

УДК 681.3

**В. Д. Левчук, И. В. Максимей, С. Ф. Маслович,
В. И. Селицкий, В. В. Старченко, О. В. Быченко**
Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины
ул. Советская, 104, 246000 Гомель, Республика Беларусь

Имитация распределенной обработки информации в вычислительных системах и локальных вычислительных сетях

Предложено использовать для анализа вариантов организации распределенной обработки информации в вычислительных системах и локальных вычислительных сетях вероятностный граф реализации вычислительного процесса с явными связями типа вероятностных сетевых графиков.

Ключевые слова: вычислительный процесс, имитация, сетевой график, рабочая нагрузка, коэффициент загрузки.

Введение

Исследование изменений характеристик вычислительного процесса (ВП) при проектном моделировании вычислительных систем (ВС) и локальных вычислительных сетей (ЛВС) зачастую осуществляется с помощью аналитических моделей (АНМ). При этом ВП исследуется при изменении скоростей обработки информации (v_p) на центральном процессоре (ЦП), интенсивности поступления запросов пользователей i -го типа (λ_i), составляющих в совокупности рабочую нагрузку (РН) на узлах ЛВС [1, 2]. Используя аналитические зависимости, прогнозируется изменение коэффициентов загрузки ЦП ($\eta_{ЦП}$) и среднего времени обслуживания запросов РН ($T_{жi}$) операционной системой (ОС) и программами пользователей, составляющих в совокупности технологический процесс обработки информации (ТПОИ). Однако в АНМ трудно учесть наличие конкуренции за ресурсы ЛВС и, поэтому исследования ограничиваются верхними оценками ($\eta_{ЦП}$) и ($T_{жi}$). При последующем исследовании ВС и ЛВС этих оценок уже недостаточно, поэтому исследователи вынуждены использовать имитационные модели (ИМ). В работах [3–5] приведены примеры полностью имитационного подхода к исследованию динамики использования ресурсов ЛВС и результаты сравнения использования двух типов ИМ ВП и РН на ЛВС. Экспериментально показана возможность

© В. Д. Левчук, И. В. Максимей, С. Ф. Маслович, В. И. Селицкий, В. В. Старченко, О. В. Быченко

появления «эффекта мультиобработки» при моделировании ВП в ЛВС традиционными моделями СМО. Вместе с тем, простого перехода к ИМ уже недостаточно при исследовании вариантов организации распределенной обработки в ВС или ЛВС — очень часто необходима информация, требующая обработки по запросам пользователей и распределенная в различных узлах ЛВС. Поэтому ВП в ВС и ЛВС часто представляет собой непрерывную смену выполнения запросов на различных узлах ЛВС. При этом вероятностные ИМ ВП и РН на ЛВС с полумарковским характером процесса формирования запросов пользователей на ресурсы ЛВС [5, 6] уже не могут отобразить динамику появления запросов на ресурсы ЛВС, расположенные в различных узлах этой сети. Еще одна трудность исследования распределенной обработки в ЛВС заключается в том, что имитация представляет собой ресурсоемкую процедуру, и необходимы средства автоматизации основных этапов имитационного моделирования вариантов организации ВП в ЛВС. В данной статье авторами предлагается вместо полумарковской ИМ использовать вероятностный граф реализации вычислительного процесса (ВГВП), в котором явно отображается состав и структура взаимосвязей между процессами, рожденными запросами пользователей на различных стадиях реализации их исполнения в различных узлах ЛВС.

Формализация вычислительного процесса и рабочей нагрузки на ЛВС на основе аппарата сетевого планирования

Запросы пользователей, поступающие на обслуживание в ВС и ЛВС, можно разделить на следующие типы:

- 1) запросы на пакетную обработку на исследуемом s -м узле ЛВС;
- 2) запросы пользователей диалогового режима взаимодействия, находящиеся на исследуемом s -м узле ЛВС;
- 3) запросы на удаленную пакетную обработку на других узлах;
- 4) запросы пользователей удаленного диалогового режима;
- 5) запросы в узел ВС, означающие однократные сообщения от пользователей данного узла s к другим узлам ЛВС;
- 6) запросы пользователей s -го узла на многократное взаимодействие с пользователями из других узлов, сопровождаемые многократной передачей информации друг другу (в обе стороны) по сети.

