

**О.В. БЫЧЕНКО, В.Д. ЛЕВЧУК, И.В. МАКСИМЕЙ, С.Ф. МАСЛОВИЧ,
В.С. СМОРОДИН, В.И. СЕЛИЦКИЙ, А.М. ПОТАШЕНКО**

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ЛОКАЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Abstract: An actuality of project modeling of the information distributed processing in LAN is defined. The formalization of a calculating process and a working load to LAN on the base of the network planning method is given. A modified technology of the analysis of stochastic network schedule parameters on the base of a Monte-Carlo method is considered. The methodology of the simulation of the information distributed processing in LAN is stated.

Key words: simulation technique, distribute processing of information, local computing networks, networks planning.

Анотація: Визначено актуальність проектного моделювання розподіленої обробки інформації в локальних мережах (ЛОМ). Проведено формалізацію обчислювального процесу (ОП) і робочого навантаження (РН) на ЛОМ на основі апарату сіткового планування. Розглядається модифікована технологія аналізу параметрів імовірного сіткового графіка імітації в ЛОМ.

Ключові слова: імітаційне моделювання, розподілена обробка інформації, локальні обчислювальні мережі, сіткове планування.

Аннотация: Определена актуальность проектного моделирования распределенной обработки информации в ЛВС. Приведена формализация вычислительной и рабочей нагрузки на ЛВС на основе аппарата сетевого планирования. Рассматривается модифицированная технология анализа параметров вероятностного сетевого графика на основе метода Монте-Карло. Излагается методика имитационного моделирования распределенной обработки информации в ЛВС.

Ключевые слова: имитационное моделирование, распределенная обработка информации, локальные вычислительные сети, сетевое планирование.

1. Актуальность проектного моделирования распределенной обработки информации в локальной вычислительной системе

В данной работе дан новый подход к построению имитационной модели (ИМ) рабочей нагрузки (РН) на локальную вычислительную сеть (ЛВС) в виде графа вероятностей следования взаимосвязанных процессов (ГВП), использующих вычислительные ресурсы различных узлов ЛВС при имитации вычислительного процесса (ВП) в ЛВС.

Существует много публикаций [1, 2], в которых на аналитических моделях (АНМ) исследуется изменение характеристики ВП под влиянием вариаций скоростей обработки информации (v_p) на центральном процессоре (ЦП) и интенсивности поступления запросов пользователей i -го типа (λ_i), составляющих в совокупности рабочую нагрузку (РН) на узлах ЛВС. С помощью этих зависимостей прогнозируется изменение коэффициентов загрузки ЦП ($\eta_{ЦП}$) и среднего времени обслуживания запросов РН ($T_{жсi}$) при обслуживании этих запросов операционной системой (ОС) и программами пользователей, составляющими в совокупности некоторый технологический процесс обработки информации (ТПОИ) на ЛВС. Однако в АНМ зачастую трудно учесть наличие конкуренции запросов пользователей за одни и те же ресурсы ЛВС и поэтому исследования ограничиваются верхними оценками откликов ($\eta_{ЦП}$ и $T_{жсi}$). При проектном моделировании ВП в ЛВС верхних оценок указанных откликов уже недостаточно и

исследователям приходится прибегать к использованию ИМ. В работах [3, 4] предложен интересный подход к исследованию систем, основанный на сочетании аналитических и имитационных методов исследований. В работах [5, 6] приведены примеры полностью имитационного подхода к исследованию динамики использования ресурсов ЛВС. В [7] даны результаты сравнения параметров ВП и РН при использовании двух типов ИМ. В первой ИМ (МОД1) конкуренция запросов на ЦП отсутствует и ИМ ВП представляет собой многоканальную многофазную систему массового обслуживания (СМО). Во второй ИМ (МОД2) учитывается наличие конкуренции нескольких программных модулей (PM_j) за ресурс ЦП, когда в любой момент времени ресурс ЦП может использоваться только одним из PM_j . Основным результатом работы [7] состоял в демонстрации возникновения существенной ошибки от применения АНМ при наличии конкуренции запросов РН за ресурсы ЛВС. Была экспериментально показана возможность появления “эффекта мультиобработки” при моделировании ВП традиционными средствами и методами теории массового обслуживания. Однако простого перехода к ИМ уже недостаточно при исследовании распределенной обработки информации в ЛВС. Как правило, очень часто информация, требующая обработки по запросам пользователей, распределена в различных узлах ЛВС. Кроме того, множество запросов пользователей на распределенные ресурсы ЛВС взаимосвязано таким образом, что они не могут выполняться одновременно. Поэтому ВП в ЛВС представляет собой непрерывную смену выполнения запросов на различных узлах ЛВС. При этом вероятностные ИМ РН на ЛВС, построенные на основе идеи о полумарковском характере процесса формирования запросов пользователей на ресурсы ЛВС [7, 8], уже не могут адекватно отобразить динамику появления запросов на ресурсы ЛВС, расположенные в различных узлах ЛВС. Как видим, имитационные методы становятся существенным этапом проектного моделирования ЛВС. Поскольку имитация представляет собой весьма ресурсоемкую процедуру, то возникла необходимость создания средств автоматизации моделирования сложных систем. В качестве примера технологических возможностей средств автоматизации моделирования, предоставляемых в распоряжение разработчиков программного обеспечения АСУ, укажем на работу [9]. В данной статье вместо полумарковской ИМ предлагается использовать вероятностный ГВП, в котором явно отображены состав и структура взаимосвязей между процессами, рождаемыми запросами пользователей на разных стадиях реализации их исполнения и разных узлах ЛВС. Ниже излагается концептуальная модель распределенной обработки в ЛВС на основе использования вероятностного ГВП, сформулированы принципы формализации ВП в ЛВС на основе аппарата сетевого планирования, рассмотрена методика имитации распределенной обработки информации в ЛВС для случая, когда РН задана в виде вероятностного сетевого графа выполнения процессов на различных узлах ЛВС.

