

УДК 621.9

А.Н. Заикин, Л.И. Евельсон, Е.Г. Изюмова

Брянская государственная инженерно-технологическая академия

Евельсон Лев Игоревич родился в 1962 г., окончил в 1985 г. Брянский институт транспортного машиностроения, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет более 60 печатных работ в области математического моделирования, систем автоматизированного проектирования машин, информационных систем.
E-mail: levelmoscow@mail.ru



Изюмова Елена Геннадьевна родилась в 1982 г., окончила в 2004 г. Брянский государственный университет, старший преподаватель кафедры информационных технологий Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет 8 печатных работ в области дистанционных технологий, информатизации и автоматизации лесозаготовок.
E-mail: e-izumova@mail.ru



ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ОБЪЕМОВ ЗАПАСОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЛЕСОСЕЧНЫХ МАШИН

Приведены особенности создания межоперационных запасов в технологическом процессе лесосечных работ и необходимость повышения их эффективности. Сформулирована постановка задачи многокритериальной условной оптимизации объемов запасов и режимов работы лесосечных машин. Предложена реализующая ее имитационная компьютерная модель.

Ключевые слова: лесозаготовки, страховой запас, гарантийный запас, комплект машин, целевая функция, оптимизация, имитационная модель.

Лесозаготовки в нашей стране выполняются в различных природно-производственных условиях предприятиями разных форм собственности. Организация лесозаготовительного производства определяется его технологическими процессами, которые характеризуются составом применяемой техники (оборудования), количеством, последовательностью и местом выполнения технологических и транспортно-переместительных операций в ходе осуществления технологического процесса.

Первой фазой лесозаготовок являются лесосечные работы. Основные из них включают ряд операций: валку, трелевку, обрезку сучьев, раскряжевку, погрузку. Лесозаготовки всегда начинаются с валки (В) деревьев, остальные операции могут выполняться в разной последовательности, быть совмещены, обрезка сучьев (С) и раскряжевка (Р) могут отсутствовать,

трелевка (Т) и погрузка (П) осуществляются в любом случае. В итоге выделяют разные технологические системы для лесозаготовок, например: В+Т+С+П, В+С+Т+П, В+Т+С, В+Т+П, ВСР+Т+П, ВТ+СР+П, В+Т, ВСР+Т, ВТ+СР, ВТ+П. Одной из особенностей лесосечных работ является создание между каждой парой смежных операций запаса ресурсов.

В нашей работе приняты следующие условные обозначения: Z_c – объем страхового запаса, m^3 ; $Z_{тх}$ – технологический запас между операциями, m^3 ; $Z_{тн}$ – технический запас, m^3 ; $Z_{ср}$ – средний ликвидный запас древесины на 1 га, m^3 ; $P_{см}$ – сменная производительность сучкорезной или погрузочной машины, $m^3/см.$; $T_{дн}$ – число дней, за которое будет выработан объем технологического запаса (как правило, один день); P_i , P_s – сменная производительность основных машин на i -й и s -й операциях (как показали

проведенные нами исследования, их значение необходимо принимать как среднестатистическую величину за последних три года для отдельных месяцев разработки лесосек для конкретного комплекта машин с учетом планируемых условий), m^3 ; $P_{i \max}$ – наибольшая производительность из рассматриваемых операций, m^3 ; T_{cm} – продолжительность смены, ч; Z_r – объем гарантийного запаса, m^3 ; Q_i – объем выработки основных машин на i -й операции, m^3 , $Q_i = P_i N_i chsm$; Q_s – то же на s -й операции, m^3 , $Q_s = P_s N_s chsm$; $T_{п}$ – продолжительность расчетного периода (месяца), дн.; Q_i^D – уровень, до которого увеличивается объем выработки (Q_i) на i -й операции после подключения дополнительной машины с объемом выработки Q_{Di} , m^3 , $Q_i^D = Q_i + Q_{Di}$; $Q_{\max}$ – максимальный объем выработки машин на одной из операций, m^3 ; Q_s^D – уровень, до которого увеличивается объем выработки (Q_s) на s -й операции после подключения дополнительной машины с объемом выработки Q_{Ds} , m^3 , $Q_s^D = Q_s + Q_{Ds}$; N_i , N_s – число основных машин (на i -й и s -й операциях); $N_{ид}$ – число дополнительных машин; $P_{ид}$ – сменная производительность дополнительной машины, m^3 ; Q_z – общий запас на лесосеке, m^3 ; L_{cp} – длина зоны безопасности, м; $chsm$ – число смен работы машин; $chrd$ – число рабочих дней в месяце; P_a – сменная производительность машин на вывозке, m^3 ; $kmes$ – число месяцев разработки лесосеки.

