

УДК 681.518:681.3.016

О. М. Демиденко

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины
ул. Советская, 104, 246699 Гомель, Беларусь

Натурные эксперименты при исследовании вычислительного процесса и рабочей нагрузки на узел локальной вычислительной сети

Установлена необходимость проведения регулярных натурных экспериментов при эксплуатации локальной вычислительной сети (ЛВС) на крупных информационных предприятиях. В качестве инструмента измерения параметров вычислительного процесса (ВП) и рабочей нагрузки (РН) на ЛВС предложено использовать систему мониторинга (SYSMON). Обсуждены особенности реализации алгоритма оценки производительности ЛВС и средств представления результатов мониторинга. Изложены методика измерения параметров ВП и РН на узлы ЛВС и методика постановки натурных экспериментов с помощью SYSMON. Обсуждены результаты апробации этих методик в условиях Гомельского госуниверситета им. Ф. Скорины. Показана перспектива развития средств мониторинга и методик исследования ВП и РН на узлах ЛВС.

Ключевые слова: методика измерения параметров вычислительного процесса, рабочая нагрузка.

Введение

В крупных информационных предприятиях (ИПР), обслуживающих постоянный состав пользователей, обработка запросов на обслуживание реализуется в рамках локальных вычислительных сетей (ЛВС). Несмотря на практически постоянный состав пользователей, рабочая нагрузка (РН) на ЛВС постоянно меняется. Поэтому ИПР вынуждены периодически подстраивать свои ресурсы и технологию обработки запросов пользователей под требования РН. К сожалению, современные ЛВС не обеспечивают ИПР необходимым инструментарием исследования и адаптации вычислительных процессов (ВП) в ЛВС под РН. Более того, производители программного обеспечения (ПО) заинтересованы в монопольном владении таким инструментарием и за счет этого в получении дополнительных заказов от ИПР на проведение исследовательских и адаптационных работ. Даже если ИПР

© О.М. Демиденко

сможет достать средства исследования и адаптации ВП под РН, то отсутствие широко известных методик постановки натуральных экспериментов (НЭ) на ЛВС ставит перед руководством ИПР неразрешимую задачу. Зачастую ИПР не имеет средств на финансирование адаптационных исследований и терпит убытки от неэффективной организации ВП на ЛВС. Поэтому задача разработки универсального инструментария и методики его использования в ходе НЭ является актуальной. Существующие подходы к постановке НЭ [1, 2], использующие средства мониторинга ориентированы на устаревшую вычислительную технику (ВТ) и соответствующее ей ПО. В работе [3] предложена система мониторинга (SYSMON), использующая современные информационные технологии (ИТ). В данной работе излагается методика использования SYSMON при управляемых и неуправляемых НЭ.

Особенности реализации алгоритма оценки производительности ЛВС

Как известно из [3], SYSMON постоянно ведет журнал о характере и длительности выполнения системных операций. Поскольку операция формирования журнала работы системы является трудоемкой, то сбор статистики не проводится на каждом компьютере ЛВС, а осуществляется коррекция журнала в соответствии с разницей производительности между эталонной и исследуемой системами. Для решения этой задачи была разработана программа корректировки производительности системы. В качестве единиц измерения были выбраны специальные переменные. Производительность реальной ЛВС определяется с помощью разработанной системы тестов. При этом используется системный 64-разрядный счетчик, позволяющий отслеживать интервалы времени с точностью до 0,8 мкс. Причем, каждый такой тест выполняется в отдельном потоке с приоритетом реального времени. Длина этого теста невелика, что обусловлено необходимостью исключения существенного влияния работы SYSMON на результаты теста. Процедура теста написана на языке ассемблера и состоит из двойного цикла, выполняющего последовательность стандартных действий. Перед началом и по завершении теста фиксируются значения системного счетчика времени. Затем количество операций делится на время выполнения теста и таким образом определяется производительность центрального процессора (CPU).

Другой тест позволяет измерять производительность диска. Определяется скорость чтения и скорость записи данных на диск. Из-за механизмов кэширования результаты, получаемые при определении скорости диска, могут меняться от одного измерения к другому. Кроме того, сами результаты расчетов могут зависеть от размеров буфера, передаваемого за одну операцию. Поэтому программа оценки производительности позволяет экспериментально подобрать размер буфера, соответствующий наибольшей точности оценки производительности диска. Процедура теста вначале выделяет буфер для дискового обмена и создает временный файл, а затем выполняет в цикле операции записи с принудительным сбросом файлового буфера. В результате производительность диска определяется как величина, равная отношению объема переданных данных ко времени выполнения теста.

