

КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ УЧЕБНЫХ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 674.093

Р.Е. КАЛИТЕЕВСКИЙ, А.С. ГУДКОВ, А.В. ВИНОГОРСКИЙ, С.А. СМИРНОВА

С.-Петербургская лесотехническая академия



Калитеевский Ростислав Евгеньевич родился в 1924 г., окончил Всесоюзный заочный лесотехнический институт (при Ленинградской лесотехнической академии), профессор, доктор технических наук, профессор кафедры лесопильного производства и гидротермической обработки древесины С.-Петербургской лесотехнической академии, академик РАЕН, заслуженный деятель науки РФ, чл.-кор. МАН ВШ. Имеет более 140 печатных трудов в области технологии, оборудования и систем управления лесопильного производства.



Гудков Алексей Сергеевич родился в 1961 г., окончил в 1987 г. Ленинградскую лесотехническую академию, аспирант кафедры лесопильного производства и гидротермической обработки древесины С.-Петербургской лесотехнической академии. Имеет около 10 печатных работ в области технологии лесопиления.



Виногорский Алексей Викторович родился в 1976 г., магистрант кафедры автоматизации производственных процессов С.-Петербургской лесотехнической академии.



Смирнова Светлана Анатольевна родилась в 1975 г., окончила в 1997 г. С.-Петербургскую лесотехническую академию, аспирант кафедры лесопиления и гидротермической обработки древесины С.-Петербургской лесотехнической академии. Имеет 2 печатные работы в области совершенствования раскрытия древесины.

КОМПЬЮТЕРИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ СОРТИРОВКИ, СКЛАДИРОВАНИЯ И РАСКРОЯ ПИЛОВОЧНИКА

Показано, что использование имитационной модели позволяет определять рациональные значения основных технологических параметров, включая коэффициент загрузки лесопильного цеха во времени практически с любой номенклатурой оборудования для системы линия сортировки бревен – склад рассортированного сырья – лесопильный цех.

It is shown that the use of the simulation model allows determining the rational values of the main technological parameters, including the coefficient of time utilization of sawmill shop equipped practically with any assortment for the system log sorting line – storage for the sorted wood – sawmill shop.

Целью статьи является компьютеризация нового метода расчета производственной мощности лесопильных цехов и предприятий, а также имитации процесса системы сортировка бревен – склад рассортированного сырья – лесопильный цех. Это значительно повышает достоверность и скорость расчетов, необходимых как на существующих, так и на реконструируемых и новых лесопильных предприятиях.

Общий алгоритм программы имитации, расчета производительности и основных параметров процессов сортировки, складирования и раскроя пиловочника представлен на рис. 1. В него входят подпрограммы имитационного цикла процесса системы сортировка бревен – склад рассортированного сырья – лесопильный цех и расчета производительности лесопильного цеха по методике Р.Е. Калитеевского [1, 2].

К исходным данным (блок 1) относятся: кривая распределения сырья по диаметрам; структура лесопильного цеха; интенсивность работы сортировочной линии бревен; коэффициент превышения работы сортировочной линии над производительностью лесопильного цеха; средняя длина бревна с межторцовым разрывом; коэффициент превышения минимальных партий запуска рассортированных бревен; случайное число для определения вероятностной величины коэффициента технического использования для каждого бревнопильного потока; планируемый период работы лесопильных потоков; время имитации работы системы; границы сортировочных групп бревен с их распределением по бревнопильным потокам; посылки и скорости обработки принятых сортировочных групп бревен; требуемый объем обрабатываемого сырья.

В блоке 2 общего алгоритма имитационной модели осуществляется подготовка введенных исходных данных: расчет объема бревна каждого диаметра и вычисление процента бревен по кривой распределения сырья по диаметрам с шагом 1 ... 5 мм.