Проведенные нами исследования показали, что запасы ресурсов многоуровневые. Первый уровень – страховой объем запасов (Z_c), который состоит из объема технологических запасов (Z_{tx}), обеспечивающих зону безопасности, и объема технических запасов (Z_{th}), страхующих от простоев технические средства (ТС) на смежных операциях, когда одно из них выходит из строя, и рассчитывается по формуле

$$Z_c = Z_{tx} + Z_{th}.$$

Технологический запас между операциями валки и трелевки составляет объем древесины, заготовленной с площади, равной по длине (L) и ширине (B) зоне безопасной работы, и может быть рассчитан по формуле

$$Z_{tx} = \frac{LBZ_{cp}}{10000}.$$

При $L = 50 \dots 250$ м; $B = 50$ м $Z_{tx} = (0,25 \dots 1,25)Z_{cp}$.

Объем технологического запаса между операциями трелевки и обрезки сучьев, обрезки сучьев и погрузки должен обеспечивать маневренную работу технических средств и безопасность рабочих и будет прямо пропорционален производительности машин, например сучкорезных и погрузочных, и времени, за которое этот запас будет выработан:

$$Z_{tx} = P_{cm} T_{дн}.$$

Объем технического запаса можно определить, рассмотрев простейшую линию из двух технических средств (ТС), производительности которых в единицу времени на предыдущей i -й и следующей s -й операциях соответственно равны P_i и P_s , а коэффициенты технической готовности K_{tti} и K_{tts} . Проведя несложные преобразования, мы получили математическую зависимость для определения этого уровня запаса при условии бесперебойной работы ТС в течение смены:

$$Z_{th} = P_{i \max} [2 - (K_{tti} + K_{tts})] T_{cm}.$$

Второй уровень – гарантийный объем запасов (Z_r), который складывается из страхового и оперативного, обеспечивающего компенсацию отклонений фактических объемов и времени поступления сырья на очередную операцию от расчетных значений. В целях максимального сокращения простоев из-за погодных, организационных,

Таблица 1

Формулы для расчета запасов

Расчетный период (месяц)	Вариант	Предельный запас с учетом максимальной выработки комплекта
Первый	$Q_i < Q_S$	$Z_r = \frac{[T_n(Q_i^D - Q_{\max})(Q_{\max} - Q_i) + Z_c Q_i] Q_{Di}}{(Q_i^D - Q_{\max})(Q_{\max} - Q_i) + Q_i Q_{Di}}$
	$Q_i > Q_S$	$Z_r = \frac{(T_n Q_{\max} - Z_c)(Q_{\max} - Q_S)(Q_S^D - Q_{\max}) + Z_c Q_{\max} Q_{DS}}{Q_{\max} Q_{DS}}$
Второй – предпоследний	$Q_i < Q_S$	$Z_r = \frac{T_n(Q_{\max} - Q_i)(Q_i^D - Q_{\max}) + Z_c Q_{Di}}{Q_{Di}}$
	$Q_i > Q_S$	$Z_r = \frac{T_n(Q_{\max} - Q_S)(Q_S^D - Q_{\max}) + Z_c Q_{DS}}{Q_{DS}}$
Последний	$Q_i < Q_S$	$Z_r = \frac{Q_{\max}[T_n(Q_{\max} - Q_i)(Q_i^D - Q_{\max}) + Z_c Q_{Di}]}{(Q_{\max} - Q_i)(Q_i^D - Q_{\max}) + Q_{\max} Q_{Di}}$
	$Q_i > Q_S$	$Z_r = \frac{(T_n Q_S - Z_c)(Q_{\max} - Q_S)(Q_S^D - Q_{\max}) + Z_c Q_S Q_{DS}}{Q_S Q_{DS}}$

технических и других причин он рассчитывается по формулам табл. 1 [1].

Операции технологического процесса выполняются различными техническими средствами с разной производительностью. Поэтому, чтобы не пересечь границы страхового и гарантийного запасов, на операции лесозаготовительного процесса приостанавливают работу технического средства с большей производительностью в комплекте. Если на следующей технологической операции объем выработки машины окажется больше, чем на предыдущей, то возможен простой оборудования из-за отсутствия древесины. И, наоборот, если на предыдущей операции объем запаса увеличится, тогда на следующей машина не будет справляться с его потреблением. Объем выработки таких комплектов машин, как правило, равен минимальному объему выработки на одной из операций.

