



## КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ УЧЕБНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 630307: 004.4.22

*А.Т. Гурьев, А.А. Блок*

Гурьев Александр Тимофеевич родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий, проректор по информационным технологиям, директор Института информационных технологий Архангельского государственного технического университета. Имеет более 70 работ в области исследования процессов лесного комплекса.



Блок Андрей Андреевич родился в 1978 г., окончил в 2000 г. Архангельский государственный технический университет, ассистент кафедры информационных технологий Института информационных технологий АГТУ. Область научных интересов – моделирование технических систем.



### ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ КОМПЛЕКСОВ ЛЕСОСЕЧНЫХ МАШИН

Установлено, что использование Е-сетей для формализации процессов работы комплексов машин позволяет повысить эффективность создания имитационных моделей.

*Ключевые слова:* комплекс лесосечных машин, сети Петри, Е-сети, формализация, имитационное моделирование.

Вопросы имитационного моделирования работы лесных машин с различной степенью детализации достаточно подробно изложены в ряде работ, например в [1]. Попытки создания специализированных автоматизированных рабочих мест (АРМ) при управлении лесосечными процессами с использованием имитационных моделей пока не увенчались успехом. На наш взгляд, эффективное использование имитационных моделей в производстве возможно только в составе интегрированной информационной системы [8].

Разработка универсальных методов моделирования комплексов лесных машин для интеллектуальной поддержки принятия решений представляется актуальной и важной.

В качестве математического аппарата при построении формальной модели в целях более глубокого понимания взаимосвязей между ее элементами и их однозначного отражения с помощью стандартизованных нотаций предлагаем использовать Е-сети (расширение сетей Петри) [5, 6].

Оценочные или E-сети как расширение сетей Петри и средство описания моделей функционирования сложных систем задают совокупностью множеств  $N$ :

$$N = \langle B, V_P, V_R, D, M_0 \rangle,$$

где  $B$  – конечное множество позиций;  
 $V_P \subset B$  – конечное множество периферийных позиций;  
 $V_R \subset B$  – конечное множество решающих позиций;  
 $D$  – множество описаний переходов  $d_i = (s, t(d_i), \rho)$ ;  
 $s$  – тип перехода;  
 $t(d_i)$  – время перехода;  
 $\rho$  – процедура перехода;  
 $M_0$  – начальная разметка сети.

Важной особенностью E-сети является детализация представления метки. С каждой меткой в E-сети связаны  $n$  описателей. Значение  $i$ -го описателя в позиции  $b_k$  обозначают как  $M(b_k(i))$ . Каждый из описателей метки несет в себе определенную количественную информацию о моделируемом объекте. Переходы в E-сети моделируют некоторое событие не только на уровне выполнения всех необходимых условий, но и отражают также ряд операций, связанных с данным событием. Набор операций и условия их выполнения задаются процедурой перехода  $\rho$ .

Для E-сетей определены пять основных типов переходов [6, 7]. Логика работы переходов задается указанием разрешенных смен разметок. Например, срабатывание перехода типа  $T_E$  происходит при наличии метки во входной позиции  $b_1$  и отсутствии метки в выходной позиции  $b_2$ .

Пять основных типов переходов ( $T_E, J_E, F_E, X_E, Y_E$ ) позволяют моделировать различные ситуации, встречающиеся в реальных системах. Переход  $T_E$  моделирует событие, наступающее при выполнении одного условия. В случае необходимости двух условий используют переход  $J_E$ . Разветвление потока информации отображается в переходе  $F_E$ . При необходимости изменения направления потока информации по некоторому условию используют переход типа  $X_E$ . Переход типа  $Y_E$  отражает приоритет одного потока информации перед другими. При этом в зависимости от внутренней логики позиции возможно представление различных приоритетов для потоков меток: фиксированное, в виде функции от описателей меток или от внешних переменных системы.

Позиции  $b_i \cap V_R$  могут являться в сети как внутренними, так и периферийными. Если  $b_i \cap V_P$ , то состояние позиции может быть нулевым  $M(b_i) = 0$ , единичным  $M(b_i) = 1$  или неопределенным  $M(b_i) = \emptyset$ . Для перевода позиции из неопределенного состояния в нулевое или единичное используется решающая процедура перехода:

$$r : [P_1 \rightarrow M(b_i) : = \alpha; \quad P_2 \rightarrow M(b_i) : = 1 - \alpha],$$

где  $P_1, P_2$  – предикаты, принимающие два значения: 1 или 0 ( $\alpha = \{0, 1\}$ ).