Подпрограмма осуществляет расчет производительности с учетом среднестатистического коэффициента технического использования для конкретного предприятия и предполагает его определение с вводом временных

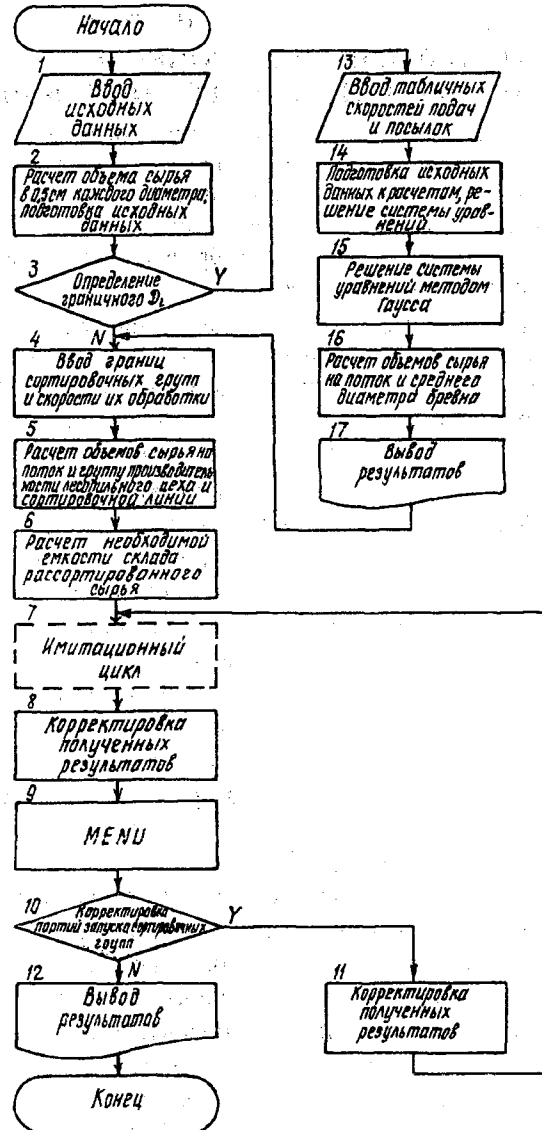


Рис. 1. Общий алгоритм имитационной модели SCLAD-10

параметров по фотографии дня, что позволяет находить границы сортiroвочных групп бревен.

При вводе исходных данных в программу имитации системы учитывают количество и тип бревнопильного оборудования в рассматриваемом лесопильном цехе. Затем производят выбор варианта расчета коэффициента технического использования $K_{т.и}$. При выборе первого варианта ($K_{т.и}$ принимают по среднестатистическим данным предприятия) осуществляют ввод коэффициентов технического использования, машинного времени и коэффициента, учитывающего «скрытые» потери. При выборе второго варианта

вводят временные параметры; определенные по фотографии дня для каждой конкретной бревнопильной линии, затем определяют $K_{т.и.}$ При последующих расчетах учитывают только одну линию, умножая результат на число ей подобных.

Далее для построения таблицы проводят расчет производительности j -й бревнопильной линии для i -го диаметра бревна и числа смен работы при распиловке закрепленных за ней бревен заданных диаметров. Составленная система уравнений решается методом Гаусса. Перебор числа смен работы бревнопильных линий и их приблизительное равенство дает возможность определять граничные диаметры между потоками и среднесменную производительность лесопильного цеха.

В качестве дополнительных результатов вычисляют объем сырья в процентах на каждый поток, а также долю сырья в процентах и его объем, приходящиеся на каждый поток с граничного диаметра.

Ввод границ сортировочных групп бревен, скорости их обработки, расчет объемов сырья на поток и сортировочную группу, производительности сортировочной линии с учетом производительности лесопильного цеха и коэффициента превышения производительности сортировочной линии над производительностью лесопильного цеха и необходимой емкости склада рассортированного сырья производят в блоках 4 и 5 (рис. 1).

На следующем этапе программа переходит к имитации производственного процесса системы сортировка бревен – склад рассортированного сырья – лесопильный цех.

В случае достаточности сырья в накопленной партии запуска подпрограмма суммирует обработанное сырье данной сортировочной группы, производит уменьшение партии запуска на обработанный объем пиловочника, заполнение выводных массивов и результатов, сравнение обработанных и оставшихся в партии запуска объемов сырья для определения последующего состояния бревнопильного потока.

Осуществляется проверка состояния работы сортировочной линии, а в зависимости от полученных текущих результатов – ее включение или выключение.