2. Концептуальная модель распределенной обработки в ЛВС

Содержательное описание для отображения ВП с распределенной по сети информацией должно существенно отличаться от подходов, предложенных в работах [7, 8]. Во-первых, необходимо отобразить структуру ЛВС и особенности распределенной обработки информации, хранящейся в различных узлах ЛВС. Во-вторых, в описании следует сочетать наличие взаимосвязи и

возможность параллельного использования распределенных по узлам ресурсов ЛВС. В третьих, необходимо отобразить коллективный характер использования различными процессами пользователей таких общих ресурсов ЛВС, как ЦП_i и дисков (НДД_i).

Перечисленные выше требования к составлению содержательного описания распределенной обработки (СОДО) накладывают свою специфику и на концептуальную модель (КОНМ) распределенной обработки (РОБ).

Прежде всего состав задаваемых параметров на моделирование должен включать две группы характеристик, отображающих структуру РН на ЛВС (СТР РН) и определяющих состав технологических процедур, задающих последовательность технологических операций из которых и состоит ТПОИ на ЛВС (СОСТП). В качестве задаваемой информации (ЗИНФ) в КОНМ используются те переменные имитации, которые не меняются в ходе имитационных экспериментов (ИЭ), но определяют возможные диапазоны изменения общих ресурсов ИМ в узлах ЛВС. Откликами имитации ВП в ЛВС с распределенными ресурсами служат две группы статистик имитации: матрица статистик использования i -го типа ресурсов ЛВС $\|Y_{RSij}\|$ в j -ых узлах ЛВС; матрица статистик, определяющих качество обслуживания запросов пользователей l -го типа, поступающих в ЛВС с j -ых узлов ЛВС $\|Y_{TJKlj}\|$. Целевой функцией имитационного моделирования k -го варианта организации ЛВС является максимизация скалярной величины

$$W_k = \max_k \sum_l \sum_j (\delta_{11} Y_{СКПij} + \delta_{21} Y_{ВПij} + \delta_{31} Y_{ЕЖij}^*),$$

где δ_{11} и δ_{21} – весовые коэффициенты важности для исследователя статистик загрузки соответственно ресурсов ЦП и НДД пользователями ЛВС l -го типа;

δ_{31} – весовые коэффициенты важности статистик качества обслуживания пользователей l -го типа;

$$\sum_l \delta_{11} + \delta_{21} + \delta_{31} = 1;$$

Y_{TJKlj}^* – приведенные к безразмерному виду на интервале $[0, 1]$ обратные величины откликов

Y_{TJKlj} ;

$Y_{СКПij}$ и $Y_{ВПij}$ – статистики использования ресурсов соответственно ЦП и НДД на j -ом узле ЛВС запросами пользователей l -го типа.

3. Формализация ВП и РН на ЛВС на основе аппарата сетевого планирования

В предлагаемом ниже подходе к формализации РН и узлах ЛВС запросы пользователей на ресурсы узлов ЛВС уже не представляются иерархической полумарковской имитационной моделью, как это описано в работе [8]. Отход от такой формализации РН на ЛВС обусловлен двумя обстоятельствами. Во-первых, все программные модули (ПМ_{ij}), исполняемые на ЦП j -го узла ЛВС уже имеют не чисто вероятностную природу, а имеют место детерминированные взаимосвязи между ПМ_{ij}, обусловленные структурой ГВП, хотя длительности выполнения самих ПМ_{ij} на ЦП_j и НДД_j являются случайными функциями. Во-вторых, в последовательности выполняемых

процессов, PM_{ij} могут использовать ресурсы ЦП_{ij} и HDD_j разных узлов ЛВС. Поэтому предлагается использовать ГВП для имитации процесса появления запросов пользователей I-го типа на ресурсы i-го типа j-ых узлов ЛВС.

В качестве базового элемента формализации ВП и РН на ЛВС вместо PM_{ij} будем использовать такое понятие, как микротехнологическая операция ($MTXO_{ij}$). Любой ТПОИ на ЛВС представляется в виде ГВП на основе аппарата сетевого планирования. В общем виде параметрами $MTXO_{ij}$ могут быть следующие характеристики: расходы ресурсов ЦП ($\tau_{ЦПij}$); расходы ресурсов HDD (V_{HDDj}); стоимость выполнения операции (C_{ij}).

При этом предполагаются известными функциональные зависимости между расходом ресурсов, стоимостью выполнения операции и времени их реализаций:

$$\tau_{ij} = \varphi_1(\tau_{ЦПij}), (\tau_{ЦПij}, v_{сзj}); \tau_{ij} = \varphi_2(V_{HDDj}, v_{HDDj}); \tau_{ij} = \varphi_3(C_{ij})v_{ср5}, v_{HDDj}.$$

Таким образом, в терминологии сетевого планирования на ГВП $MTXO_{ij}$ соответствуют действительным работам [10] или же PM_{ij} при полумарковском представлении ВП в ЛВС [8].