Измерение производительности памяти (MEM) реализуется следующим тестом, который выполняется в отдельном потоке с приоритетом реального времени. Перед его выполнением в невыгружаемой памяти выделяются два буфера одинакового размера. Процедура теста записана на языке ассемблера и состоит из двойного цикла, выполняющего операции строкового копирования блоков памяти. В итоге производительность MEM определяется как отношение объема переданных данных ко времени выполнения теста.

Измерение производительности видеосистемы реализуется путем оценки по нескольким критериям: скорость записи в видеопамять, скорость чтения из видеопамети, скорость рисования графических примитивов, скорость выполнения спрайтовых операций, скорость выполнения 3D-операций, максимально поддерживаемые разрешения и частоты развертки луча. Однако, под видеосистемой можно подразумевать не только видеокарту. Сюда же относятся: системная шина, по которой данные передаются на видеокарту; программа-драйвер, управляющая видеокартой. В качестве критерия производительности видеосистемы была выбрана оценка производительности графической оболочки ОС Windows, поскольку пользователя ЛВС не интересует скорость передачи информации по системной шине в видеопаметь. Для пользователя важна скорость обновления и перерисовки информации на экране. Программа системного мониторинга написана на языке Delphi. Она имеет открытый интерфейс, поддерживающий OLE Automation, что позволяет использовать ее в любых других средах программирования, включая Basic для Microsoft Word и Excel.

Одной из основных задач при разработке SYSMON являлось максимальное упрощение процесса проведения натурных экспериментов. Поскольку при сборе статистики необходимо было проводить серии тестов на различных конфигурациях оборудования со всевозможными вариантами сочетания параметров ЛВС, то необходимо было разработать унифицированный способ выполнения тестов с последующим сохранением результатов для их дальнейшей обработки. При обработке результатов могут потребоваться сложные статистические процедуры. Учитывая изложенное, было принято, что SYSMON должна иметь открытый программный интерфейс, что позволит использовать SYSMON в таких мощных математических приложениях как Microsoft Excel и MachCAD. Однако, не должна была исключаться и возможность применения SYSMON в любых других языках программирования, включая C, C++ и Visual Basic. Решение этой проблемы было обеспечено с помощью технологии COM. COM состоит из спецификаций для приложений и реализаций в форме стандартного API. Технология COM (фирмы Microsoft) решает проблему открытых интерфейсов двумя способами. По первому способу определяется стандартное представление кода в памяти, а по второму — стандартным образом определяется уникальная идентификация методов класса.

Итак, пакет программ оценки производительности ВП узла ЛВС состоит из двух частей: сервера автоматизации и контроллера автоматизации. Первая часть пакета представляет собой технологию использования COM, реализующую непосредственно методы определения производительности отдельных компонент системы. Программно эти тесты представлены в виде следующих методов исследования ВП в узле ЛВС: CPUtest; MemoryTest; DiskTest; VideoTest. Основная зада-

ча второй части пакета состоит в выполнении последовательности тестов, записи параметров системы и результатов в файл журнала. С помощью технологии COM данная задача решается следующей последовательностью действий: вызов процедуры создания объекта, затем уже использование методов тестирования. Дополнительные возможности пакета появляются при использовании технологии DCOM (распределенного COM). Например, можно выполнять централизованное тестирование компьютеров ЛВС в реальном времени.

Средство графического представления результатов мониторинга

SYSMON заносит сведения о работе пользовательских процессов в специальный журнал. Все сведения в журнале хранятся в двоичном формате и могут быть интерпретированы исследователем. В составе SYSMON имеется программа графического представления результатов моделирования. Она представляет возможность настройки SYSMON для следующих видов отображения данных.

1. В виде общего отчета: все сведения записываются вместе без детализации по отдельным процессам; в виде «трассы», где ВП отображается списком работавших процессов. По этой информации исследователь может судить об общей загруженности аппаратных составляющих узлов ЛВС и визуально проанализировать наиболее часто производимые передачи запросов на обслуживание с устройства на устройство.

