

**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 ( $\lambda_i$ ), 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<sub>i</sub> и дисков (НДД<sub>i</sub>).

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  $i$ -го типа, поступающих в ЛВС с  $j$ -ых узлов ЛВС  $\|Y_{TJKij}\|$ . 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  $\delta_{11}$  и  $\delta_{21}$  – весовые коэффициенты важности для исследователя статистик загрузки соответственно ресурсов ЦП и НДД пользователями ЛВС  $i$ -го типа;

$\delta_{31}$  – весовые коэффициенты важности статистик качества обслуживания пользователей  $i$ -го типа;

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

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

$Y_{TJKij}$ ;

$Y_{СКПij}$  и  $Y_{ВПij}$  – статистики использования ресурсов соответственно ЦП и НДД на  $j$ -ом узле ЛВС запросами пользователей  $i$ -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<sub>ij</sub>), исполняемые на ЦП  $j$ -го узла ЛВС уже имеют не чисто вероятностную природу, а имеют место детерминированные взаимосвязи между ПМ<sub>ij</sub>, обусловленные структурой ГВП, хотя длительности выполнения самих ПМ<sub>ij</sub> на ЦП<sub>j</sub> и НДД<sub>j</sub> являются случайными функциями. Во-вторых, в последовательности выполняемых

процессов,  $PM_{ij}$  могут использовать ресурсы ЦП<sub>ij</sub> и HDD<sub>j</sub> 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  $MTXO_{ik}$  ( $\tau_{ik}$ ) 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<sub>j</sub> и HDD<sub>j</sub>, 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.

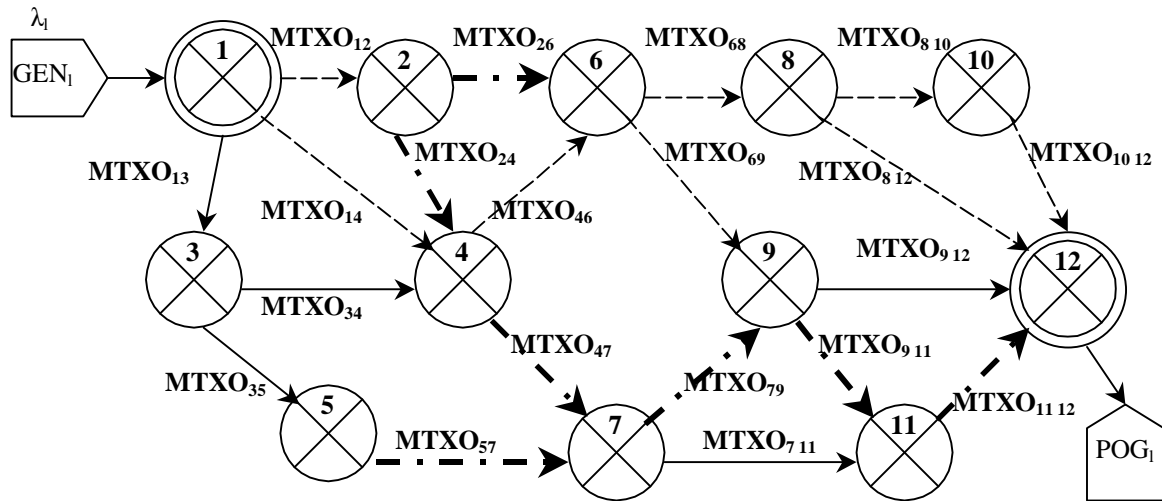


Рис. 1. Пример представления технологии реализации I-го запроса РН на трех узлах ЛВС в виде вероятностного сетевого графика

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<sub>s</sub>) 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  $MTXO_{ik}$ .

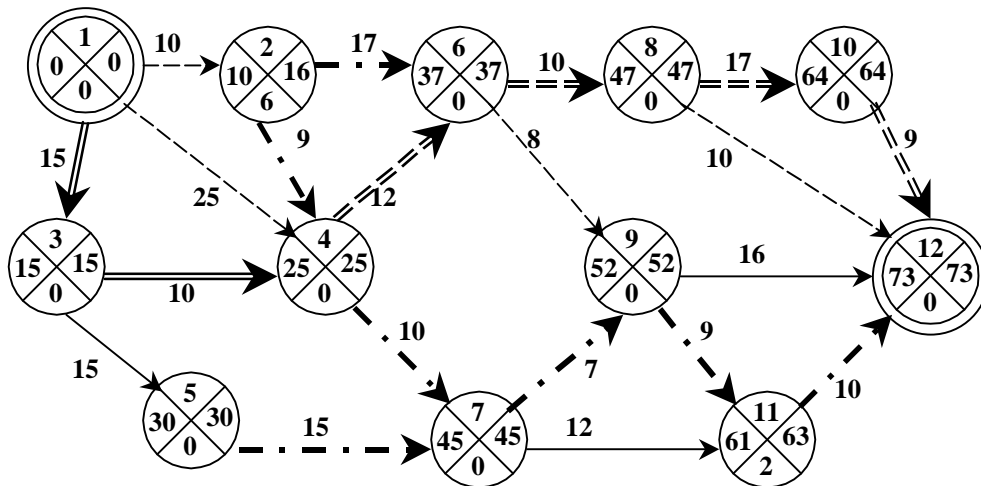


Рис. 2. Критический путь по времени реализации I-го запроса РН на ЛВС при постоянных значениях времени выполнения  $MTXO_{ik}$ , равным математическим ожиданиям их распределений