Основными базовыми элементами вероятностного сетевого графика (ВСГ), отображающего структуру рынка ЛВС, являются события (SO_i). В соответствии с классическим определением события на ВСГ каждое событие обладает следующими параметрами: номер события (i); ранние и поздние сроки свершения событий (t_{pi} и t_{pi}); резерв свершения события (R_i). Вторым базовым элементом ВСГ является понятие микротехнологической операции ($MTXO_{ij}$). В отличие от традиционной технологии исследования сетевых графиков все параметры работ в предлагаемом ниже подходе к исследованию ВСГ являются случайными величинами, задаваемыми соответствующими функциями распределения $F_1(\tau_{ik}); F_2(V_{ik}); F_3(C_{ik})$. Поэтому каждая $MTXO_{ik}$ обладает следующими параметрами: ik – номера исходного (i) и завершающего работу событий (k); $F_1(\tau_{ik}); F_2(V_{ik}); F_3(C_{ik})$. Будем называть времена выполнения $MTXO_{ik}$ (τ_{ik}) основными параметрами, а остальные характеристики (V_{ik} и C_{ik}) являются вспомогательными. В соответствии с традиционным представлением СГР необходимо указать j – номер узла ресурса ЦП_j и HDD_j, которые используют для выполнения $MTXO_{ik}$. Таким образом, с помощью ВСГ и параметров $MTXO_{ik}$ задаются местонахождение ресурсов в ЛВС, длительности и стоимости их использования, порядок их выполнения. Независимые друг от друга $MTXO_{ik}$ выполняются параллельно, а зависимые $MTXO_{ik}$ запускаются только при свершении событий в моменты (t_{pi}).

Определим понятие критического пути на ВСГ как последовательность $MTXO_{ik}$, выполняемых на ресурсах различных узлов ЛВС, определяющего общее время свершения I-го запроса пользователей ЛВС. Пример представления технологии реализации I-го запроса РН на ЛВС в виде ВСГ приведен на рис. 1, а в табл. 1 указаны значения параметров $MTXO_{ik}$, из которых составлен ВСГ реализации запроса пользователей I-го типа на ресурсы ЛВС, расположенных в различных узлах ЛВС.

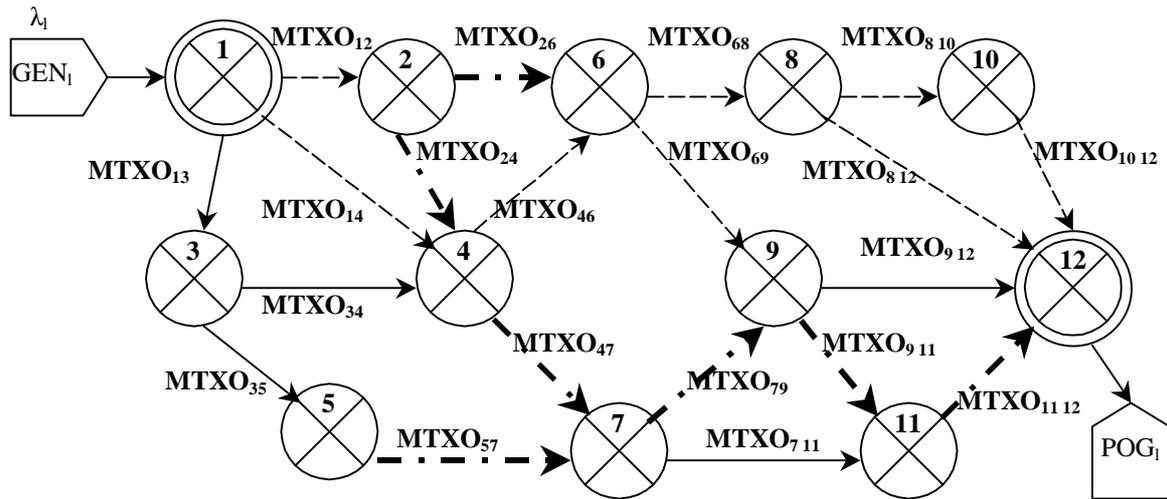


Рис. 1. Пример представления технологии реализации I-го запроса РН на трех узлах ЛВС в виде вероятностного сетевого графика

Таблица 1. Значение вероятностных параметров $MTXO_{ik}$, реализуемых на узлах ЛВС по технологии их выполнения, представленной на рис. 1

Номера $MTXO_{ik}$	j- номера узлов ЛВС	$F_1(T_{ik})$	$M T_{ik}$	$F_2(V_{ik})$	MV_{ik}	$F_3(C_{ik})$	$M C_{ik}$
1.2	1	EXP (5,5)	10	PUA (50)	50	NOR (30,10)	30
1.3	2	NOR (15,10)	15	PUA (30)	30	NOR (40,10)	40
1.4	1	NOR (25,10)	25	PUA (40)	40	NOR (70,10)	70
3.4	2	EXP (5,5)	10	PUA (20)	20	NOR (90,10)	90
3.5	2	EXP (5,10)	15	PUA (10)	10	NOR (40,10)	40
2.6	3	NOR (17,20)	17	PUA (70)	70	NOR (30,10)	30
2.4	3	NOR (9,10)	9	PUA (20)	20	NOR (10,10)	10
4.7	3	EXP (5,5)	10	PUA (30)	30	NOR (10,10)	10
4.6	1	NOR (12,10)	12	PUA (30)	30	NOR (10,10)	10
5.7	3	NOR (15,10)	15	PUA (40)	40	NOR (10,10)	10
6.8	1	EXP (5,5)	10	PUA (50)	50	NOR (20,10)	20
6.9	1	EXP (5,3)	8	PUA (70)	70	NOR (30,10)	30
7.9	3	NOR (7,10)	7	PUA (90)	90	NOR (40,10)	40
7.11	2	NOR (12,10)	12	PUA (70)	70	NOR (70,10)	70
9.11	3	EXP (5,4)	9	PUA (30)	30	NOR (30,10)	30
8.10	1	NOR (17,10)	17	PUA (40)	40	NOR (90,10)	90
9.12	2	EXP (5,11)	16	PUA (90)	90	NOR (40,10)	40
11.12	3	EXP (5,5)	10	PUA (50)	50	NOR (50,10)	50
10.12	1	EXP (5,4)	9	PUA (40)	40	NOR (50,10)	50
8.12	1	EXP (5,5)	10	PUA (30)	30	NOR (30,10)	30