2. В виде подробного отчета: сведения о каждом процессе записываются отдельной «трассой». Эти «трассы» процессов позволяют исследователю выделить процессы, являющиеся основными потребителями аппаратных ресурсов ЛВС, и таким образом определить постоянный класс задач, решаемых на данном узле ЛВС.

3. В виде отчета с черно-белым представлением данных, где процессы отличаются штриховкой блоков. Предназначен для вывода диаграммы переходов на черно-белую печать и на монохромном мониторе.

4. В виде отчета с треугольными метками, на котором можно отличить начало и завершение операций. Он позволяет исследователю определить число параллельных запросов на оборудование, порождаемых одним процессом и обслуживающихся одновременно.

5. В виде отчета с восьмью типами операций. Различаются следующие операции: чтения и записи на диск, чтения и записи в ИБД, находящейся в сети; асинхронные графические операции. С помощью этой информации исследователь может проводить более подробный анализ ВП в узле ЛВС. Графическое представление журнала может быть скопировано в буфер обмена с помощью команды «сохранить». Эта информация копируется графическим или текстовым редактором для последующего вывода на печать.

Методика измерения параметров РН и ВП в узлах ЛВС

SYSMON позволяет решать следующие задачи исследования ЛВС:

- 1) получение экспертной оценки операционной обстановки в ВП в узле ЛВС;
- 2) сбор статистики, характеризующей структуру РН на узел ЛВС;
- 3) классификация структур РН по потребляемым ресурсам;

- 4) использование результатов измерений для настройки РН на возможности конкретных узлов ЛВС;
- 5) построение библиотеки РН для последующего исследования поведения узлов ЛВС при изменении РН;
- 6) получение информации для запитки имитационных моделей (ИМ) ВП и РН на узлы ЛВС;
- 7) исследование динамики взаимодействия узлов ЛВС друг с другом;
- 8) выработка рекомендаций по адаптации ВП узла ЛВС под установившуюся РН.

Рабочий цикл решения этих задач включает в себя следующие этапы:

- 1) нахождение технологических характеристик SYSMON и оценка результатов мониторинга;
- 2) анализ операционной обстановки в реальном узле ЛВС;
- 3) адаптация ВП под РН на узел ЛВС по результатам натурального эксперимента (НЭ).

В каждом НЭ на ЭВМ предполагается реализация итеративной процедуры, включающей в себя стадии:

- подготовка исходной информации, модификация ОС Windows, планирование НЭ на ЭВМ;
- мониторинг параметров ВП и РН на узлы ЛВС в ходе серии НЭ с записью статистики измерений на внешний носитель и восстановление такой картины реализации ВП, какая была до постановки НЭ;
- экспресс-анализ первичной статистики параметров ВП и РН на узел ЛВС и принятие решения об окончании итеративного процесса исследований;
- вторичная обработка результатов мониторинга и формирование последовательности откликов ВП и РН (для каждого НЭ);
- комплексный анализ результатов НЭ и принятие решений о модификации ВП узла ЛВС или даже сегмента сети.

На первом шаге анализа журнала SYSMON выполняется преобразование записей о начале ($t_{НУС}$) и конце ($t_{КУС}$) работы устройств. Из всех типов событий возможных в системе формируются траектории из 9 типов операций. Все события сортируются по типам и выстраиваются последовательно в порядке возрастания времен их свершения. При разбиении времен использования CPU, длительности использования ресурсов CPU представляются в квантах, что позволит определить число прерываний (N_{INT}) обслуживания одного процесса другими процессами. На втором шаге анализа формируются данные по каждому из процессов по отдельности. Записи журнала разделяются и собираются в характерные траектории выполнения отдельных процессов. На третьем шаге формируется матрица переходов запросов пользователей на обслуживание для каждого из выделенных процессов. Размерность матрицы 9×9 . На пересечении l -ой строки с k -м столбцом матрицы частот Mn_{lk} формируется частота переходов от l -го к k -му ресурсу. Одновременно формируются гистограммы распределения времен обслуживания ($t_{ис\text{ рес } l}$), дробление квантов ресурса ($t_{ОБС\text{ рес } l}$), времен работы процессов ($t_{прj}$). На четвертом шаге формируется гистограмма распределения количества непрерывных квантов обслуживания процесса ($t_{ОБСпрj}$).