Выполнение решающей процедуры начинают с вычисления  $P_1$ . Если  $P_1$  истинно, то  $M(b_i) : = \alpha$ , далее оценка не производится. Если же  $P_1$  ложно,

то вычисляют  $P_2$ . В том случае, если и  $P_2$  оказывается ложным, то состояние  $b_i$  остается неопределенным. Решающую процедуру выполняют повторно только после изменения хотя бы одного из аргументов  $P_1$  или  $P_2$ .

Если решающая позиция  $b_i \cap (B/V_P)$ , то ее состояние устанавливают обычным для сетей Петри образом при срабатывании переходов сети.

Функционирование перехода Е-сети определяют как последовательность четырех фаз:

1. Фаза псевдоготовности присутствует для тех переходов  $d_j$ , для которых все входные нерешающие позиции промаркированы: выполнение решающей процедуры перехода.
2. Фаза готовности: вычисление  $t(d_i)$  и установка активной фазы.
3. Активная фаза, длительность которой определяют вычисленным значением  $t(d_i)$ : ведение операций над описателями меток.
4. Заключительная фаза: изменение разметки в соответствии с уравнениями перехода.

Составление Е-сетевой модели системы значительно упрощается при использовании иерархического подхода к структуре модели, когда ряд наиболее часто встречающихся подсетей выделяют в качестве макроэлементов – макропозиций и макропереходов. Необходимыми элементами Е-сетевой модели являются обычно макропозиция генератора  $G_E$  и поглощающая метки макропозиция  $A_E$ .

Рассмотрим некоторые примеры моделирования сетями отдельных комплексов лесных машин.

### 1. Комплекс машин, используемый в ОАО «Луковецкий ЛПХ» с технологической схемой тимберджек + ЛТ-154 А (рис. 1.)

Исходя из местных условий и необходимости использования имеющейся техники, валочно-пакетирующая машина (тимберджек-618) срезает

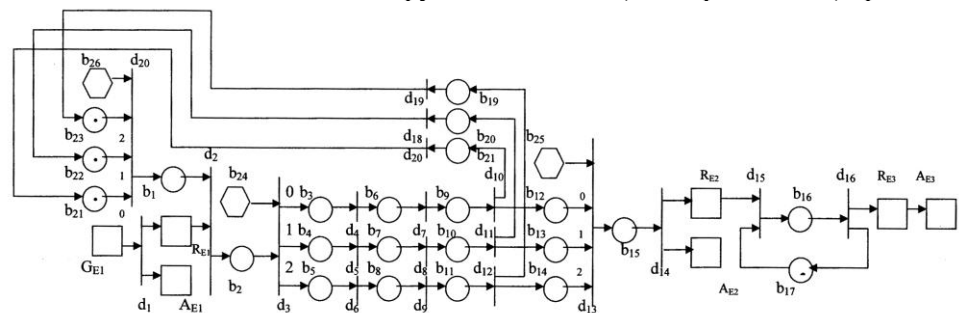


Рис. 1. Общая схема Е-сети лесозаготовительного участка ОАО «Луковецкий ЛПХ»:  $G_{E1}$  – складирование хлыстов валочно-пакетирующей машиной в пачки,  $b_{3-5}$  – погрузка пакетов на трелевочные машины,  $b_{6-8}$  – транспортировка,  $b_{9-11}$  – разгрузка,  $b_{16}$  – работа сучкорезных машин;  $b_{18-20}$  – холостой ход трелевочных машин;  $R_{E1}$  – общий объем поваленных деревьев;  $R_{E2}$  – общий объем стрелеванных пачек;  $R_{E3}$  – объем заготовленной древесины;  $A_{E1}$ ,  $A_{E2}$ ,  $A_{E3}$  – терминаторы; описатели меток:  $M(b_i(1))$  – объем пачки, перевозимой трелевочной машиной,  $M(b_i(2))$  – номер трелевочной машины;  $\circ$  – позиция,  $\square$  – макропозиция

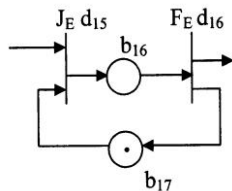


Рис. 2. Модель сучкорезной машины

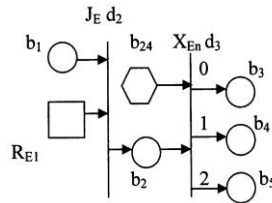


Рис. 3. Модель загрузки трелевочной машины

до 250 м<sup>3</sup> в смену и складывает их в пачки, которые транспортируют три машины для трелевки пачек деревьев ЛТ-154 А. Затем выполняют обрезку сучьев и погрузку хлыстов на лесовозный транспорт. Рассмотрим более подробно некоторые отдельные элементы схемы.