В подпрограмме присутствует фиксатор, по которому регистрация обработанного сырья в лесопильном цехе начинается только при достаточности сырья в партиях запуска для всех бревнопильных потоков, а также фиксируется начальная емкость склада рассортированного сырья. При этом производится перерасчет интенсивности работы сортировочной линии с учетом введенного коэффициента превышения ее производительности над производительностью лесопильного цеха, так как накопление необходимого запаса идет с максимальной технически возможной интенсивностью сортировочной линии.

После перебора всех сортировочных групп бревен подпрограмма вновь возвращается в начало, в котором таймер увеличивается на шаг расчета имитации.

Завершение имитационного цикла производится либо по заказанному времени имитации, либо по требуемому объему распиловки бревен с возможностью продолжить имитацию для последующих итераций.

Коэффициент загрузки оборудования лесопильного цеха определяется отношением производственной мощности, полученной при расчете и имитации.

Конечные результаты приведены на распечатке данных имитации.

SCLAD-10

№ потока	№ сорт. группы	от см	до см	Емкость склада, м ³	Произв. л/потока, м ³ /смена	Обработ. л/потоком, м ³	Период работы л/ц, смен
1	1	11	14,5	96	189	561	0,5
1	2	15	18,5	194	324	2737	0,5
2	3	19	21,5	115	184	3486	0,5
3	4	22	23,5	489	213	1489	0,5
3	5	24	26,5	631	225	2802	0,5
4	6	27	31,5	239	269	2685	0,5
4	7	32	41,5	182	344	2401	0,5
4	8	42	52	238	264	131	0,5

1. На складе к концу имитации, м³ – 1959
2. Обработано в лесопильном цехе, м³ – 16297
Всего рассортировано за время имитации, м³ – 18251
3. Время накопления начального оперативного запаса, ч – 3
4. Время простоя бревнопильных потоков, ч
ЛФП – 71,0
ЛР – 15,3
ЛР – 8,3
ЛР – 27,3
5. Коэффициент превышения работы сортировочной линии над производительностью лесопильного цеха – 1,4
6. Коэффициент превышения минимальных партий запуска бревен – 2,0
7. Интенсивность работы сортировочной линии после накопления оперативного запаса, бр/мин – 22,0
8. Производственная мощность лесопильного цеха с принятыми сортировочными группами, м³/год – 370523
9. Емкость склада, м³
для начального оперативного запаса – 1886
необходимый запас – 2014
10. Количество смен – 21,3
11. Остановы сортировочной линии, ч – 112
12. Производительность лесопильного цеха, м³/смена – 779,1

Кривая распределения сырья по диаметрам, %

12,0 – 0,07; 14,0 – 1,16; 16,0 – 6,41; 18,0 – 8,58; 20,0 – 13,22; 22,0 – 13,85;
24,0 – 10,00; 26,0 – 12,25; 28,0 – 9,17; 30,0 – 9,67; 32,0 – 4,99; 34,0 – 6,77;
36,0 – 2,95; 38,0 – 2,65; 40,0 – 0,88; 42,0 – 1,31; 44,0 – 0,49; 46,0 – 0,16;
48,0 – 0,03; 50,0 – 0,05; 52,0 – 0,03.

При выводе полученных результатов на экране монитора появляется меню программы, позволяющее повторить режим имитации после изменения следующих параметров: кривой распределения сырья по диаметрам; компоновки цеха; границ сортировочных групп; режима имитации следующей итерации.

Оценку погрешности имитации, обусловленную наличием в программе имитационной модели генераторов псевдослучайных чисел, производили по методике [3]. Для определения погрешности имитации использовали метод, основанный на определении величины доверительного интервала для каждой компоненты вектора отклика и выборе максимального значения.

В качестве примера для определения погрешности имитации был взят ЛДК-3 (г. Архангельск), как наиболее типичный для Северо-Западного региона России. Исходные данные: характеристика оборудования, относящаяся к моделированию системы линия сортировки бревен – склад рассортированного сырья – лесопильный цех; характеристика пиловочника, коэффициенты машинного времени, технического использования и коэффициент, учитывающий «скрытые» потери.

В качестве функции отклика был принят коэффициент технического использования лесопильного цеха. Всего было проведено три эксперимента с различными планируемыми периодами работы лесопильного цеха по десять повторений. Полученные экспериментальные результаты показали, что использование применяемых в модели генераторов псевдослучайных чисел допустимо.

