувствительной к изменениям W_{rh} оказалась стратегия, когда исследователь придает доминирующее значение обслуживанию заказов диалогового пользователя;

ИЭ подтверждает вывод НЭ, что по критерию Севиджа следует оценивать качество ВП с точки зрения администрации ЛВС, а все остальные критерии годятся для оценки качества узла ЛВС с точки зрения пользователей ЛВС.

Заметим, что в состав этих критериев входят: усредненный, оптимистический, пессимистический, нейтральный, Севиджа.

* * *

Рассмотренная методика исследования параметров ВП и РН на узлах ЛВС является единой для НЭ и ИЭ. Чем больше параметров модернизируется, тем более высокая эффективность применения этой методики. Приведенные здесь результаты апробации методики и средств ее реализации показали их эффективность и малую ресурсоемкость исследований. Поэтому они имеют перспективу развития особенно для малоресурсных информационных предприятий, когда снижение дефицитности ресурсов узлов ЛВС играет существенную роль в организации обработки информации.

1. Дадонов А.Г. Анализ отраслевых информационно-вычислительных сетей. Л., 1990.

2. Зайченко Е.Ю. Анализ и синтез структуры глобальных вычислительных сетей. Киев, 1998.

3. Демиденко О.М., Ворусв А.В., Быченко О.В. и др. // Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2001. Т. 2. № 3. С. 72.

4. Демиденко О.М., Максимей И.В. Проектное моделирование вычислительного процесса в локальных вычислительных сетях. Мн., 2001.

Поступила в редакцию 09.11.2001.

Демиденко Олег Михайлович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизированных систем обработки информации ГГУ им. Ф. Скорины.