На рис. 2 представлена модель сучкорезной машины. Маркировка позиции показывает, что машина свободна. Переход d<sub>15</sub> (типовой переход объединения J<sub>E</sub>) может сработать, когда есть сырье и свободна машина (позиция b<sub>17</sub>), в этом случае метка будет помещена в позицию b<sub>16</sub>, а из всех входных позиций метки будут удалены, т.е. это имитирует обработку древесины сучкорезной машиной. По окончании обработки, через срабатывание перехода d<sub>16</sub> (типовой переход разветвления F<sub>E</sub>), метка изымается из позиции b<sub>16</sub> и размещается по двум направлениям: перемещение сырья по этапам обработки и помещение в позицию b<sub>17</sub> (машина свободна).

Второй элемент модели, имитирующий сбор пачки трелевочной машиной, представлен на рис. 3.

В данном элементе схемы маркировка позиции b<sub>1</sub> означает готовность трелевочной машины к загрузке. В случае, если набралось достаточное количество хлыстов для погрузки и трелевочная машина готова к работе, срабатывает переход d<sub>2</sub> (типовой переход объединения J<sub>E</sub>), после этого метка помещается в позицию b<sub>2</sub> (загрузка трелевочной машины), а из всех входных позиций изымается по метке. После окончания загрузки, в зависимости от маркировки позиции b<sub>24</sub>, значение которой зависит от номера трелевочной машины, метка через макропереход X<sub>En</sub> (создан на основе типового управляемого перехода разветвления X<sub>E</sub>) перемещается в одну из позиций b<sub>3-5</sub>, т.е. начало перевозки пачки трелевочной машиной.

Ниже представлен символичный вариант схемы, приведенной на рис. 1.

$$\begin{aligned}
 d_1 &= (F_E(G_{E1}, R_{E1}, A_{E1}); 0; |R_{E1}| := |R_{E1}| + M(G_{E1}(2))); \\
 d_2 &= (J_E(b_1, R_{E1}, b_2); 0; |R_{E1}| := |R_{E1}| - f_1(M(b_1(2)), M(b_2(1))) := f_1(M(b_1(2))); \\
 d_3 &= (X_E(b_{24}, b_2, b_3, b_4, b_5); 0; -); \\
 d_4 &= (T_E(b_3, b_6); f_2(M(b_3(2)), M(b_3(1))); -); \\
 d_5 &= (T_E(b_4, b_7); f_2(M(b_4(2)), M(b_4(1))); -); \\
 d_6 &= (T_E(b_5, b_8); f_2(M(b_5(2)), M(b_5(1))); -); \\
 d_7 &= (T_E(b_6, b_9); f_3(M(b_6(2))); -); \\
 d_8 &= (T_E(b_7, b_{10}); f_3(M(b_7(2))); -); \\
 d_9 &= (T_E(b_8, b_{11}); f_3(M(b_8(2))); -);
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d_{10} &= (F_E(b_9, b_{12}, b_{18}); f_4(M(b_9(1)), M(b_9(2))))); -); \\
d_{11} &= (F_E(b_{10}, b_{13}, b_{19}); f_4(M(b_{10}(1)), M(b_{10}(2))))); -); \\
d_{12} &= (F_E(b_{11}, b_{14}, b_{20}); f_4(M(b_{11}(1)), M(b_{11}(2))))); -); \\
d_{13} &= (Y_E(b_{25}, b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{15}); 0; -); \\
d_{14} &= (F_E(b_{15}, R_{E2}, A_{E2}); 0; |R_{E2}| := |R_{E2}| + M(b_{15}(1))); \\
d_{15} &= (J_E(R_{E2}, b_{17}, b_{16}); 0; M(b_{16}(1)) := f_5, |R_{E2}| := |R_{E2}| - M(b_{16}(1))); \\
d_{16} &= (F_E(b_{16}, R_{E3}, b_{17}); f_6(M(b_{16}(1))); |R_{E3}| := |R_{E2}| - f_6(M(b_{16}(1)))); \\
d_{17} &= (T_E(b_{18}, b_{21}); f_8(M(b_{18}(2))))); -); \\
d_{18} &= (T_E(b_{19}, b_{22}); f_8(M(b_{19}(2))))); -); \\
d_{19} &= (T_E(b_{20}, b_{23}); f_8(M(b_{20}(2))))); -).
\end{aligned}$$