Таким образом, РН, поступающая на ВС или ЛВС, принадлежит одному из таких типов или даже комбинации типов. Для исследования динамики взаимодействия РН с оборудованием ВС и ЛВС выделяются следующие типы ИМ по характеру обслуживания запросов пользователей.

1. Внутренняя. (Запросы обрабатываются только внутри узла). Для этой ИМ соответствуют первый и второй тип РН.
2. Внешняя. (Запросы обрабатываются на внешнем узле, т.е. всегда присутствует пересылка на другие узлы). Ей соответствуют третий, четвертый и пятый типы РН.
3. Смешанная. Запросы обрабатываются внутри узла, при этом всегда присутствует однократная или многократная пересылка результата выполнения k -й операции (конечного или промежуточного) на другой узел ЛВС.

Представим последовательность запросов пользователей на ресурсы узлов ЛВС уже не иерархической полумарковской ИМ, как это описано в работе [7]. Программные модули (ПМ_{*j*}), исполняемые на ЦП *j*-го узла ЛВС уже не имеют чисто вероятностную природу, а взаимосвязи между ПМ_{*ij*} детерминированы и обусловлены структурой ВГВП, хотя длительность выполнения ПМ_{*ij*} на ЦП_{*j*} являются случайными функциями. Поэтому ВГВП более точно отображают динамику распределенного использования ресурсов ЦП_{*j*} и жесткого диска (HDD_{*j*}). ВГВП представляет собой вероятностный сетевой график, в котором работами являются микротехнологические операции (МТХО_{*ij*}), а узлами — события (SOB_{*i*}). Параметрами МТХО_{*ij*} являются: расход ресурса ЦП ($\tau_{\text{ЦП}ij}$), расход ресурса HDD ($V_{\text{HDD}ij}$), стоимость выполнения операции (C_{ij}). При этом предполагаются известными функциональные зависимости между расходом ресурсов, стоимостью выполнения операции и временем их реализации:

$$\tau_{ij} = \varphi_1(\tau_{\text{ЦП}ij}, v_{\text{CP}j}), \tau_{ij} = \varphi_2(V_{\text{HDD}ij}, v_{\text{HDD}j}), \tau_{ij} = \varphi_3(C_{ij}, v_{\text{CP}j}, v_{\text{HDD}j}). \quad (1)$$

Таким образом, в терминологии сетевого планирования на ВГВП МТХО_{*ij*} соответствует действительным работам [8], тогда как они соответствуют программным модулям (ПМ_{*ij*}) при полумарковском представлении ВП в ЛВС [6]. В соответствии с классическим определением ВГВП каждое SOB_{*i*} обладает следующими статистиками его реализации: ранние и поздние сроки свершения событий (t_{pi} и t_{ni}); резерв свершения события (R_i). В отличие от традиционной технологии исследования сетевых графиков все параметры МТХО_{*ij*} являются случайными величинами, задаваемыми соответствующими функциями распределения $F_{1ij}(\tau)$, $F_{1ij}(V)$, $F_{1ij}(C)$. Считаем, что τ_{ij} являются основными параметрами МТХО_{*ij*}, а V_{ij} и C_{ij} — ее вспомогательными параметрами. С помощью задаваемых заранее структуры ВСВП и состава параметров МТХО_{*ij*} указывается местонахождение ресурсов в ЛВС, длительности и стоимости их использования и порядок их выполнения. Независимые друг от друга МТХО_{*ij*} выполняются параллельно, а зависимые МТХО_{*ij*} запускаются только при свершении SOB_{*i*} в моменты их запуска на имитацию (t_{pi}).

Определим понятие критического пути на ВСВП как последовательность {МТХО_{*ij*}}, выполняемых на ресурсах различных узлов ЛВС, определяющей общее время свершения *l*-го запроса пользователей ЛВС. Если характеристики выполнения МТХО_{*ij*} постоянны, то аппарат сетевого планирования позволяет определить все сроки свершения событий и резервы их выполнения (t_{pi} , t_{ni} , R_i). Затем по известной методике [7] рассчитываются статистики реализации МТХО_{*ij*}, раннее наличие (t_{pni}), позднее начало (t_{nni}), раннее окончание (t_{poi}), позднее окончание (t_{noi}). Сам критический путь реализации *s*-го варианта ВП также легко определяется, представляя при этом последовательность {МТХО_{*ij*}}, соединяющих SOB_{*i*} с нулевым резервом их свершения. Однако, на практике постоянство структуры ВГВП и параметров {МТХО_{*ij*}} является редким исключением. Вероятностный характер ВГВП и параметров {МТХО_{*ij*}} обуславливает необходимость постановки имитационных экспериментов (ИЭ) с использованием процедур Монте-Карло [8]. В таких случаях результат имитации выполнения ВГВП при одних и

тех же начальных значениях параметров ВП и РН на ЛВС также будет вероятностным.