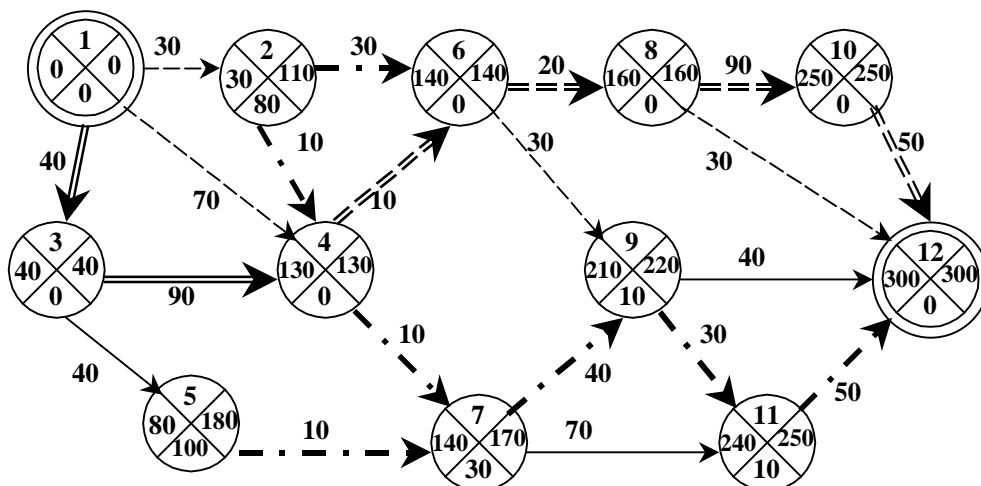


Рис. 3. Критический путь в графе стоимостей реализации I-го запроса РН на ЛВС при постоянных значениях стоимостей выполнения  $MTXO_{ij}$ , равным математическим ожиданиям их распределений

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  $ВСГ_1$  ( $t_{pniks}, t_{pniks}, t_{poiks}, t_{poiks}$ ). 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 ВСГ<sub>1</sub> реализации ТПОИ на ЛВС.  $GEN_i$  формирует на входе j-го узла ЛВС  $TRIN_i$  с интенсивностью  $\lambda_i$ , 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 ВСГ<sub>1</sub> 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 ВСГ<sub>1</sub> по функциям распределения, представленным в табл 1.

Собственно выполнение очередной  $MTXO_{ik}$  (согласно графа ВСГ<sub>1</sub>) имитируется на устройствах обработки. При этом на j-ом узле может быть расходовано три типа ресурсов: ЦП<sub>j</sub>, НДД<sub>j</sub> и MEM<sub>j</sub> (здесь ЦП<sub>j</sub>, НДД<sub>j</sub> и MEM<sub>j</sub> означают факт использования соответственно ЦП, НДД и памяти j-го узла ЛВС). В рассматриваемой модели использования ресурсов ЛВС предусмотрен монополярный захват ресурсов ЦП<sub>j</sub> и MEM<sub>j</sub> и частичный захват ресурса НДД<sub>j</sub> 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  $\tau_{set}, \tau_{osw}$  – 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<sub>j</sub>, НДД<sub>j</sub> и устройства сетевого доступа);

$\tau_{unik}, \tau_{НДik}$  – конкретные значения времени использования ресурса ЦП<sub>j</sub> на НДД<sub>j</sub>, 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  $BC\Gamma_i$  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.