Детализация  $G_{E1}$  (рис. 4):

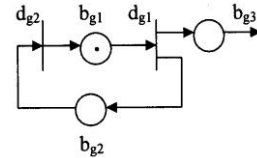


Рис. 4. Модель формирования пачек

$$\begin{aligned}
d_{g1} &= (F_E(b_{g1}, b_{g2}, b_{g3}); f_9; M(b_{g3}(1)) := f_{10}); \\
d_{g2} &= (T_E(b_{g2}, b_{g1}); 0; -).
\end{aligned}$$

Решающие процедуры:

$$\begin{aligned}
r(b_{24}) &= [M(b_2(2)) = 0 \rightarrow M(b_{24}) : 0; M(b_2(2)) = 1 \rightarrow M(b_{24}) : = 1; \\
&M(b_2(2)) = 2 \rightarrow M(b_{24}) : = 2]; \\
r(b_{25}) &= [M(b_{25}) : = 0]; \\
r(b_{26}) &= [M(b_{26}) : = 0].
\end{aligned}$$

Расшифруем используемые в этих формулах функции:

- $f_1(x_1)$  – функция объема пачки, перевозимой трелевочной машиной ( $x_1$  – тип трелевочной машины,  $x_2$  – объем загружаемой древесины);
- $f_2(x_1, x_2)$  – функция продолжительности загрузки трелевочной машины;
- $f_3(x_1)$  – функция продолжительности транспортировки;
- $f_4(x_1, x_2)$  – функция продолжительности разгрузки;
- $f_5$  – функция объема древесины, загружаемой в сучкорезную машину;
- $f_6(x_2)$  – функция продолжительности обработки сучкорезной машиной;
- $f_7(x_2)$  – объем выхода из сучкорезной машины;
- $f_8(x_1)$  – функция продолжительности холостого хода трелевочной машины;
- $f_9$  – функция продолжительности поступления древесины на погрузку;
- $f_{10}$  – функция объема поступающей на погрузку древесины.

## 2. Комплекс машин с технологической схемой харвестер+форвардер (рис. 5)

Символьный вариант схемы на рис. 5 имеет вид:

$$\begin{aligned}
d_1 &= (T_E(b_3, b_1); f_1(M(b_3(1))))); -); \\
d_2 &= (T_E(b_1, b_2); f_2(M(b_1(1))); M(b_2(1)) := f_3(M(b_1(1)))); \\
d_3 &= (F_E(b_2, R_{E1}, b_3); f_4(M(b_2(1))); |R_{E1}| := |R_{E1}| + f_5(M(b_2(1))); M(b_3(1)) := f_6); \\
d_4 &= (J_E(R_{E1}, b_7, b_4); f_{13}; M(b_4(1)) := f_7, |R_{E1}| := |R_{E1}| - M(b_4(1))); \\
d_5 &= (T_E(b_4, b_5); f_8(M(b_4(1))); M(b_5(1)) := f_9(M(b_4(1)))); \\
d_6 &= (T_E(b_5, b_6); f_{10}); -); \\
d_7 &= (F_E(b_6, R_{E2}, b_7); f_{11}(M(b_6(1))); |R_{E2}| := |R_{E2}| + f_{12}(M(b_6(1))), M(b_7(1)) := 0).
\end{aligned}$$