Методика расчета и анализа параметров ВГВП на основе процедур Монте-Карло

Для решения проблем исследования вероятностных технологических процессов производства (ВТПП) с помощью ИМ был разработан программно-технологический комплекс имитации (ПТКИ) [9]. Применение ПТКИ ВТПП основано на изложенной формализации ВГВП и реализуется следующей последовательностью этапов.

Этап 1. Запись параметров МТХО_{ij}, входящих в ВСГ *l*-го типа запросов РН на ЛВС, в информационную базу данных (ИБД) ПТКИ. При этом происходит преобразование описаний МТХО_{ij} во внутреннее представление, контроль корректности описания ВСГ_{*l*}, вывод результатов этого контроля на дисплей для устранения ошибок в описании ВСГ_{*l*}. Взаимодействие ПТКИ с пользователем происходит на основе набора «меню» возможностей комплекса в режиме вопрос-ответ. В итоге, по завершении этого этапа синтаксические ошибки в ВСГ_{*l*} будут исправлены.

Этап 2. Расчет и анализ параметров ВСГ_{*l*} по методу Монте-Карло реализуется следующей последовательностью этапов.

2.1. На *s*-й реализации ВСГ_{*l*} ($s = 1, \dots, N$) разыгрываются все значения параметров МТХО_{ij} ($\tau_{ijs}, V_{ijs}, C_{ijs}$) с помощью соответствующих функций распределения $F_{1ij}(\tau), F_{2ij}(V), F_{3ij}(C)$. В результате реализуется *s*-я реализация ВСГ_{*l*} с детерминированными параметрами МТХО_{ij}.

2.2. Моделируется выполнение ВСГ_{*l*} в режиме прямого изменения модельного времени t_0 при вычислении ранних сроков свершения событий (t_{pis}). Одновременно с этим моделируется расход ресурсов системы (V_{ijs}) и стоимости выполнения (C_{ijs}) при реализации МТХО_{ij}. Для вычисления поздних сроков свершения событий (t_{nis}) используется имитация с инверсным характером изменения модельного времени t_0 .

2.3. Рассчитываются резервы свершения событий R_{is} и типовые статистики выполнения работ при реализации ВСГ_{*l*} ($t_{pnijs}, t_{nnijs}, t_{poijs}, t_{nnijs}$). Завершаются расчеты *s*-й реализации ВСГ_{*l*} по методу Монте-Карло нахождением критического пути (КРП_{*s*}) реализации *l*-го запроса РН на ЛВС.

2.4. В результате имитации выполнения *N* реализаций ВСГ_{*l*} в ИБД ПТКИ будут сформированы выборки значений параметров ВСГ_{*l*} для событий (t_{pis}, t_{nis}, R_{is}), для МТХО_{ij} $\{t_{pnijs}, t_{nnijs}, t_{poijs}, t_{nnijs}\}$, для критического пути $\{КРП_{sl}\}$. Таким образом, каждой *s*-й реализации ВСГ_{*l*} в этих выборках соответствуют *s*-е номера параметров событий, МТХО_{ij} и критических путей КРП_{*sl*}.

Этап 3. Оптимизация ВСГ_{*l*} по данным ИЭ реализуется следующей последовательностью шагов.

3.1. Формирование по выборкам математических ожиданий (Mz) и выборочных дисперсий (Dz). Здесь под *z* понимают обозначение перечисленных статистик свершения SOB_{*i*}, выполнение МТХО_{ij} и длины путей в ВСГ_{*l*}.

3.2. Осуществляется анализ КРП_{*l*}, представляющих собой последовательность чередования МТХО_{ij} и SOB_{*i*}, обладающих нулевым резервом времени их

свершения (R_{is}). В общем случае для N реализаций $ВСГ_l$ может существовать множество $\{КРП_l\}$, в котором только некоторые пары $(SOB_i, МТХО_{ij})$ различны, а остальные пары не отличаются друг от друга. Поэтому исследователю предоставляется диапазон реализации SOB_i , одновременно возникающих в $ВСГ_l$ в одно и тоже время t_0 при различных реализациях $\{КРП_l\}$ в $ВСГ_l$.