Как показали проведенные нами исследования, для повышения эффективности работы комплекта машин (возрастания объемов выработки и

снижения себестоимости лесозаготовок), целесообразно повысить объем выработки отстающих машин в комплекте до максимального уровня (объема выработки ведущей машины) за счет увеличения численности и (или) сменности работы машин на этих операциях (далее подключение дополнительных машин). Такая организация работы машин будет способствовать поддержанию страхового и гарантийного запасов на определенном, рассчитанном для конкретных условий, уровне [1]. В качестве дополнительного комплекта необходимо на валке и обрезке сучьев иметь бензиномоторную пилу, а на трелевке чокерный трактор. Этот комплект необходим также и для освоения объема древесины (до 5 %), который современные машины по своим техническим параметрам не могут освоить [3].

На рис. 1 представлены два варианта работы комплекта машин на несколько месяцев разработки лесосеки (в первый месяц (T^1) запасы создаются (t_1), пополняются (t_2) и потребляются (t_3),

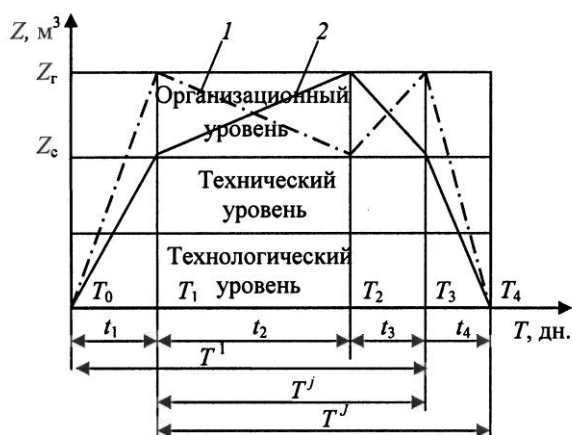


Рис. 1. Изменение запасов древесины в течение всего периода разработки лесосеки в зависимости от соотношения объемов их пополнения и потребления:

1 – при $Q_i < Q_{\max}$; 2 – при $Q_{\max} > Q_s$

во второй и следующие месяцы (T^j) запасы пополняются (t_2) и потребляются (t_3), а в последний месяц (T^j) пополняются (t_2), потребляются (t_3) и вырабатываются (t_4).

В первом варианте (при $Q_i < Q_{\max}$) за время t_1 происходит создание гарантийного объема запаса машинами с объемом выработки Q_i . В интервале времени t_2 выполняются две операции технологического процесса (i – предыдущая, s – следующая, $s = i + 1$). Так как $Q_i < Q_s$, то запас быстрее потребляется, чем пополняется. В итоге его уровень упадет до страховой величины. Дальнейшее снижение запаса допустить нельзя, так как нарушатся требования техники безопасности. Поэтому на «отстающей» операции Q_i рекомендуется подключение дополнительной машины, тогда уровень запаса увеличивается до гарантийного в течение времени t_3 . Если лесосека разрабатывается в течение одного месяца, за период t_4 происходит выработка запаса техническими средствами следующей операции с суточным объемом выработки Q_s , когда машины предыдущей операции перебазировались на следующую лесосеку.

Во втором варианте (при $Q_{\max} > Q_s$) за время t_1 создается страхо-

вой запас техническими средствами предыдущей операции с суточным объемом выработки Q_i . В интервале t_2 выполняются две операции технологического процесса (i, s). Так как $Q_{\max} > Q_s$, то запас быстрее пополняется, чем потребляется. В итоге его уровень поднимется до гарантийной величины. Дальнейшее увеличение запаса нежелательно, так как технические средства на «отстающей» операции Q_s не будут справляться с его потреблением. На этой операции после подключения дополнительных машин уровень запаса снижается до страхового в течение времени t_3 . Если лесосека разрабатывается в течение одного месяца, за период t_4 происходит выработка запаса техническими средствами с суточным объемом выработки Q_s [2].

При планировании и организации процесса лесозаготовок необходимо управлять размерами межоперационных запасов, числом смен работы машин и временем их работы на операциях. Для определения этих параметров необходимо знать характеристики лесосеки и связи между ними.

Показатели лесозаготовительного процесса определяются, исходя из характеристик лесосек, отражающихся в технологической карте их разработки, особенностей организации процесса на предприятии, имеющегося парка машин, или рассчитываются.