Структура ВП при функционировании SYSMON частично искажается. Степень искажения Δ SYSMON (накладные расходы на мониторинг) рассчитывается как отношение суммы всех интервалов работы SYSMON в течение сеанса НЭ к общей длительности сеанса. Поскольку для разных сеансов возможна различная степень искажения, то SYSMON формирует диапазон изменения ($\min \Delta$ SYSMON, $\max \Delta$ SYSMON) и среднее значение $\bar{\Delta}$ SYSMON. Для нахождения характеристики информативности мониторинга (Δ INF) используется статистика числа неидентифицированных процессов (Unkown). Отношение Unkown к общему числу процессов дает значение Δ INF_s для s-го сеанса НЭ. Имея выборку значений Δ INF_s, SYSMON определяет среднее значение и диапазоны его изменения (Δ INF, $\min \Delta$ INF, $\max \Delta$ INF).

Методика постановки натуральных экспериментов с помощью SYSMON

НЭ с помощью SYSMON проводятся как в режиме неуправляемого эксперимента (ННЭ), так и в ходе управляемого натурального эксперимента (УНЭ). Все эти эксперименты реализуются следующей последовательностью шагов.

Шаг 1. Анализ операционной обстановки в ВП реального узла ЛВС. Проводится он в режиме ННЭ. Этот эксперимент реализуется на системе, структура РН которой неизвестна и носит случайный характер. При этом монитор SYSMON резервирует 256 Кбайт памяти для хранения измеряемых статистик узла ЛВС ($V_{\text{MEM SYSMON}}$); снижает коэффициенты использования CPU и жесткого диска (HDD) на величину ($\eta_{\text{П CPU}}$ и $\eta_{\text{П HDD}}$); требует выделения монитору свободного дискового пространства (V_{HDFree}) для хранения журнала SYSMON. Обычно размер журнала линейно зависит от длительности сеанса мониторинга и интенсивности взаимодействия процессов с ресурсами при реализации ВП. В целях экономии V_{HDFree} применяется механизм сжатия журнала статистики.

После проведения классификации типа нагрузки, собранной во время сеансов ННЭ, эти сеансы классифицируются по признаку близости, который определяется по критерию «степень загруженности системы в момент организации мониторинга». Возможны также случаи обнаружения «стационарности» распределения РН (случай, когда происходила реализация на ЭВМ узлов одних и тех же задач в разные моменты времени).

При УНЭ можно считать РН установившейся, поскольку реализуются одни и те же типовые задачи, формируемые менеджером УНЭ MODELTEST в стандартном контексте служебных задач ОС при различных комбинациях значений параметров ресурсов узла ЛВС.

Шаг 2. Получение исходной информации для имитационного эксперимента (ИЭ). Для изучения характеристик реакции ЛВС на изменение параметров ВП и РН управляемый эксперимент не подходит. Его нагрузка случайна. Поэтому можно сделать вывод, что для исследования ЛВС в граничных состояниях необходим УНЭ. Для этой цели предлагается использовать программу-эмулятор РН (MODELTEST), которая использует ресурсы ЛВС соответственно тому распределению, которое необходимо в соответствии с планомерным экспериментом (ПЭ).

В качестве базы для организации УНЭ используется «псевдорабочая нагрузка», моделирующая действия программного модуля ($ПМ_j$). Каждый $ПМ_j$ функционирует в режиме непрерывного выполнения операций в контексте других задач ОС, длительность сеанса работы которых задается заранее.

При анализе журнала статистик, собранного SYSMON по окончании очередного сеанса УНЭ, переходим от табличного представления ВП (как это было в случае ННЭ) к параметрическому. Время жизни для каждого из выполняемых $ПМ_j$ ($\tau_{жj}$) является функцией, вычисляемой по матрицам частот переходов использования ресурсов M_{jk} , распределений времен использования каждого ресурса (T_j) и количества операций этого $ПМ_j$ (N_j). Варьируя значения этих переменных для создания условий «перегруженности» узлов ЛВС, можно исследовать граничные состояния по каждому из видов ресурсов.

Шаг 3. Управляемый натурный эксперимент для получения исходной информации для ИЭ. В ходе УНЭ необходимо измерить значения инвариантов РН. Для этого РН разбивается на 7 типов $ПМ_j$, которыми измеряются характеристики использования ресурсов узла ЛВС. Управляемыми факторами при постановке УНЭ являются: тип ОС, размер оперативной памяти, частота работы базовой шины узла ЛВС, значения множителей шины процессора. Дополнительным фактором считаем тип пользователя.