Если характеристики $MTXO_{ik}$ постоянны, то аппарат сетевого планирования позволяет найти все сроки свершения событий (t_{pi} , t_{pi}) и их резервы (R_i). Затем по известной методике [10] рассчитываются значения параметров, выполняемых $MTXO_{ik}$: раннее начало ($t_{pn_{ik}}$), позднее начало ($t_{пн_{ik}}$), раннее окончание ($t_{по_{ik}}$), позднее окончание ($t_{пo_{ik}}$) $MTXO_{ik}$. Не представляет труда и поиск критического пути (КРП_s) для s-го варианта реализации запроса либо по временным, либо по стоимостным показателям его выполнения. На рис. 2 и рис. 3 приведены примеры расчета критического пути и резервов свершения событий при постоянных значениях (равным математическим ожиданиям) соответственно по времени и стоимости выполнения $MTXO_{ik}$.

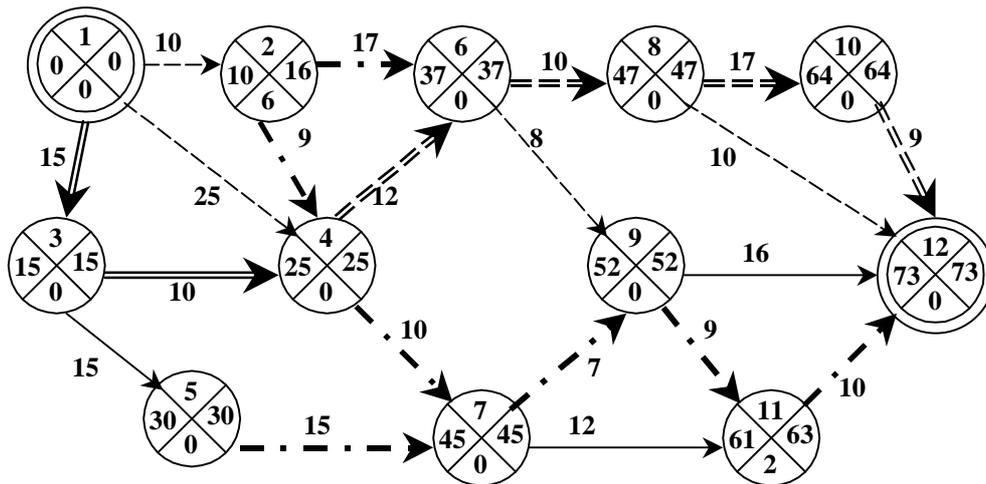


Рис. 2. Критический путь по времени реализации I-го запроса РН на ЛВС при постоянных значениях времени выполнения $MTXO_{ik}$, равным математическим ожиданиям их распределений

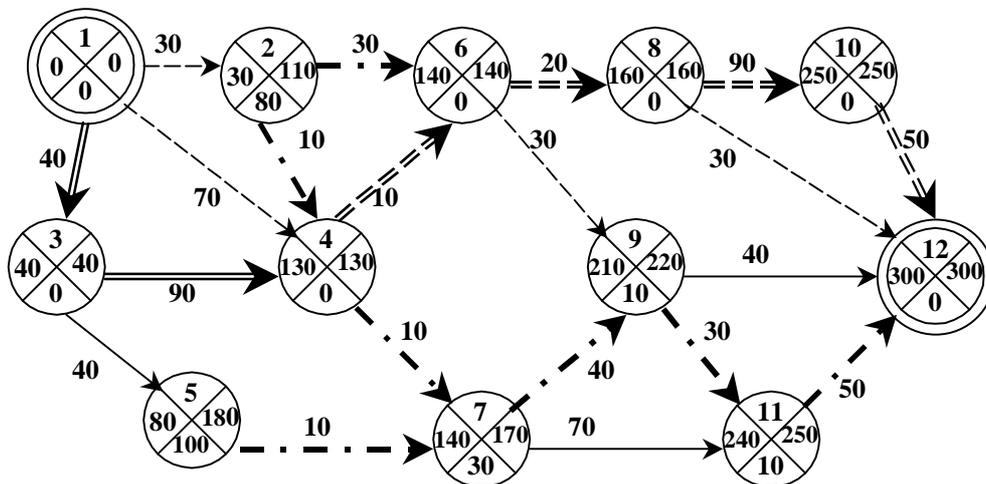


Рис. 3. Критический путь в графе стоимостей реализации I-го запроса РН на ЛВС при постоянных значениях стоимостей выполнения $MTXO_{ij}$, равным математическим ожиданиям их распределений

Любая $MTXO_{ik}$ представлена ориентированными ребрами графа технологии обработки запросов пользователей I-го типа на трех узлах ЛВС, а события изображаются в виде кружков, состоящих из четырех секторов: в левом и правом секторах указаны соответственно t_{pi} и t_{pi} . В верхних секторах приведены номера событий i , а в нижних секторах содержатся найденные резервы свершения