Многие параметры лесозаготовительного процесса имеют вероятностный характер. Ярким подтверждением этого факта является производительность машин, которая зависит от климатических условий, квалификации работника, эксплуатационных характеристик и качества обслуживания машин [5–7]. Поэтому, как показали проведенные нами исследования, для расчета режимов работы

комплектов лесосечных машин необходимо производительность каждой из них принимать как среднестатистическую за последние три года для каждого месяца с учетом характеристики лесосеки и конкретного оператора.

Размещение технических средств по технологическим операциям определяется видом операций (В,Т,С,Р), числом машин ($N_i, N_{ид}$), и их производительностью ($P_i, P_{ид}$). В итоге функция распределения технических средств по операциям лесозаготовок примет вид

$$F_1 = f_1(N_i, N_{ид}, P_i, P_{ид}).$$

Размер страхового запаса (Z_c) зависит от требований техники безопасности, характеристики лесосеки (Q_z, Z_{cp}, L_{cp}) и может быть представлен в виде функции

$$Z_c = q_1(Q_z, Z_{cp}, L_{cp}).$$

Гарантийный запас (Z_r) зависит от производительности (P_i), числа машин (N_i), числа смен их работы ($chsm$), числа рабочих дней ($chrd$) в расчетном периоде (месяце). Эта зависимость имеет вид

$$Z_r = q_2(P_i, N_i, chrd, chsm).$$

Для обеспечения максимальной загрузки отдельных машин и максимальной выработки всего комплекта при расчетах режимов работы необходимо оптимизировать объемы запасов, число смен работы основных и продолжительность работы дополнительных машин. Тогда задача оптимизации может быть сформулирована следующим образом: необходимо определить такое число смен работы основных машин и продолжительность работы дополнительных машин, при которых объемы гарантийных запасов, продолжительность разработки лесосеки и приведенные затраты будут минимальны. Оптимизационные методы позволяют выбрать наилучший ва-

риант без непосредственной проверки всех существующих [4].

Целевая функция задачи, определяющая параметры технологического процесса лесозаготовок, примет вид

$$\begin{cases} Q = q(F_1, Z_c, Z_r) \rightarrow \max; \\ T = t(F_1, Z_c, Z_r) \rightarrow \min; \\ Z = z(F_1, Z_c, Z_r) \rightarrow \min. \end{cases}$$

Задача относится к многокритериальной многомерной условной оптимизации. В качестве целевых функций могут выступать максимизация объемов выработки, минимизация времени работы машин, затрат на выполнение операций и т. п. Исследуемая функция зависит от большого числа параметров, ее аналитическое представление затруднительно. Поэтому целевую функцию следует задать процедурой, в которой рассчитываются основные параметры процесса лесозаготовок. На первом этапе в качестве критерия оптимизации выбрано время работы машин, а по другим целевым функциям задавались ограничения. Выполнена математическая постановка задачи оптимизации лесозаготовок.

Задача оптимизации заключается в минимизации $T = t(F_1, Z_c, Z_r)$ при ограничениях: $G_1 = g_1(Q_z, Z_{cp}, L_{cp})$, $G_2 = g_2(P_i, P_{ид}, P_i, N_i, N_{ид})$, $Q = q(F_1, Z_c, Z_r)$, $Z = z(F_1, Z_c, Z_r)$ и управляющих параметрах: $U = u(chsm, N_i, N_{ид}, kmes)$.

Оптимизация поставленной задачи вручную требует много времени и может привести к большим погрешностям. В целях сокращения времени оптимизации и повышения точности расчетов нами разработана имитационная модель функционирования лесосечных машин в течение всего периода освоения лесосеки с заданным объемом производства и с учетом подключения дополнительных машин, реализованная в программном обеспечении