УНЭ для измерения инвариантов $ПМ_j$ производится методом независимого выполнения $ПМ_j$. В качестве управляемых факторов использовались: тип ОС, объем оперативной памяти узла ЛВС ($V_{ОЗУ}$), характеристика быстродействия узла ЛВС (определяется из сочетания базовой частоты шины персонального компьютера в узле ЛВС ($\nu_{БШ}$) и множителя CPU (M_{CPU}). Выбор указанных характеристик определяется реальными возможностями изменения технической базы ЛВС и возможностью приобретения разных типов ОС. Как правило, для большинства организаций, использующих ЛВС для обработки информации эти возможности ограничены. Для более богатых организаций состав управляемых параметров узла ЛВС можно расширить.

SYSMON может работать под управлением следующих ОС: Win95, Win98, WinME. При выборе размера ОЗУ необходимо иметь ввиду, что в современных материнских платах ПК устанавливается один тип памяти и НЭ с различными типами невозможны. Поэтому приходится ограничиваться только факторами объема памяти ($V_{ОЗУ}$). Наиболее распространенными у массовых ЛВС являются следующие значения $V_{ОЗУ}$: 32 Мб, 64 Мб, 96 Мб, 128 Мб. Для жесткого диска можно изменить параметры: объем HDD ($V_{МД}$) и среднее время доступа (ААТ). Поскольку данные характеристики неизменны для HDD, то в ходе НЭ они менялись парами. Для современных типов материнских план характерны следующие частоты базовой шины: 66 МГц, 75 МГц, 83 МГц и более. Скорость работы CPU определяется как результат умножения частоты базовой шины ПК на значение множителя CPU, поскольку внутренние операции CPU используют более быстрые виды памяти и конвейерную обработку данных. Это позволяет внутреннюю частоту работы CPU увеличить в несколько раз. Для ранних моделей ПК частота работы CPU совпадала с частотой базовой шины (что соответствует множителю, равному 1). В более поздних моделях ПК значение множителя может достигать до 7. Исходя из

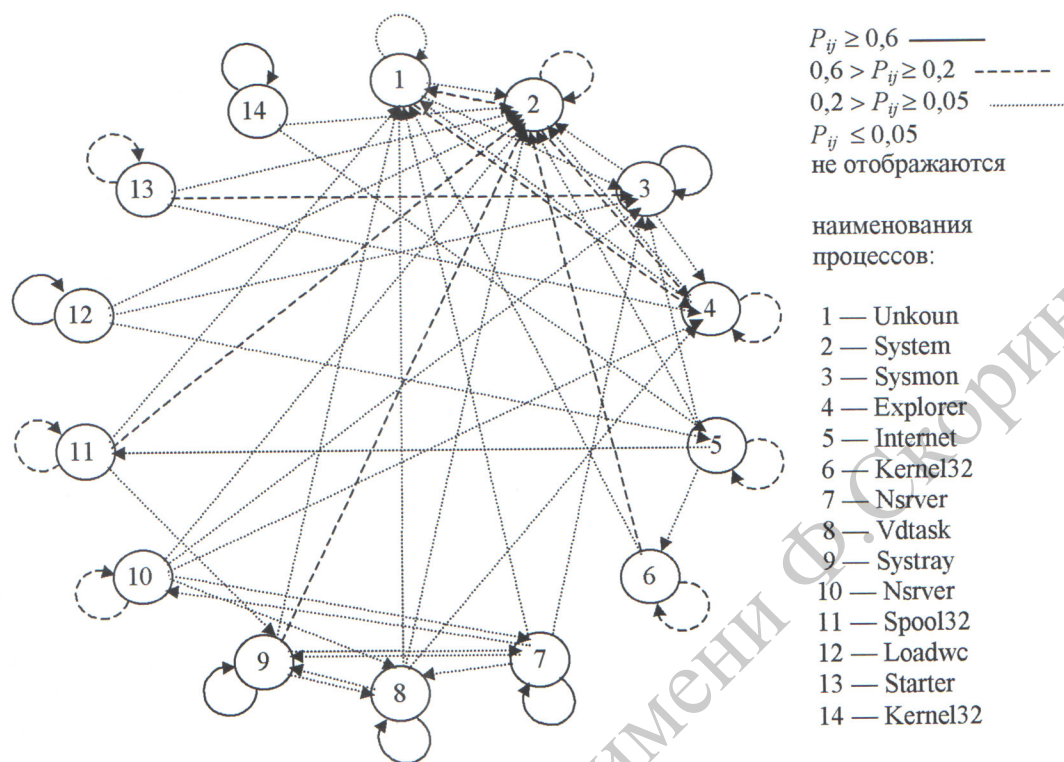
этого, к числу факторов УНЭ можно прибавить значение множителя частоты CPU.