событий (R_i). Как следует из рис. 2 и рис. 3, критические пути по времени выполнения и стоимости реализации на ЛВС запроса пользователей I-го типа совпали. Однако такое совпадение скорее редкий случай. И уже совсем невозможно использовать аппарат календарного планирования для случая, когда все параметры $MTXO_{ik}$ являются случайными величинами. Вероятностный характер сетевого графика, представленного на рис. 1, при произвольных типах распределений, указанных в табл. 1, обуславливает необходимость постановки имитационных экспериментов (ИЭ) с использованием процедур метода Монте-Карло. [11]. В таких случаях результат имитации выполнения ВСГ при одних и тех же начальных значениях исследуемого ТПОИ также будет вероятностным. Поиск же критических путей значительно усложняется по сравнению со случаем, когда параметры $MTXO_{ik}$ являются детерминированными величинами.

4. Расчет и анализ параметров ВСГ по методу Монте-Карло

Для решения проблем исследования вероятностных технологических процессов производства (ТПП) с помощью ИМ был разработан программно-технологический комплекс имитации (ПТКИ) ГПП [12]. Применение комплекса основано на формализации ГПОИ с помощью модифицированного метода сетевого планирования и реализуется следующей последовательностью этапов.

1. Запись параметров $MTXO_{ik}$, входящих в $ВСГ_1$ реализации I-го типа запросов РН на ЛВС, в информационную базу (ИБД) комплекса. При этом происходит преобразование описаний $MTXO_{ik}$ во внутреннее представление, контроль корректности описания $ВСГ_1$, вывод результатов этого контроля на дисплей для устранения ошибок в описании $ВСГ_1$. Взаимодействие ПТКИ ГПП с пользователем происходит на основе набора "меню" возможностей комплекса в режиме вопрос-ответ. В итоге по завершении этого этапа синтаксические ошибки в $ВСГ_1$ будут исправлены.

2. Расчет и анализ параметров $ВСГ_1$ по методу Монте-Карло реализуется следующей последовательностью шагов:

2.1. На s -ой реализации $ВСГ_1$ ($s = 1, \overline{N}$) разыгрываются все значения параметров $MTXO_{ik}$ ($\tau_{iks}, V_{iks}, C_{iks}$) с помощью соответственно функций распределения $F_1(\tau), F_2(V_{ik}), F_3(C_{ik})$, представленных в табл. 1. В результате формируется s -я реализация $ВСГ_1$ с детерминированными параметрами $MTXO_{ik}$. ($ДСГ_s$).

2.2. Моделируется выполнение $ВСГ_s$ в режиме прямого изменения модельного времени t_0^* при вычислении ранних сроков свершения событий (t_{pis}). Одновременно с этим моделируются расход ресурсов (V_{iks}) и стоимости выполнения (C_{iks}) на реализацию $MTXO_{ik}$. 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 характеристики напряженности выполнения работ при реализации $ВСГ_1$ ($t_{pniks}, t_{nniks}, t_{poiks}, t_{noiks}$). Завершаются расчеты характеристик s -ой реализации $ВСГ_1$ по методу Монте-Карло нахождением критического пути $ДГС_s$ ($КРП_{si}$) реализации I-го запроса на РН на ЛВС.

2.4. В результате имитации выполнения N реализаций BCI в ИБД комплекса будут сформированы выборки значений параметров BCI для событий $\{t_{pis}, t_{gis}, R_{is}\}$ для $MTXO_{ik}$ $\{t_{pis}, t_{nis}, R_{is}\}$ и для критического пути $\{KPI_{sl}\}$. Таким образом, каждой s -ой реализации BCI в этих выборках соответствуют s -ые номера параметров событий, $MTXO_{ik}$ и критических путей KPI_{sl} .

3. Оптимизация BCI по данным имитационного эксперимента (ИЭ) реализуется следующей последовательностью шагов.

3.1. Формирование по выборкам функций распределений значений статистик имитации BCI (F_z), математических ожиданий (M_z) и дисперсии (D_z). Здесь под z понимаются названия перечисленных ранее характеристик выполнения $MTXO_{ik}$, сроков свершения событий и длины критических путей в BCI .

3.2. Осуществляется анализ критических путей BCI . Каждый KPI_{sl} представляет собой последовательность $MTXO_{ik}$ и событий SOB_i , обладающих нулевым резервом времени их свершения (R_{ii}). В общем случае для N реализаций BCI может существовать множество $\{KPI_{sl}\}$, в котором только некоторые пары ($SOB_i, MTXO_{ik}$) различные, а остальные пары не отличаются друг от друга. Поэтому алгоритм анализа всех реализаций BCI представляет исследователю диапазон различных событий, одновременно возникающих в BCI в одно и то же время t_0 , и различных реализаций $\{KPI_{sl}\}$ в BCI .

3.3. По результатам статистической обработки параметров $\{MTXO_{iks}\}$, событий $\{SOB_{is}\}$ и критических путей $\{KPI_{sl}\}$ исследователь может сформировать граф критических путей ($GRKPI$), используя для этой цели оценки вероятных значений коэффициентов напряженности $MTXO_{ik}$ [10]. При этом определяется список событий, имеющих наибольшие резервы времени их свершения с высокой вероятностью. Из этого списка выбираются $MTXO_{ik}$ в качестве кандидатов для исключения из графа критических путей.