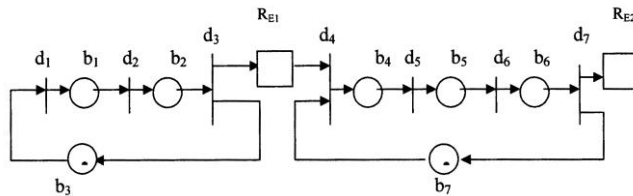


Рис. 5. Модель комплекса харвестер+форвардер:  $b_3$  – валка дерева,  $b_1$  – обрезка сучьев,  $b_2$  – выработка сортиментов;  $R_{E1}$  – общий объем выработанных сортиментов;  $b_4$  – загрузка сортиментов на форвардер,  $b_5$  – транспортировка сортиментов,  $b_6$  – разгрузка сортиментов,  $b_7$  – холостой ход форвардера,  $R_{E2}$  – общий объем сортиментов на погрузочном пункте; описатели меток:  $M(b_i(1))$  – объем древесины на соответствующей операции

Расшифруем используемые в этих формулах функции:

$f_1(x_1)$  – функция продолжительности валки дерева ( $x_1$  – объем древесины);

$f_2(x_1)$  – функции продолжительности обрезки сучьев;

$f_3(x_1)$  – функция потерь при обрезке сучьев;

$f_4(x_1)$  – функция продолжительности заготовки сортиментов;

$f_5(x_1)$  – функция потерь при заготовке сортиментов;

$f_6$  – функция объема дерева к валке;

$f_7$  – функция объема сортиментов, погружаемых на форвардер;

$f_8(x_1)$  – функция продолжительности погрузки сортиментов на форвардер;

$f_9(x_1)$  – функция потерь при погрузке сортиментов;

$f_{10}$  – функция продолжительности транспортировки сортиментов;

$f_{11}(x_1)$  – функция продолжительности разгрузки сортиментов;

$f_{12}(x_1)$  – функция потерь при разгрузке сортиментов;

$f_{13}$  – функция продолжительности холостого хода форвардера.

*Лесозаготовки с использованием харвардера (рис. 6)*

Решающая процедура:

$$r(b_3) = [M(b_2(2)) < f_1 \rightarrow M(b_3) := 0; M(b_2(2)) \geq f_1 \rightarrow M(b_3) := 1].$$

Символьный вариант схемы на рис. 6:

$$d_1 = (T_E(b_5, b_1); f_1(M(b_5(1))); -);$$

$$d_2 = (T_E(b_1, b_2); f_2(M(b_1(1))); M(b_2(1)) := f_3(M(b_1(1)));$$

$$d_3 = (X_E(b_3, b_2, b_4, b_5); f_4(M(b_2(1))); M(b_2(2)) := M(b_2(2)) + f_5(M(b_2(1))),$$

$$M(b_5(1)) := f_{10};$$

$$d_4 = (T_E(b_4, b_6); f_6; -);$$

$$d_5 = (F_E(b_6, R_{E1}, b_7); f_7(M(b_6(2))); |R_{E2}| := |R_{E2}| + f_8(M(b_6(2))), M(b_7(2)) := 0);$$

$$d_6 = (T_E(b_7, b_5); f_9; M(b_5(1)) := f_{10}).$$

Расшифруем используемые в этих формулах функции:

$f_1(x_1)$  – функция продолжительности валки дерева ( $x_1$  – объем древесины на соответствующей операции);

$f_2(x_1)$  – функция продолжительности обрезки сучьев;

$f_3(x_1)$  – функция потерь при обрезке сучьев;

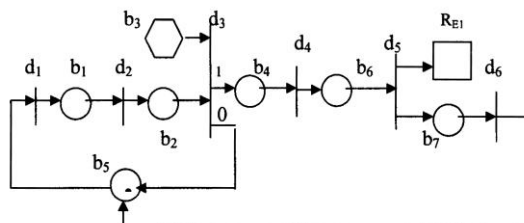


Рис. 6. Модель лесозаготовки с использованием харвардера:  $b_5$  – валка дерева,  $b_1$  – обрезка сучьев,  $b_2$  – заготовка сортиментов;  $b_4$  – транспортировка сортиментов;  $b_6$  – разгрузка сортиментов;  $b_7$  – холостой ход;  $R_{E1}$  – общий объем сортиментов на погрузочном пункте; описатели меток:  $M(b_i(1))$  – объем древесины на соответствующей операции;  $M(b_i(2))$  – объем древесины на харвардере

$f_4(x_1)$  – функция продолжительности заготовки и загрузки сортиментов;

$f_5(x_1)$  – функция потерь при заготовке сортиментов;

$f_6$  – функция продолжительности транспортировки;

$f_7(x_1)$  – функция продолжительности разгрузки сортиментов;

$f_8(x_1)$  – функция потерь при разгрузке сортиментов;

$f_9$  – функция продолжительности на холостой ход;

$f_{10}$  – функция объема срезанного дерева.