Пара параметров λ_2 и $\tau_{\text{обд}}$ определяют характер поведения пользователя в диалоговом режиме. Для достижения равных условий при проведении НЭ в разных сеансах программа MODELTEST генерирует запросы пользователя с постоянной интенсивностью λ_2 для всех опытов и с постоянным значением времени обдумывания результатов, что будет соответствовать проведению НЭ для одного типа пользователя. Характеристики фоновых и транзитных задач также поддерживаются постоянными для создания одинаковой операционной обстановки в ОС при проведении сеансов УНЭ.

Результаты проведения натуральных неуправляемых экспериментов

Основной целью ННЭ являлось получение графа передачи управления между процессами, рожденными РН на узел ЛВС. На рисунке представлен граф, полученный для коротких сеансов работы пользователей, с помощью которого можно анализировать структуру РН, характерную для пользователей, работающих короткими сеансами. Здесь отражены переходы от процесса к процессу для разных вероятностей соответствующими видами линий. Переходы, имеющие вероятность перехода $P_{ij} \leq 0,05$, на рисунке не отображены. Были получены средние времена работы процессов, изображенных на рисунке. Оказалось, что чем меньше времени ВП занимал l -й процесс ($l = \overline{1,14}$), тем более вероятным было выделение ОС этому же процессу следующего кванта времени CPU (как наиболее редко вызываемому). Этим объясняются циклы процессов самого на себя. Подтвердилось, что ОС Windows95 распределяет ресурсы по механизму приоритета удовлетворения запросов вновь созданного процесса или процесса, который длительное время не обслуживался ОС. Соответственно у системных процессов и процессов, постоянно входящих в состав РН, вероятность переходов $\leq 0,05$. Первые четыре процесса практически связаны со всеми процессами из-за их системного характера или постоянного их нахождения в составе РН.

Отметим, что все повторные старты процессов регистрируются SYSMON как отдельные альтернативные процессы. Поэтому с помощью подсистемы LOGVIEW можно объединить все эти подсеансы работы одинаковых процессов в один тип. Чем больше длины сеанса мониторинга, тем больше количество элементов РН будет присутствовать в графе. Случайные связи не будут представлены на рисунке, а рабочие станут ярко выраженными. Анализ этого графа позволяет утверждать, что SYSMON достоверно отображает динамику взаимодействия процессов в ОС. Имея матрицу вероятностей переходов, полученную в результате ННЭ, сформулировав табличные функции распределения времен нахождения в каждом состоянии, возможно дальнейшее исследование динамики развития ВП аппаратом полумарковских процессов либо аналитически (если длительности процессов имеют экспоненциальное распределение), либо на имитационных моделях теории массового обслуживания (когда тип распределений задан табличным образом).



Структура РН, полученная в ходе ННЭ.

Заключение

Предложенная методика постановки НЭ с помощью SYSMON имеет перспективу развития. В работе отражены результаты апробации методики при ННЭ. Методика была апробирована и для случая УНЭ. Но результаты апробации имеют частный характер и зависят от ограниченных возможностей университетских условий. Поэтому мы ограничились приведением результатов апробации ННЭ. Низкие же накладные расходы на организацию мониторинга обеспечивают SYSMON и методике ее использования высокую практическую значимость для ИПР средней мощности.

1. Додонов А.Г. Анализ отраслевых информационно-вычислительных сетей. — Ленинград: Судостроение, 1990. — 360 с.
2. Демуськов А.Б. Организация мониторинга параметров вычислительного процесса в комплексах и сетях ЭВМ при натурных и имитационных экспериментах. Дисс... канд. техн. наук. — Гомель, 1999. — 207 с.
3. Демиденко О.М., Ворув А.В., Быченко О.В., Никишаев В.А. Система мониторинга параметров вычислительного процесса и рабочей нагрузки на узел локальной вычислительной сети // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2001. — Т. 3. — № 2. — С. 68-77.

Поступила в редакцию 29.05.2001