3.4. Если множество $\{KPI_{sl}\}$ достаточно большое, то из него можно сформировать граф критических путей ($GR KPI$). В этом графе, состоящем из критических путей, могут появиться вероятностные переходы (P_{ir}) между уже обобщенными событиями $OSOB_{ir}$ и $OSOB_r$. Далее реализуется процедура, аналогичная шагу 2, но с той лишь разницей, что анализу подвергается уже граф критических путей. Очевидно, что придется осуществлять несколько итераций для нахождения результирующего наиболее вероятного критического пути реализации l -го запроса PH на ЛВС.

3.5. Информация, сформированная на каждом шаге этапа 3, хранится в ИБД ПТКИ ТПП и может по запросу выводиться исследователю на экран дисплея в любом требуемом составе. Это позволяет исследователю либо принять решение о завершении исследований, либо корректировать в диалоговом режиме параметры $MTXO_{ik}$ с учетом технологических ограничений на их реализацию.

3.6. Меняются параметры модифицируемых $MTXO_{ik}$ и осуществляется переход на выполнение этапа 1. При этом возможно сравнение результатов, полученных на предыдущей итерации, и принятие решений о завершении имитации выполнения BCI на ЛВС [12].

5. Методика имитационного моделирования распределенной обработки информации в ЛВС

Для имитации распределенной обработки информации в ЛВС в ПТКИ ТПП используется транзактный способ представления структуры запросов I-го типа РН на ЛВС [13]. Для этой цели на входе ИМ узлов ЛВС с помощью генератора транзактов GEN_i формируются информационные транзакты ($TRIN_i$). В теле $TRIN_i$ находится ВСГ₁ реализации ТПОИ на ЛВС. GEN_i формирует на входе j-го узла ЛВС $TRIN_i$ с интенсивностью λ_i , которые затем обслуживаются моделью ВП в ЛВС. Таким образом, на входе каждого узла ЛВС установлено столько GEN_i , сколько предусмотрено типов запросов РН на узлах ЛВС в исследуемой технологии распределенной обработки запросов пользователей на ресурсы ЛВС.

По информации, сосредоточенной в параметрах $MTXO_{ik}$ и определяющей запросы пользователей I-го типа на g-ом узле ЛВС на ресурсы узлов ЛВС, согласно ВСГ₁ формируются последовательности управляющих транзактов (UTR_{ik}), представляющие собой поток запросов на ресурсы ЛВС. Каждый UTR_{ikl} представляет собой заказ к ОС ЛВС на ресурсы, в котором указываются номер узла (j), на котором при выполнении $MTXO_{ijk}$ (C_{ik} единиц стоимости), номер выполняемой $MTXO_{ik}$ (ik). Значения этих ресурсов разыгрываются при имитации выполнения ВСГ₁ по функциям распределения, представленным в табл 1.

Собственно выполнение очередной $MTXO_{ik}$ (согласно графа ВСГ₁) имитируется на устройствах обработки. При этом на j-ом узле может быть расходовано три типа ресурсов: ЦП_j, НДД_j и MEM_j (здесь ЦП_j, НДД_j и MEM_j означают факт использования соответственно ЦП, НДД и памяти j-го узла ЛВС). В рассматриваемой модели использования ресурсов ЛВС предусмотрен монополюсный захват ресурсов ЦП_j и MEM_j и частичный захват ресурса НДД_j объема V_{ik} на время выполнения $MTXO_{ik}(T_{ik})$. По завершении очередного выполнения $MTXO_{ik}$ ресурсы j-го узла ЛВС возвращаются и становятся доступными для очередного захвата следующей $MTXO_{ik}$. Времена собственно реализации всех $MTXO_{ik}$ при выполнении I-го запроса РН в общем случае представляют сумму использования ресурсов узлов ЛВС:

$$\tau_{ikl} = \tau_{set} + \tau_{osw} + \tau_{unik} + \tau_{НДik} + \tau_{ОЖЦПj} + \tau_{ОЖНДДj} + \tau_{ОЖset}.$$

где τ_{set}, τ_{osw} – постоянные значения затрат времени соответственно на выполнение сетевых операций по пересылке запросов пользователей I-го типа с g-го узла на выполнение на j-ом узле ЛВС;

$\tau_{ОЖЦПj}, \tau_{ОЖНДДj}, \tau_{ОЖset}$ – моделируемые значения времени ожидания запросов, сформированным по инициативе UTR_{ikl} , на ресурсы j-го узла ЛВС (соответственно ЦП_j, НДД_j и устройства сетевого доступа);

$\tau_{unik}, \tau_{НДik}$ – конкретные значения времени использования ресурса ЦП_j на НДД_j, сформированные по соответствующим функциям распределения из табл. 1.

В итоге по запросам UTR_{ik} на ИМ устройств обработки информации определяются значения временных характеристик $\tau_{set}, \tau_{osw}, \tau_{unik}, \tau_{НДik}$. В очередях к ИМ устройств обработки UTR_{ik} формируются суммарные времена ожидания освобождения ресурсов узлов ЛВС

($\tau_{ожцпj}, \tau_{ожнддj}, \tau_{ожсет}$). Длительности выполнения сетевых операций ($\tau_{сет}$) операционной системы ($\tau_{осw}$) устанавливаются постоянными для конкретного варианта топологии ЛВС.