В состав технологического оборудования комбината входят: сухопутная сортировочная линия БС-60 и лесопильный цех с тремя потоками на базе двухэтажных рам 2Р-75-1(2) и одного потока на базе фрезернобрусующего станка ФБС-750, спаренного с многопильным станком СБ-8М.

На линию агрегатной переработки сырья поступают бревна диаметром до 16 см, в некоторых случаях до 20 см. Среднегодовая кривая распределения сырья по диаметрам показала, что средний диаметр бревен составляет 18 см.

Согласно методике [2] были выполнены аналитические расчеты на 1000 м³ сырья и определены среднесменная производительность лесопильного цеха и фактическая годовая производительность лесопильного предприятия. В расчетах принято 20 сортировочных групп бревен, а так как в цехе установлено три однотипных потока на базе лесопильных рам, то расчеты производили при утроенной фактической производительности одной из линий. При таком расчете получен только один граничный диаметр между линией ЛФП и тремя рамными потоками (3 Л/Р).

Для упрощения расчета производительности лесопильного цеха составлена табл. 1, где фиксируется i -й диаметр бревна, см; q_i – объем бревна i -го диаметра заданной длины, м³; $\sum V_{бpi}$ – объем бревен i -го диаметра в 1000 м³ сырья при заданном среднем диаметре, м³.

Таблица 1

d, см	q _i , м ³	ΣV _{бр i}	Q _j , м ³ /см.		U _{рj} , м/мин		Δ, мм		n _{см}	
			ЛФП	3 ЛР	ЛФП	3 ЛР	1	2		
12	0,0732	6,0	189,8	-	40	45	0,032	-	-	-
14	0,0981	75,0	254,4	283,1	40	45	0,322	2,1000	-	-
16	0,1286	209,0	333,5	371,1	40	45	0,950	1,8380	-	-
18	0,1592	197,0	412,8	439,0	40	43	1,500	1,2800	-	-
20	0,1954	165,0	506,7	526,3	40	42	1,780	0,8275	-	-
22	0,2354	132,0	534,1	588,7	35	39	2,030	0,5175	-	-
24	0,2791	74,0	633,2	644,3	35	36	-	0,2975	-	-
26	0,3265	64,0	740,8	711,9	35	34	-	0,1875	-	-
28	0,3777	28,0	-	775,0	35	32	-	0,0975	-	-
30	0,4327	22,0	-	832,4	35	30	-	0,0615	-	-
32	0,4914	19,0	-	850,8	30	27	-	0,0355	-	-
34	0,5539	8,0	-	923,5	30	26	-	0,0135	-	-
36	0,6202	3,0	-	994,3	30	25	-	0,0105	-	-
38	0,6902	3,0	-	1062,2	30	24	-	0,0075	-	-
40	0,7639	1,0	-	1077,9	-	22	-	0,0047	-	-
42	0,8415	1,0	-	1079,2	-	20	-	0,0038	-	-
44	0,9227	1,0	-	1124,2	-	19	-	0,0029	-	-
46	1,0078	0,5	-	1098,6	-	17	-	0,0020	-	-
48	1,0966	0,5	-	1125,1	-	16	-	0,0015	-	-
50	1,1891	0,5	-	1143,8	-	15	-	0,0010	-	-
52	1,6253	0,5	-	1042,2	-	10	-	0,0005	-	-

Сменную производительность линии по раскрою тонкомерных бревен рассчитывали по формуле

$$Q_j = \frac{U}{l_{cp}} K_m K_N K_{т.и} T_c q_i = \frac{U}{5,1} \cdot 0,875 \cdot 0,96 \cdot 0,82 \cdot 480 \cdot q_i,$$

где K_m – коэффициент использования машинного времени;

K_N – коэффициент скрытых потерь;

$K_{т.и}$ – коэффициент технического использования;

T_c – число смен.

Сменную производительность трех (n) рамных линий рассчитывали по формуле

$$Q_j = \frac{\Delta \cdot n}{1000 l_{cp}} K_m K_N K_{т.и} T_c q_i n_{п} = \frac{\Delta \cdot 325}{5100} \cdot 0,875 \cdot 0,96 \cdot 0,845 \cdot 480 \cdot q_i \cdot 3,$$

где Δ – посылка.