Таким образом, с помощью аппарата E-сетей наглядно и однозначно отображается динамика параллельных процессов функционирования лесных машин.

Полученные формальные модели были реализованы с помощью специализированных средств моделирования GPSS.

Рассмотрим имитационное моделирование E-схемы (см. рис. 1). Исходя из условий эксплуатации реальных комплексов машин, нами приняты следующие исходные данные: средний объем дерева  $0,35 \text{ м}^3$ , средний объем перевозимой пачки  $10 \text{ м}^3$ , средняя продолжительность рабочего хода трелевочной машины 65 мин, средняя продолжительность холостого хода 15 мин.

В результате моделирования получен ряд статистических данных:

а) распределение объема межоперационного запаса деревьев на лесосеке (рис. 7);

б) распределение объема межоперационного запаса у сучкорезной машины (рис. 8).

В целом результаты моделирования соответствуют реальным показателям, что подтверждает адекватность используемого математического и программного обеспечения.

При широком внедрении систем интеллектуальной поддержки принятия решений в лесном секторе станут актуальными и вопросы автоматизации разработки имитационных алгоритмов. Известны методики автоматизации перехода от функциональных моделей процессов к сетям Петри [4],

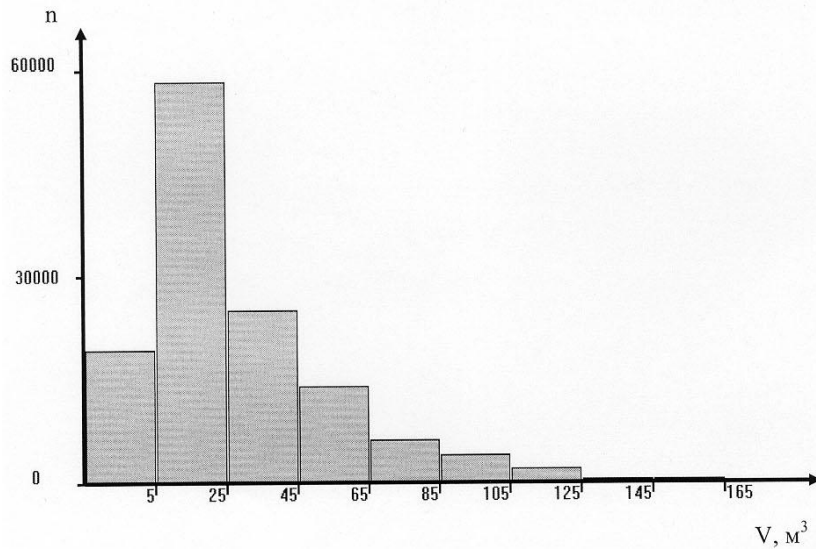


Рис. 7. Распределение объема межоперационного запаса деревьев на лесосеке ( $n$  – частота,  $V$  – объем)

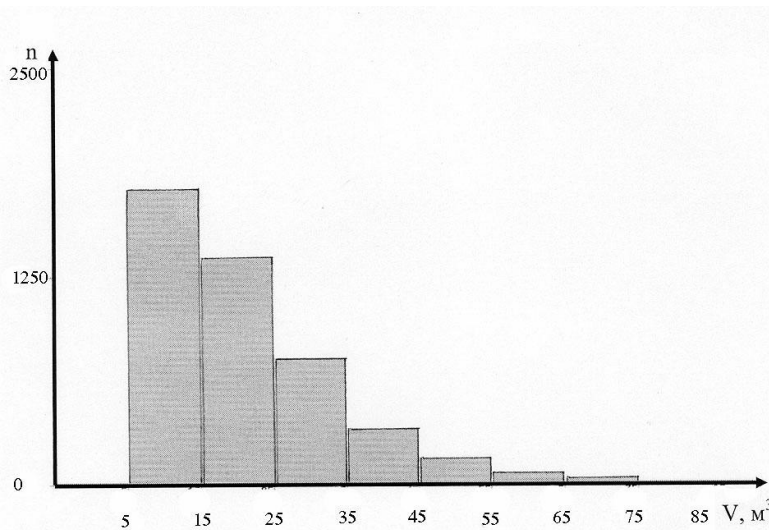


Рис. 8. Распределение объема межоперационного запаса деревьев у сучкорезной машины