3.3. Путем статистической обработки статистик реализации $\{МТХО_{ij}\}$, $\{SOB_i\}$ и $\{КРП_l\}$ формируется граф критических путей (GRКРП_l) и оценки вероятностных значений коэффициентов напряженности $МТХО_{ij}$ [10]. При этом определяется список SOB_i , имеющих наибольшие резервы времени их свершения с высокой вероятностью. Из этого списка выбираются $МТХО_{ij}$ в качестве кандидатов для исключения из графа критических путей.

3.4. Если множество $\{КРП_l\}$ достаточно большое, то из него формируется GRКРП_l. Далее реализуется вторая итерация пока наиболее вероятного критического пути в ВГВП, когда вместо ВГВП исследуется уже GRКРП_l. После нескольких итераций число вероятных критических путей существенно сократится, и далее исследователь на основе анализа содержания ветвей оставшегося GRКРП_l может определить какая из них является наиболее вероятной.

3.5. Информация, сформированная на каждом шаге этапа 3, хранится в ИБД ПТКИ и может по запросу выводиться исследователю на экран дисплея в любом составе. Это позволяет исследователю более обосновано принять проектное решение в условиях неопределенности и риска.

3.6. Меняются параметры модифицируемых $МТХО_{ij}$, и осуществляется переход на выполнение этапа 1. При этом возможно сравнение результатов, полученных на предыдущей итерации ВГВП, и принимается решение о завершении имитации выполнения $ВСГ_l$ на ЛВС по методике, изложенной в работе [10].

Методика имитационного эксперимента распределенной обработки информации в ЛВС

Для имитации распределенной обработки информации в ЛВС предлагается использовать ПТКИ, реализующий транзактный способ представления структуры запросов РН l -го типа на ЛВС [9]. Для этой цели на входе ИМ узлов ЛВС генераторами транзактов (GEN_l) формируются информационные транзакты (TRIN), в телах которых находятся $ВСГ_l$ реализации ВГВП на ЛВС. Каждый GEN_l на входе j -го узла ЛВС с интенсивностью λ_l формирует TRIN, которые затем обслуживаются ИМ ВП в ЛВС. По информации, сосредоточенной в массиве параметров $МТХО_{ij}$, формируются запросы пользователей l -го типа на i -м узле ЛВС на ресурсы ЛВС. С помощью $ВСГ_l$ формируются последовательности управляющих транзактов (UTR_{ij}), которые в сумме образуют поток запросов РН на ресурсы ЛВС. Каждый UTR_{ij} представляет собой заказ к ИМ ОС ЛВС на ресурсы, в котором указывается: номер узла (j), принадлежность заказа к $МТХО_{ij}$ (ij), стоимость выполнения $МТХО_{ij}$ (C_{ij}). Конкретные значения ресурсов ЛВС, затребованных для выполнения $МТХО_{ij}$ в s -й реализации разыгрываются при имитации выполнения $ВСГ_l$ по функциям распределения этих параметров (1).

Реализация $\{МТХО_{ij}\}$ согласно графа $ВСГ_l$ имитируется на устройствах обработки узлов ЛВС. На j -м узле ЛВС расходуется три типа ресурсов: ЦП_j, HDD_j,

MEM_j. При этом предусмотрен монополюный захват ресурсов (ЦП_j) и памяти (MEM_j), а также частичный захват ресурса HDD_j объема (V_{ijl}) на время выполнения МТХО_{ij}(τ_{ijl}). По завершении очередного выполнения МТХО_{ij} ресурсы возвращаются узлам ЛВС и становятся доступными для очередного их захвата следующей МТХО_{ij}. При реализации всех {МТХО_{ij}} в ходе выполнения l-го запроса РН суммарное время использования ресурсов узлов ЛВС вычисляется по формуле:

$$\tau_{ijl} = \tau_{setl} + \tau_{oswl} + \tau_{цпijl} + \tau_{hddijl} + \tau_{ожцпijl} + \tau_{ожhddijl} + \tau_{ожсетijl}, \quad (2)$$

где τ_{setl}, τ_{oswl} — постоянные значения затрат времени на выполнение сетевых операций по пересылке запросов пользователей l-го типа с i-го узла на выполнение в j-м узле ЛВС; τ_{цпijl}, τ_{hddijl} — сформированные по функциям распределений времени использования ресурса ЦП_j и HDD_j; τ_{ожцпijl}, τ_{ожhddijl}, τ_{ожсетijl} — статистики ожиданий запросов ресурсов, сформированные по инициативе UTR_{ijl} на ресурсы соответственно ЦП_j, HDD_j и устройства сетевого доступа.