Таблица 2

Формулы для расчета времени работы машин

Расчетный период (месяц)	Вариант	Время создания запаса	Время пополнения и потребления запаса	Время работы дополнительных машин	Время выработки запаса
Первый	$Q_i < Q_S$	$t_1 = \frac{Z_r}{Q_i}$	$t_2 = \frac{Z_r - Z_c}{Q_{\max} - Q_i}$	$t_3 = \frac{(Q_i - Q_{\max})(Q_{\max} - Q_i)}{Q_i Q_{Di}}$	—
	$Q_i > Q_S$	$t_1 = \frac{Z_c}{Q_i}$	$t_2 = \frac{Z_r - Z_c}{Q_{\max} - Q_S}$	$t_3 = \frac{(Q_{\max} - Z_r)(Q_{\max} - Q_S)}{Q_{\max} Q_{DS}}$	—
Второй – предпоследний	$Q_i < Q_S$	—	$t_2 = \frac{Z_r - Z_c}{Q_{\max} - Q_i}$	$t_3 = \frac{T_n (Q_{\max} - Q_i)}{Q_{Di}}$	—
	$Q_i > Q_S$	—	$t_2 = \frac{Z_r - Z_c}{Q_{\max} - Q_S}$	$t_3 = \frac{(Q_S - Z_r)(Q_{\max} - Q_S)}{Q_S Q_{DS}}$	—
Последний	$Q_i < Q_S$	—	$t_2 = \frac{Z_r - Z_c}{Q_{\max} - Q_i}$	$t_3 = \frac{(Q_{\max} - Z_r)(Q_{\max} - Q_i)}{Q_{\max} Q_{Di}}$	$t_4 = \frac{Z_r}{Q_S}$
	$Q_i > Q_S$	—	$t_2 = \frac{Z_r - Z_c}{Q_{\max} - Q_S}$	$t_3 = \frac{T_n (Q_{\max} - Q_S)}{Q_{DS}}$	$t_4 = \frac{Z_c}{Q_S}$

на ПЭВМ. Основные расчетные формулы, используемые в программе, приведены в табл. 1 и 2.

Обеспечение максимальной эффективности комплекта лесосечных машин достигается за счет объективных исходных данных. Входными данными для программы являются: число месяцев, номер первого месяца (в котором начинается разработка лесосеки), общий запас на лесосеке, средний запас древесины на 1 га, длина разрабатываемой ленты (зоны

безопасности), число смен в один день и сменная производительность, число машин на вывозке, вид технологической системы, число рабочих дней в месяце, марка машин на каждой операции, их сменная производительность, число смен работы по основным машинам, марка машин, их число и производительность по дополнительным машинам. Ввод данных в программу осуществляется с помощью формы, представленной на рис. 2.

Рис. 2. Ввод данных в программу

Выходные параметры: объемы страхового и гарантийного запасов, продолжительность работы машин по операциям на создании, пополнении, потреблении и выработке запасов,

объемы производства основных и дополнительных машин, суммарный объем производства машин, ежедневная потребность машин на вывозке, число сэкономленных дней (рис. 3).

Рис. 3. Результаты работы программы

С помощью разработанной программы можно реализовать имитационную модель процесса лесозаготовок. Варьируя по выбранному алгоритму управляющими параметрами и определяя объем выработки машин с учетом случайных факторов, можно находить значения целевой функции и проверять выполнение ограничений. Далее можно установить точку оптимума, используя известные методы оптимизации.

Решение поставленной задачи оптимизации позволит организовать лесозаготовительный процесс с учетом влияния случайных факторов, обеспечить минимальное время выполнения всего технологического процесса при максимальной выработке и минимизации денежных затрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Заикин А.Н.* Теория, методы и модели интенсификации лесосечных работ: моногр. Брянск: БГИТА, 2009. 204 с.
2. *Изымова Е.Г.* Компьютерное моделирование режимов работы комплектов машин // Материалы Регион. науч. конф. студентов и аспирантов «Достижения молодых ученых Брянской области» / под. ред. И.А. Лагерева. Брянск: БГТУ, 2010. 301 с.

3. *Макуев В.А.* Научно-методологические основы формирования парка лесосечных машин предприятия: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М.: МГУЛ, 2010. 33 с.

4. *Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К.* Оптимизация в технике. Кн. 1. М.: Мир, 1986. 350 с.

5. *Тацун М.В.* Лесные технологии на фоне структурной перестройки ЛПК // Лесн. пром-сть. 1996. № 2. 22 с.

6. <http://www.neosystems.ru>

7. <http://www.neweconomic.com>

A.N. Zaikin, L.I. Evelson, E.G. Izyumova
Bryansk State Academy of Engineering and Technology

Setting Optimization Task for Resources Volume and Logging Machines Operation Modes

The peculiarities of establishing in-process resources in the technological process of logging operations and necessity of increasing their efficiency are provided. The task setting of multi-criteria conditional optimization of resources volume and operation modes of the logging machines are formulated. The simulation model for its implementation is offered.

Keywords: logging operations, insurance resources, guarantee resources, set of machines, target function, optimization, simulation model.