которые позволяют генерировать сети из SADT и DFD диаграмм. Для условий лесного сектора нами разработаны функциональные модели [2] процессов, являющиеся основой для перехода к Е-сетям. Генерация моделирующих алгоритмов из Е-сетей возможна различными методами. Нами проанализированы и обоснованы основные подходы к автоматической генерации имитационных моделей комплексов лесных машин. Так, выявлены следующие соответствия между элементами Е-сети и объектами GPSS [3, 6, 7]:



1. Метка E-сети может быть представлена динамическим объектом GPSS, т.е. транзактом.
2. Описатели меток аналогичны параметрам транзактов GPSS.
3. Позиция E-сети идентична накопителю единичной емкости или каналу.
4. Решающие позиции  $b_i \cap B_R$  в зависимости от принадлежности к множеству  $B_P$  реализуются двумя способами: а) если  $b_i \cap B_P$ , то  $b_i$  эквивалентна набору объектов типа булевых переменных; б) если  $b_i \cap B/B_P$ , то  $b_i$  может быть представлена накопителем единичной емкости или каналом.
5. Временные параметры переходов  $t(d_i)$  реализуются ADVANCE.
6. Операции вычисления предикатов соответствует применение блока TEST, изменяющего маршруты транзактов в сочетании с булевыми переменными.
7. Операции процедуры перехода над описателями меток выполняются с помощью блоков ASSIGN в сочетании с арифметическими переменными.
8. Хранение значений описателей меток и ресурсов можно имитировать путем записи значений параметров транзактов в ячейки хранимых значений с помощью блока SAVEVALUE.
9. Процессы синхронизации движения меток через переход и удаления меток из решающей позиции  $b_i \cap B_R$  могут быть обеспечены с помощью логических переключателей (LOGIC S и LOGIC R).
10. Макропозиция генератора аналогична блоку GENERATE.
11. Макропозиция поглощения функционально идентична блоку TERMINATE.
12. Макропозиция очереди может интерпретироваться в GPSS записью транзакта в цепь пользователя.

#### *Выводы*

1. Применение математического аппарата сетей Петри позволит формализовать реальные процессы и повысить качество предложенных моделей работы комплексов лесных машин.
2. Модели, построенные на основе E-сетей, могут быть реализованы на различных инструментальных средствах моделирования (GPSS, Arena и т.п.), причем могут быть рассмотрены алгоритмы автоматического создания программных моделей.
3. Внедрение технологий автоматизированной генерации имитационных моделей будет способствовать проектированию и внедрению систем интеллектуальной поддержки принятия решений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов Ю.Ю., Сюнев В.С. Экологическая оптимизация технологических процессов и машин для лесозаготовок. – Йоэнсуу: Изд-во ун-та Йоэнсуу, 1998. – 178 с.
2. Гурьев А.Т., Абрамова Л.В., Кузнецова Е.А. Функциональное моделирование процессов лесного комплекса. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2003. – 123 с.

3. *Гурьев А.Т.* и др. Моделирование лесозаготовительных процессов на GPSS / А.Т. Гурьев, Д.Л. Сизов, Е.А. Остапенко, А.А. Остапенко // Методич. указания к выполнению лабор. работ по имитационному моделированию. – Архангельск: РИО АГТУ, 1995. – 64 с.

4. *Кальянов Г.Н.* CASE-технологии. Консалтинг при автоматизации бизнес-процессов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2000. – 320 с.

5. *Питерсон Дж.* Теория сетей Петри и моделирование систем / Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 264 с.

6. *Советов Б.Я.* и др. Применение микропроцессорных средств в системах передачи информации / Б.Я. Советов, О.И. Кутузов, Ю.А. Головин, Ю.В. Аветов // Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1987. – 256 с.

7. *Советов Б.Я., Яковлев С.А.* Моделирование систем. – М.: Высш. шк., 1998. – 319 с.

8. *Шеннон Р.* Имитационное моделирование систем: искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 419 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 30.04.04

*A.T. Gurjev, A.A. Blok*

### **Simulation of Forest Machine Complexes Operation**

It was found that use of E-networks for formalizing operation processes of machine complexes allows to increase the efficiency of simulation models development.