Динамику обслуживания транзактов TRIN_l и UTR_{ijk} при выполнении s-й реализации ВСГ_l представим следующим образом. Как только в структуре TRIN_l определяется необходимость выполнения МТХО_{ij}, формируется UTR_{ijk}, который поступает к k-у устройству j-го узла обработки OSW_j, имитирующему выполнение управляющего модуля ОС ЛВС длительностью τ_{ows}. Далее UTR_{ijk} поступает в очередь к ресурсу сетевого доступа (SET_j), имитирующего пересылку запроса по сети согласно заданной заранее топологии ЛВС длительностью τ_{сет}. Затем UTR_{ijk} последовательно обслуживается имитаторами различных ресурсов j-го узла ЛВС (ЦП_j и HDD_j). Для отображения монополюного захвата основных ресурсов j-го узла ЛВС используется система очередей на их входе согласно обобщенной модели функционирования устройств обработки запросов на ресурсы j-го узла, представленной на рис. 1.

После завершения обслуживания транзакта UTR_{ijk} уничтожается. В моменты освобождения устройства обработки j-го узла ЛВС из входной очереди выбирается очередная UTR_{ijk} и формируется сигнал «закрывать» устройство МТХО_{ij}, имитирующий начало выполнения МТХО_{ij}(t_{nlk}). В момент уничтожения UTR_{ijk} формируется сигнал «открыть» устройство USMTХО_{ij}, имитирующий конец выполнения МТХО_{ij}(t_{klk}). Таким образом, автоматически имитируется выполнение МТХО_{ij} длительностью τ_{il} = t_{klk} - t_{nlk}. Далее в случае, если очередь к устройству USMTХО_{ij} не пустая, выбирается из входной очереди следующий транзакт TRIN_l, формируется сигнал создания транзакта UTR_{ij}, по которому из GENU_j поступает UTR_{ij} во входную очередь к устройству обработки j-го узла ЛВС (USISP_j), и весь цикл выполнения МТХО_{ij} парой транзактов TRIN_l и UTR_{ij} повторяется. На рис. 1 приведена обобщенная схема ИМ j-го узла ЛВС, состоящая из следующих процессов: генератора TRIN (GEN_l), поглотителя TRIN (POG_l), генератора UTR_{ij}(GENU_j), поглотителя UTR_{ij}(POGU_j), имитатора выполнения МТХО_{ij} (US MТХО_{ij}), имитаторов устройств-исполнителей (US ISP_j) запросов ресурсов ЛВС (OSW_j, SET_j, ЦП_j, HDD_j), которые связаны между собой системой входных очередей имитирующих ожидания UTR_{ijk} соответствующих ресурсов j-го узла ЛВС.