Динамику обслуживания $TRIN_i$ и UTR_{ik} при выполнении s -ой реализации $BCГ_1$ можно представлять следующим образом. Как только из $TRIN_i$ определяется необходимость выполнения $MTXO_{ik}$, формируется UTR_{ik} , который поступает к устройству j -го узла обработки. OSW_j , имитирующему выполнение управляющего модуля ОС ЛВС длительностью $\tau_{осw}$. Далее UTR_{ik} поступает в очередь к ресурсу сетевого доступа (SET_j), имитирующему пересылку запроса по сети согласно заданной топологии ЛВС длительностью $\tau_{сет}$. Затем UTR_{ik} последовательно обслуживается имитаторами основных ресурсов j -го узла ЛВС (ЦП $_j$ и НДД $_j$). Для отображения процесса монопольного 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. 4.

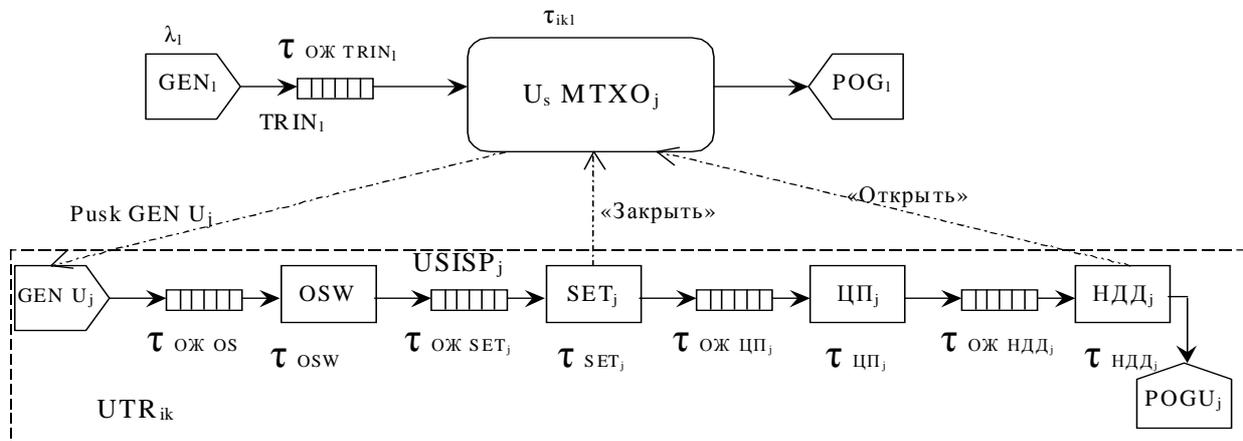


Рис. 4. Блок-схема связи устройства-имитатора $IMIT_j$ выполнения $MTXO_{ik}$ с устройством-имитатором расхода ресурсов j -го узла ЛВС

После завершения обслуживания UTR_{ik} уничтожаются. В моменты освобождения устройства обработки j -го узла ЛВС из входной очереди выбирается очередной UTR_{ik} и формируется сигнал «Закреть» устройство $MTXO_{ik}$, имитирующий начало выполнения $MTXO_{ik}$ (t_{HIK}). В момент уничтожения UTR_{ik} формируется сигнал «Открыть» устройство $US MTXO_{ik}$, имитирующий конец выполнения $MTXO_{ik}$ (t_{KIK}). Таким способом автоматически имитируется выполнение $MTXO_{ik}$ длительностью $\tau_{ikl} = t_{KIK} - t_{HIK}$. Далее в случае, если очередь к устройству $US MTXO$ не пустая, выбирается из входной очереди следующий $TRIN_i$, формируется сигнал создания UTR_{ik} , по которому из $GEN U_j$ поступает UTR_{ik} во входную очередь к устройству обработки i -го узла ЛВС ($USISP$) и весь цикл выполнения $MTXO_{ik}$ парой транзактов $TRIN_i$ и UTR_{ik} повторяется. На рис. 4 приведена обобщенная схема ИМ j -го узла ЛВС состоящая из следующих процессов: генератора $TRIN_i$ (GEN_i), поглотителя $TRIN_i$ (POG_i) генератора UTR_{ik} ($GEN U_j$), поглотителя UTR_{ik} ($POGU_j$) имитатора выполнения $MTXO_{ik}$ ($US MTXO_{ik}$), имитаторов устройств – исполнителя ($USISP$) запросов

ресурсов ЛВС (OSW_j , SET_j , $ЦП_j$, $НДД_j$), которые связаны между собой системой входных очередей, имитирующих функции ожидания UTR_{ik} захвата соответствующих ресурсов j -го узла ЛВС.

Предложенная технология обслуживания запросов РН I-го типа на ресурсы ЛВС зависит от технологии сети. На рис. 5 приведены варианты компоновки ИМ технологии обработки информации для технологий ЛВС типа «звезда», когда ЛВС состоит из пяти узлов.