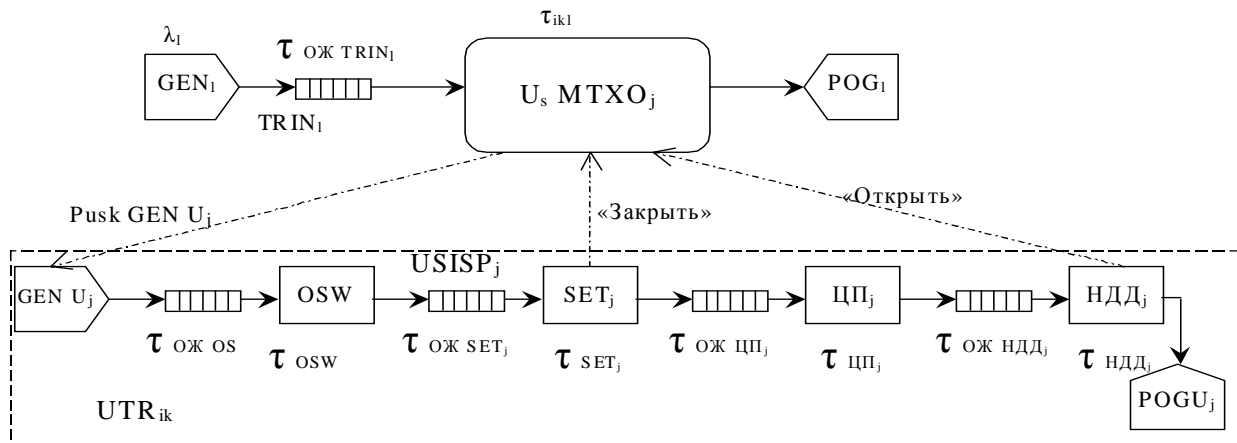


Рис. 4. Блок-схема связи устройства-имитатора  $IMIT_j$  выполнения  $MTXO_{ik}$  с устройством-имитатором расхода ресурсов  $j$ -го узла ЛВС

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 “Закрыть” 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  $GENU_j$  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  $UTR_{ik}$  ( $GENU_j$ ), 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.

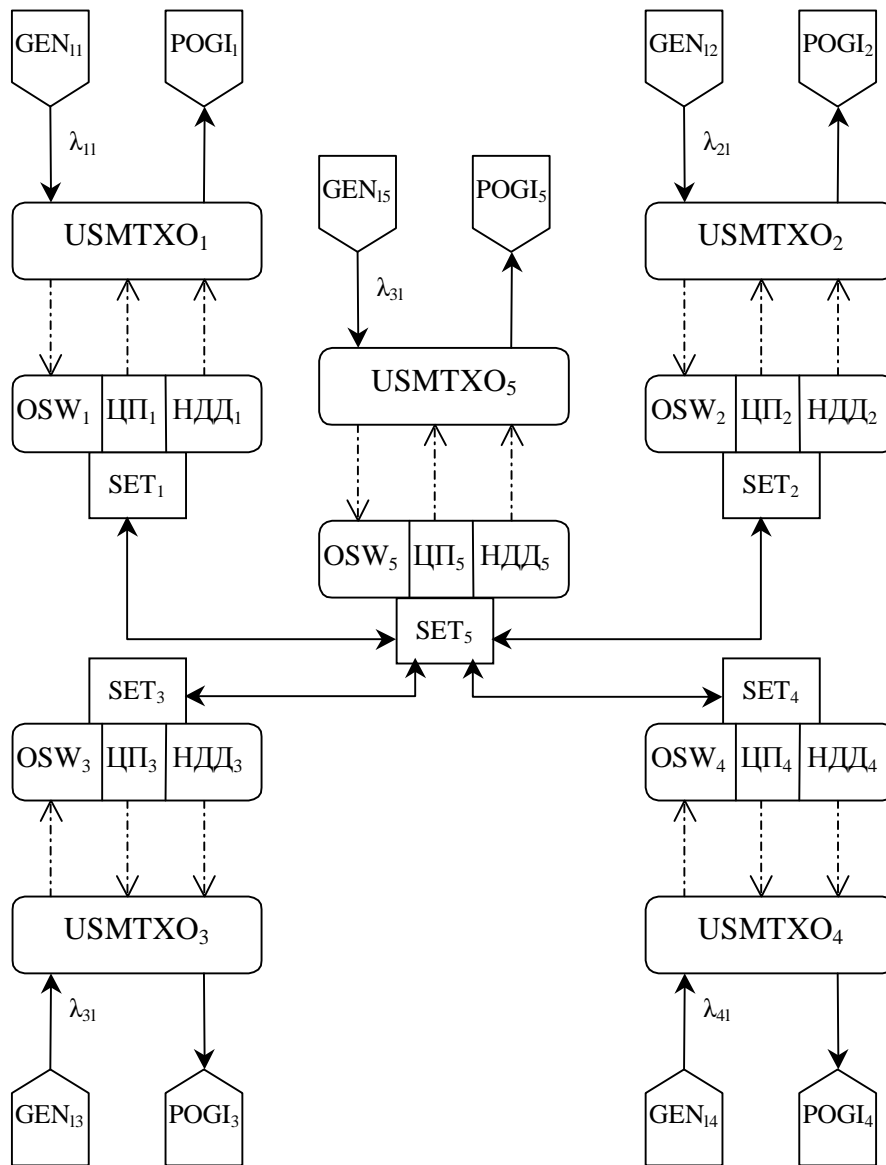


Рис. 5. Имитационная модель реализации ТПОИ в ЛВС топологии «звезда», состоящая из пяти узлов

На рис. 5 не показаны генераторы и поглотители  $UTR_{ikj}$  устройств-имитаторов ВСГ<sub>ij</sub> 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.