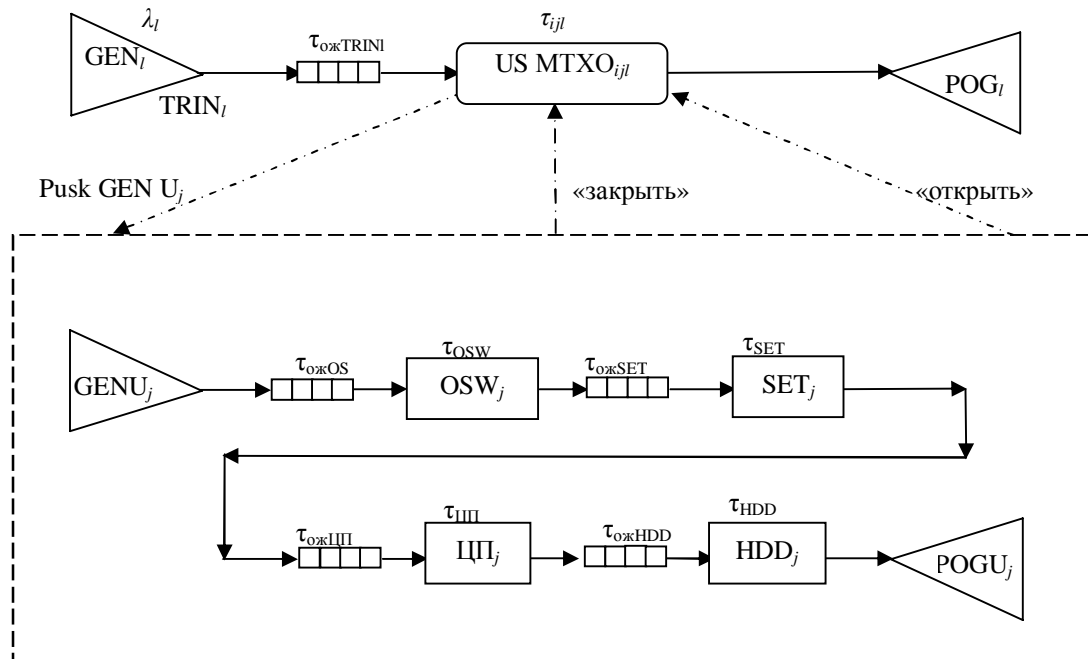


Рис. 1. Блок-схема связи устройства-имитатора ИМТ_{*j*} выполнения МТХО_{*ij*} с устройством-имитатором расхода ресурсов *j*-го узла ЛВС

Имитационная модель распределенной обработки информации в ЛВС

Среди ИМ, приведенных выше, для распределенной обработки информации в ЛВС наибольший интерес представляет модель 3-го типа. Именно этот тип ИМ наиболее полно отражает динамику взаимодействия РН и оборудования ЛВС при распределенной обработке информации. На рис. 2 представлена модель взаимодействия РН и ЛВС для случая распределенной обработки информации на двух узлах. При этом источником запросов является узел 1.

Устройство «Генератор транзактов» является источником задач РН. Он генерирует транзакты, имитирующие тип 6 запросов пользователей для обработки в ЛВС. Устройство «In» имитирует обслуживание запросов, необходимое для ввода информации, задаваемой пользователем перед отправкой его запроса на дальнейшую обработку. Время (t_{in}) обслуживания заданий на устройстве «In» имеет равномерное распределение. Устройство «OS» имитирует обслуживание запросов пользователей операционной системой время t_{os} . При этом имеются два блока имитации обработки запросов: собственно сама ОС и блок распределения запросов «Vibor», в зависимости от их типа. Устройство «CALC» имитирует обслуживание запросов на ЦП. Время обработки (t_{CALC}) «зашито» в теле транзакта и определяется перед началом моделирования. Устройство «Out» имитирует вывод полученных результатов путем временной задержки (t_{Out}) с равномерным законом распределения. Это устройство имеет два состояния: 0 — состояние, когда результаты, приходящие на обслуживание, окончательные; 1 — состояние, когда результаты, приходящие на обслуживание, должны быть пересланы на устройство

«In». Устройство «СПД» имитирует передачу информации (исходной, промежуточной, конечной) или запросов пользователей между узлами. Устройство «СПД» имеет две очереди: прямую и обратную (в прямом и обратном направлении движения информации по ЛВС соответственно). Длительность операции пересылки определяется перед началом моделирования матрицей пересылок между узлами ЛВС. Для каждого транзакта имеется свое время пересылки ($t_{СПД}$). Устройство «Поглотитель» служит для уничтожения транзактов из ИМ.