Затем определяли число смен $n_{см}$, необходимых для распиловки бревен i -го диаметра, объем которых в 1000 м³ сырья составил $\sum_n V_{бр i}$.

Решая систему линейных уравнений

$$\begin{cases} 0,95 + X = 0,8275 + Y; \\ 412,8X + 439Y = 197, \end{cases}$$

получаем $X = 0,168$ и $Y = 0,29$ (где X – число смен, необходимых для распиловки части бревен граничного диаметра 18 см; Y – число смен, необходимых для распиловки другой части бревен этого же диаметра).

Проверку осуществляли по следующему равенству:

$$n_{\text{см}} = 0,95 + 0,168 = 0,8275 + 0,29 = 1,118.$$

Среднесменная производительность цеха, м³/см.,

$$Q_{\text{ср.см}} = \frac{1000}{1,118} = 894,45.$$

Годовая фактическая производительность лесопильного предприятия при работе в две смены ($T_c = 2$) и числе рабочих дней в году 250, а также коэффициенте загрузки лесопильного цеха $K_z = 1$ составит, м³/год,

$$Q_{\phi} = Q_{\text{ср.см}} \cdot T_c \cdot K_{\text{т.н}} \cdot K_z \cdot K_r = 894,45 \cdot 2 \cdot 250 \cdot 0,96 \cdot 1 \cdot 0,95 = 407779,75,$$

где K_z – коэффициент загрузки;

K_r – поправочный коэффициент на среднегодовые условия работы лесопильного завода.

Имитационное моделирование системы линия сортировки бревен – склад рассортированного сырья – лесопильный цех осуществляли для раскроя пиловочника объемом 16 200 м³, т.е. среднемесячного объема бревен, раскраиваемых в 90-х годах на предприятии.

Определение времени раскроя 1000 м³ бревен (или меньшего объема) проводили при повторе итерации, но уже с меньшим, чем 16 200 м³, объемом бревен. При этом следует учитывать, что кривая распределения сырья полностью изменяется.

Исследования проводили для 12 и 20 сортировочных групп бревен с коэффициентом превышения партий запуска $K_{\text{пр}}$, равным 2 и 4. Полученные результаты сведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели	Значения показателей для различных сортировочных групп бревен и коэффициентов $K_{\text{пр}}$			
	12 групп		20 групп	
	2	4	2	4
Производственная мощность лесопильного цеха, м ³ /год, с принятыми сортировочными группами	294 989,1	399 102,4	288 047,8	364 397,9
Число смен для раскроя 16 200 м ³ сырья	26,60	19,67	27,30	21,56
Производительность лесопильного цеха, м ³ /см.	608,2	822,9	593,9	751,3
Коэффициент загрузки	0,680	0,920	0,664	0,840

Коэффициент загрузки рассчитывали как отношение фактической производительности лесопильного предприятия, полученной по программе имитации, к аналитической:

$$K_z = \frac{294989,10}{407779,75} = 0,72.$$

Экспериментальные исследования по определению влияния основных технологических факторов (планируемый период работы лесопильного цеха, коэффициент превышения производительности сортировочной линии над производительностью лесопильного цеха, средний диаметр бревна, чис-

до сортировочных групп бревен) на коэффициент загрузки лесопильного цеха проводили с перечисленными выше исходными данными.

При этом были приняты следующие допущения: бревна на линию сортировки поступают равномерно и в достаточном количестве; потери производительности линии сортировки на восстановление работоспособности отсутствуют, т. е. линия работает непрерывно, без остановок по причине отказов механизмов; подача пиловочника в лесопильный цех со склада рассортированного сырья производится без задержек; интенсивность работы сортировочной линии до накопления первоначального запаса максимальная (вводится пользователем); очередность выбора бревнопильным потоком следующей сортировочной группы производится по максимально накопившемуся объему сырья из всех групп, ориентированных на этот поток.

Однако обработка результатов эксперимента с помощью t -критерия Стьюдента показала незначимость коэффициентов таких переменных факторов, как средний диаметр бревна и коэффициент превышения интенсивности работы сортировочной линии над производительностью лесопильного цеха. Использование регрессионного анализа при обработке результатов эксперимента невозможно, во-первых, из-за недопустимости дробности коэффициентов у факторов планируемого периода работы бревнопильных потоков и количества сортировочных групп бревен, во-вторых, используемые в модели условия (спецификация сырья и пиломатериалов, структура лесопильного цеха и т.д.) носят частный характер, и при незначительном изменении одного из факторов происходит асинхронизация технологического процесса. В частности, фактор спецификации пиломатериалов (с указанными объемами выпилки определенных сечений) невозможно представить в уравнении регрессии, хотя его влияние очевидно.