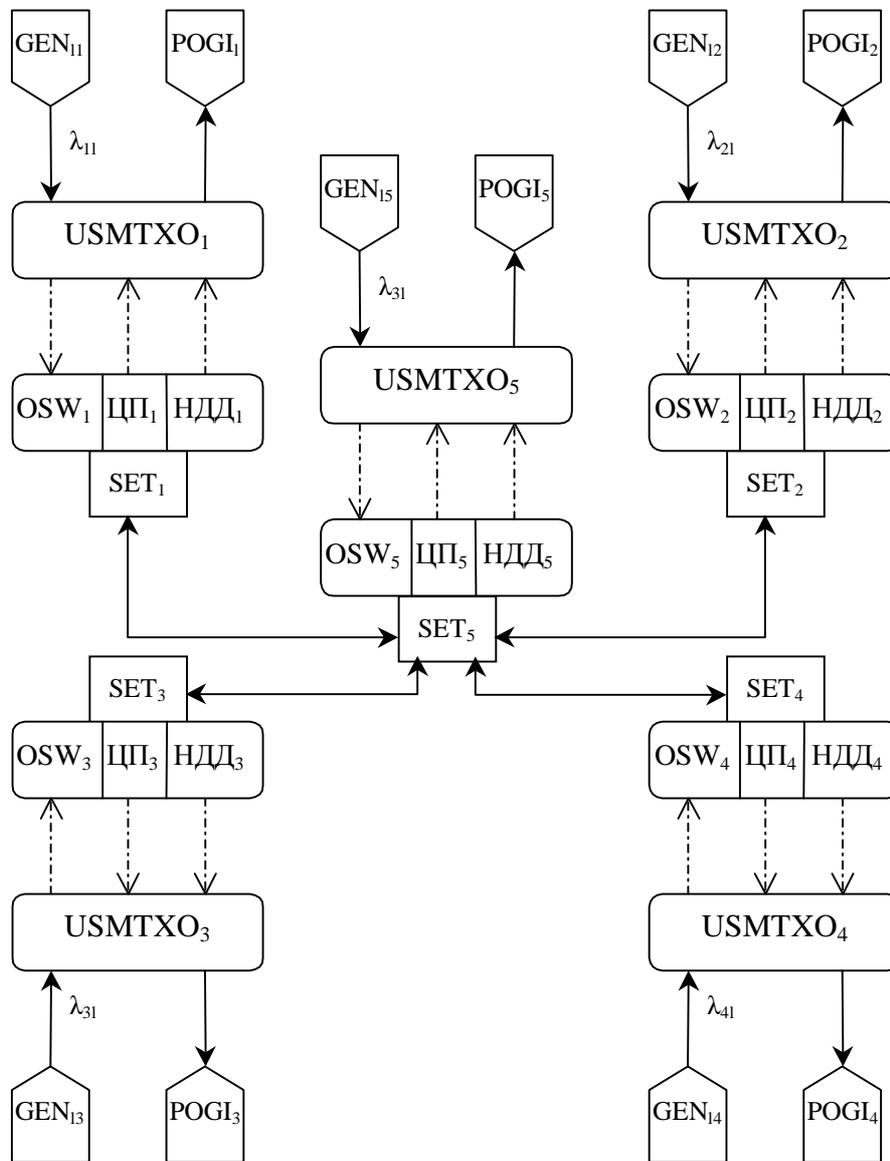


Рис. 5. Имитационная модель реализации ТПОИ в ЛВС топологии «звезда», состоящая из пяти узлов

На рис. 5 не показаны генераторы и поглотители UTR_{ikj} устройств-имитаторов ВСГ_{ij} и устройств-имитаторов выполнения запросов ресурсов узлов ЛВС ($USMTXO_j$ и $USISP_j$).

6. Выводы

Изложенные методики имитации распределенной обработки в ЛВС обладают преимуществом в использовании перед моделированием на основе полумарковских процессов для случаев проектного моделирования ЛВС в тех случаях, когда реальная ЛВС еще не существует и решается

задача выбора состава и размещения ресурсов узлов ЛВС, которые были бы адаптированы для решения тех задач, которые преимущественно будут решаться на проектируемой ЛВС. Полумарковский подход к представлению ИМ РН на ЛВС используется уже при наличии действующей ЛВС и ставится задача перераспределения ресурсов узлов ЛВС при адаптации их к РН на ЛВС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайченко Ю.П., Зайченко Е.Ю., Поспелов И.В. Комплекс программ анализа и синтеза структуры региональных и глобальных вычислительных сетей // УСиМ. – 2000. – № 5/6. – С. 71 – 87.
2. Зайченко Е.Ю. Анализ структуры глобальных вычислительных сетей. – Киев: ЗАО “Укрспецнонтпроект”, 1998. – С. 108.
3. Kovalenko I.N., Kuznetsov N.Y., Pegg Ph.A. Mathematical theory of reliability of time-dependent systems, with practical applications. – Chichester: J.Wiley and Sons, 1997. – 303 p.
4. Коваленко И.Н., Наконечный А.Н. Приближенный расчет и оптимизация надежности. – К.: Наукова думка, 1989. – 182 с.
5. 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.
6. Демиденко О.М., Максимей И.В. Проектное моделирование вычислительного процесса в локальных вычислительных сетях. – Мн.: Белорусская Наука, 2001. – С. 252.
7. Демиденко О.М., Максимей И.В. Влияние конкуренции запросов пользователей за ресурсы вычислительной системы на организацию вычислительного процесса // Математические машины и системы. – 2001. – № 2. – С. 3 – 9.
8. Демиденко О.М. Технология мониторинга и адаптации вычислительного процесса под рабочую нагрузку на локальную вычислительную сеть. – Мн.: Белорусская наука, 2002. – С. 193.
9. Литвинов В.В., Марьянович Т.П. Методы построения имитационных систем. – К.: Наукова думка, 1991. – 117 с.
10. Жогаль С.И., Максимей И.В. Задачи и модели исследования операций. – Ч. 1: Аналитические модели исследования операций: Уч. пособие. – Гомель: БелГУТ, 1999. – С. 109.
11. Максимей И.В., Серегина В.С. Задачи и модели исследования операций. – Ч. 2.: Методы нелинейного и стохастического программирования: Уч. пособие. – Гомель: БелГУТ, 1999.- С. 103.
12. 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 имени Ф. Скорины. – 2003. – № 3(18). – С. 38 – 41.
13. 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.