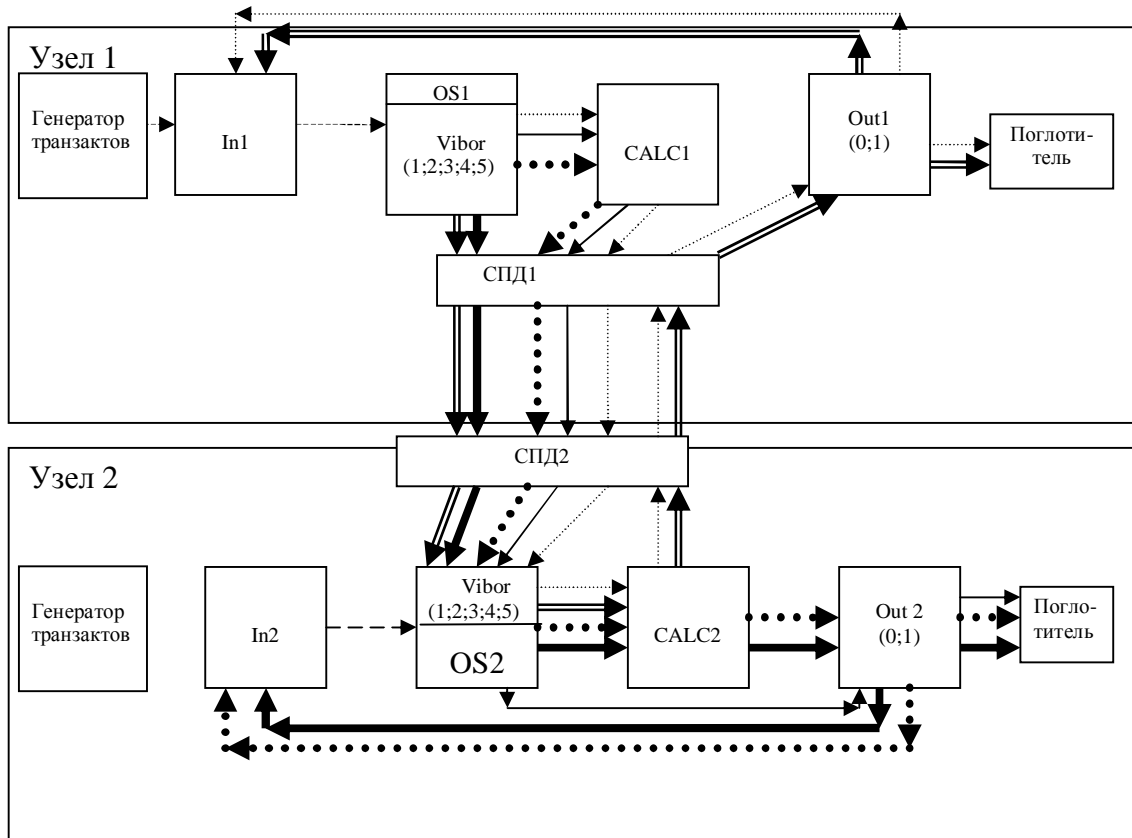


Рис. 2. Имитационная модель обработки информации в ЛВС

При взаимодействии транзакта с оборудованием узла и направлением его движения для обработки в ЛВС выделяют следующие типы транзактов, при этом подразумевается, что источником запросов является узел 1.

1. Обработка транзакта происходит на узле 1, затем на узле 2. Вывод на узле 1.
2. Обработка транзакта происходит на узле 1, затем на узле 2. Вывод на узле 2.
3. Обработка транзакта происходит на узле 1. Вывод на узле 2.
4. Обработка транзакта происходит на узле 2. Вывод на узле 2.
5. Обработка транзакта происходит на узле 2. Вывод на узле 1.

Таким образом, исходя из наличия типов оборудования узла ЛВС, можно сформировать «тело» транзакта, поступающего на обработку в ЛВС:

$$Tr_j(i, j, T_{обр}(t_{In}, t_{os}, t_{CALC}, t_{Out}, p_{Out(0;1)}, t_{СПД}, type_{(1,2,3,4,5)}, k_{пер})),$$

где i, j — номер узла и номер транзакта соответственно; t_{in} — время обслуживания транзакта в блоке In; t_{os} — время обслуживания транзакта в блоке OS; t_{CALC} — время обслуживания транзакта в блоке CALC; t_{Out} — время обслуживания транзакта в блоке Out; $p_{Out(0;1)}$ — тип пересылки транзакта в блоке Out; $t_{СПД}$ — время обслуживания транзакта в блоке СПД; $type_{(1,2,3,4,5)}$ — тип транзакта один из (1,2,3,4,5); $k_{пер}$ — количество пересылок транзакта между узлами.

Имитация динамики взаимодействия транзактов и ЛВС представляется следующей последовательностью.

1. Устройство «Генератор транзактов» формирует информационный транзакт j ($TRIN_{ij}$) и отправляет его на устройство «In1».

2. На устройстве «In1», если это необходимо, происходит имитация ввода данных пользователем с задержкой. Транзакт пересылается на устройство «OS1».

3. Здесь происходит выбор направления движения транзакта на устройства узла в зависимости от типа транзакта $type_{(1,2,3,4,5)}$.

4.1. Транзакт поступает на устройство «CALC1». Здесь транзакт обрабатывается t_{CALC} единиц времени, после чего поступает на устройство «СПД1».