Выбор уровней варьирования был обусловлен следующим. Планируемый период работы лесопильного цеха кратен полусмене вследствие затрат времени на перестановку пил при смене постава или при их заточке. Увеличение планируемого периода работы цеха более 1,5 смен нецелесообразно из-за резкого увеличения площади склада рассортированного сырья на группах бревен, ориентированных на один поток. Следует принять во внимание синхронизацию потоков пиломатериалов различных сечений между лесопильным цехом и сушильными камерами.

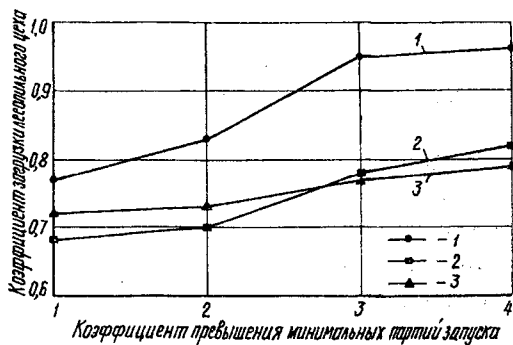


Рис. 2. График зависимости коэффициента загрузки лесопильного цеха от коэффициента превышения минимальных партий запуска бревен при различных итерациях

Исходя из условий базового предприятия (сортировка двух пород и сезонная поставка сырья на предприятие) рациональным следует считать сортировку на 12 ... 20 сортировочных групп бревен по четным (нечетным) диаметрам или группам четных (нечетных) диаметров. В имитационной модели рассмотрены диаметры бревен от 12 до 50 см, что при кратности в 2 см не превышает 20 сортировочных групп. Нижний уровень варьирования из 8 сортировочных групп принят из предыдущих исследований.

В ходе эксперимента было установлено, что средний диаметр бревен и коэффициент превышения производительности сортировочной линии над производительностью лесопильного цеха незначительно влияют на коэффициент загрузки лесопильного цеха.

На рис. 2 представлен график влияния коэффициента превышения минимальных партий запуска на коэффициент загрузки лесопильного цеха при различных итерациях, проведенных на имитационной модели. Различие итераций заключается в разнице накопления сырья во времени для различных сортировочных групп по принятой кривой распределения сырья. Как видно из рис. 2, увеличение коэффициента превышения минимальных партий запуска более трех существенно влияния на коэффициент загрузки не оказывает. Влияние числа сортировочных групп на коэффициент загрузки лесопильного цеха связано с их распределением по различным потокам.

Выводы

1. Применение имитационной модели линия сортировки бревен – склад рассортированного сырья – лесопильный цех позволяет определить рациональные значения основных технологических параметров, включая коэффициент загрузки лесопильного цеха во времени практически с любой номенклатурой оборудования в системе.

2. Ошибка (десятки процентов) коэффициента загрузки лесопильного цеха при аналитическом расчете объясняется тем, что не учитывается равномерность заполнения сортировочных групп сырьем во времени на планируемый период работы бревнопильного оборудования.

3. Разработанные методика, алгоритмы и программа могут быть использованы в качестве программно-методического обеспечения автоматизированных рабочих мест технологов лесопильных предприятий и систем автоматизированного проектирования информационных технологий лесопиления, а также в учебном процессе С-Петербургской лесотехнической академии при изучении дисциплины «Информационные технологии лесопиления», в курсовом и дипломном проектировании, при расчете производственных процессов промышленных лесопильных предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Калитеевский Р.Е. Новый метод расчета производительности лесопильных потоков, цехов и предприятий // Деревообраб. пром-сть, 1999. - № 1, 3. -
- [2]. Калитеевский Р.Е. Теория и организация лесопиления. - М.: Экология, 1995. - 352 с. [3]. Максимей И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ. - М.: Радио и связь, 1988. - 230 с.

Поступила 19 октября 1999 г.