4.2. Транзакт поступает на устройство «СПД1». Здесь транзакт обрабатывается $t_{СПД}$ единиц времени, после чего, в зависимости от направления, поступает либо на устройство передачи данных узла 2 «СПД2», либо на устройство «Out1».

5.1. Транзакт поступает на устройство «СПД2», обрабатывается $t_{СПД}$ единиц времени, после чего, в зависимости от направления, поступает на устройство «OS2» или на устройство «СПД1» — переход к п. 4.2.

5.1.1. На устройстве «OS2» транзакт обрабатывается t_{os} единиц времени, после чего поступает или на устройство «CALC2», или на устройство «Out2».

5.1.1.1. На устройстве «CALC2» транзакт обрабатывается t_{CALC} , затем поступает на устройство «СПД2» или «Out2».

5.1.1.2. На устройстве «Out2» транзакт обрабатывается t_{Out} , затем поступает на устройство «In2» или на «Поглотитель2».

5.1.1.2.1. На устройстве «In2» происходит имитация ввода данных пользователем. Транзакт пересылается на устройство «OS2» — переход к п. 5.1.1.

5.2. Транзакт поступает на устройство «Out1» обрабатывается t_{Out} единиц времени, после чего, в зависимости от типа $p_{out}=1$, либо поступает на устройство «In1» и переход к п. 2, либо $p_{out}=0$ — поступает на устройство «Поглотитель» и там уничтожается.

Заключение

Изложение методики и средства имитации распределенной обработки информации в ЛВС обладают преимуществом в использовании над методиками имитационного моделирования с помощью полумарковских процессов при проектном моделировании ЛВС в тех случаях, когда реальная сеть еще не существует, и решается задача выбора состава и размещения ресурсов узлов ЛВС, адаптированных для решения тех задач, которые преимущественно будут решаться на проектируемой ЛВС. Полумарковский подход к исследованию ВП в ЛВС эффективен только в тех случаях, когда ЛВС уже существует, известен статистический портрет РН на ЛВС и ставится задача с помощью имитационного моделирования

перераспределить ресурсы узлов ЛВС при адаптации ВП на ЛВС к требованиям РН на узлах ЛВС.

1. *Зайченко Е.Ю.* Анализ структуры глобальных вычислительных сетей. — К.: ЗАО «Укр-печнопроект», 1998. — С. 108.
2. *Коваленко И.Н., Николаев А.Н.* Приближенный расчет и оптимизация надежности. — К.: Наук. думка, 1989. — 182 с.
3. *Демиденко О.М., Максимей И.В., Агеенко И.В. и др.* Имитационное моделирование вычислительного процесса в узлах локальной сети // УСиМ. — 2000. — №5/6. — С. 101–107.
4. *Демиденко О.М., Максимей И.В.* Проектное моделирование вычислительного процесса в локальных вычислительных сетях. — Мн.: Белорусская Наука. — 2001. — 252 с.
5. *Демиденко О.М., Максимей И.В.* Влияние конкуренции запросов пользователей за ресурсы вычислительного процесса на организацию вычислительного процесса // Математические машины и системы. — 2001. — № 2. — С. 3–9.
6. *Демиденко О.М.* Технология мониторинга и адаптации вычислительного процесса под рабочую нагрузку на локальную вычислительную сеть. — Мн.: Белорусская Наука, 2002. — 193 с.
7. *Жогаль С.И., Максимей И.В.* Задачи и модели исследования операций. Ч.1. Аналитические модели исследования операций: Уч. пособие. — Гомель: БелГут, 1999. — 103 с.
8. *Максимей И.В., Серегина В.С.* Задачи и модели исследования операций. Ч. 2. Методы нелинейного и стохастического программирования: Уч. пособие. — Гомель: БелГут, 1999. — 103 с.
9. *Максимей И.В., Левчук В.Д., Маслович С.Ф. и др.* О проблемной модификации программно-технологического комплекса имитации технологических процессов производства // Известия Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины. — Гомель, 2003. — № 3(18). — С. 38–41.
10. *Максимей И.В., Левчук В.Д., Жогаль С.П.* Задачи и модели исследования операций. Ч. 3. Технология имитации на ЭВМ и принятие решений: Уч. пособие. — Гомель: БелГут, 1999. — 150 с.

Поступила в редакцию 28.09.2004