

ОБОСНОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПЕРЕМЕСТИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПРИ ПОКВАРТАЛЬНОМ ОСВОЕНИИ УЧАСТКОВ ЛЕСНОГО ФОНДА

Рукомойников К.П.¹

¹ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола, Россия (424000, Респ. Марий Эл, г.Йошкар-Ола, пл.Ленина, д.3), e-mail: info@volgatech.net

В статье предложена методика обоснования последовательности выполнения основных переместительных операций лесозаготовительных работ при поквартальном способе освоения участков лесного фонда. Методика позволяет обосновать размеры погрузочных пунктов, сроки освоения лесного квартала и сократить затраты на транспортное освоение его территории в условиях ограниченной грузоподъемности погрузочных пунктов, высокой стоимости обустройства и лесохозяйственной нецелесообразности увеличения занятых ими площадей. Предложенные математические зависимости отличаются комплексным учетом графиков реализации технологического процесса лесосечных работ различных лесосек и вывозки древесины со всех погрузочных пунктов на разрабатываемой территории. Результаты выполненных расчетов доказали возможность снижения материальных затрат на величину до 13%, отличающуюся от других возможных графиков технологического процесса освоения лесного квартала. Выявлена возможность более чем на 30% сократить площади, отводимые под погрузочные площадки, на 1,5% уменьшить суммарные трудозатраты на выполнение транспортных операций на территории лесного квартала.

Ключевые слова: лесной квартал, лесозаготовка, трелевка, вывозка лесоматериалов, технологические простои, запасы лесоматериалов, погрузочный пункт.

JUSTIFICATION SEQUENCES TO PERFORM BASIC TRANSPORT OPERATIONS OF LOGGING OPERATIONS DURING HARVESTING WITHIN THE FOREST COMPARTMENT

Rukomojnikov K.P.¹

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia (424000, Yoshkar-Ola, Lenin Square, 3), e-mail: info@volgatech.net

The paper proposes a method of justification sequences of perform basic transport operations of harvesting at logging on territory of forest compartment. The technique allows to justify the size of loading points, the timing of development of forest compartment reduce the cost of transport development of its territory under conditions of limited cargo loading points, the high cost of construction and the lack of feasibility of increasing the area occupied by them. The proposed mathematical relationships differ complex account of graphs realization of technological process of logging operations of different cutting areas and haulage from all loading points on the developed area. The results of the calculations have shown the possibility of reducing material costs by up to 13% different from other of possible graphs of technological process of development of the forest square compartment. Revealed the possibility of reduction in area for loading points more than 30% , and decrease total labor costs to perform transport operations within the forest square compartment more then 1.5%.

Keywords: forest compartment, logging, skidding, haulage, nonmechanical delay, inventory, loading point

Исследованиями, посвященными поквартальному методу ведения лесного хозяйства, в разное время и различных странах (России, Белоруссии, Литве, Казахстане и др) занимались многие ученые и исследователи, в том числе В.Г. Атрохин, И.К. Иевинь [1], А.И. Зевахин, А.М. Кожевников, Н.Ф. Давидович [2], И.С. Марченко [3], Н. Кенставичюс, Л.В. Овчинников [4], Ю.А. Ширнин [5, 6], Н.В. Ромашов [7] и др. Доказано, что данный вариант технологии работ обеспечивает решение различных лесоводственных, технологических и экономических задач лесного комплекса. Однако в существующих научных исследованиях посвященных моделированию технологии лесосечных работ при учете сезонных и производственных

условий заготовки древесины уделено недостаточное внимание вопросам обоснования технологической последовательности выполнения работ на лесосеках при поквартальном освоении УЛФ.

Цель исследования: обоснование графика транспортного освоения лесного квартала.

Материал и методы исследования. Для достижения поставленной цели необходим одновременный учет двух основных операций: трелевка и вывозка лесоматериалов. Эти задачи не могут быть разделены на не связанные друг с другом части. Более того, они, как правило, связаны с рядом других проблем, вызывающих актуальность первоочередного решения поставленной задачи, так как принятое решение влияет на характер решаемых задач и методы их решения. Вопрос о том, когда и в каком порядке выполнять работы по освоению лесных участков на территории квартала влияет и на величину затрат на их выполнение.

Существует два вида стоимостей, которыми можно охарактеризовать эффективность составленного графика освоения квартала. Это стоимость эксплуатации машин, задействованных на трелевке и вывозке и стоимость обустройства погрузочных пунктов (ПП) для хранения и погрузки заготовленной древесины. Если график составлен таким образом, что простои техники в нем минимальны или минимальна средняя продолжительность прохождения операций, то это означает, что за одно и то же время та же техника способна выполнить большую работу, чем при другом графике, однако следует учитывать и грузооборот ПП, расположенных на территории лесного квартала. Недостаточное внимание к этому вопросу может привести к излишнему увеличению их размеров, а, следовательно, к повышенным затратам на их обустройство и хранение древесины в условиях их ограниченной грузоподъемности, высокой стоимости и не целесообразности увеличения их площадей;

Решение задачи предусматривает заполнение матрицы поиска решений, представленной в табл 1. Где i – номер трелюемой (вывозимой) партии лесоматериалов в объеме одного рейса лесовоза ($i = 1, \dots, m$); m – количество рейсов лесовоза для вывозки всей древесины, заготовленной на территории квартала, шт.; x – номер партии лесоматериалов в объеме, необходимом для формирования на ПП полногрузного рейса для вывозки ($x = 1, \dots, y_\ell$); y_ℓ – число рейсов, необходимых для трелевки всех заготовленных лесоматериалов с анализируемой лесосеки, шт.; ℓ – номер лесосеки, тяготеющей к анализируемому ПП ($\ell = 1, \dots, \ell_p$); ℓ_p – количество лесосек, тяготеющих к анализируемому ПП- p , шт.; p – номер анализируемого ПП ($p = 1, \dots, r$); r – количество ПП на территории квартала, шт.; $Z_{p\ell xi}$ – показатель выполнения работы по трелевке партии древесины необходимого объема с лесосеки ℓ на ПП- p в позиции i ; W_{pi} – показатель выполнения работы по вывозке рейса древесины с ПП- p в позиции i .

$$Z_{p\ell xi} = \begin{cases} 1, & \text{если трелевка выполняется в позиции } i, \\ 0 & \text{– в других случаях;} \end{cases}$$

$$W_{pi} = \begin{cases} 1, & \text{если вывозка выполняется в позиции } i, \\ 0 & \text{– в других случаях.} \end{cases}$$

Исходные данные: M_T – средний объем трелеваемой пачки, м³; M_g – средняя нагрузка на рейс лесовоза, м³; Q_ℓ –вырубаемый запас на лесосеке, м³; $t_{p\ell}^m$ – время сбора, трелевки, выгрузки пачек с лесосеки ℓ на ПП- p , с; $t_{nep(p \leftrightarrow p^*)}^T$ – время перемещения между p и p^* , с; t_p^B – время цикла при вывозке древесины с ПП- p , с; t_{noz}^6 – время погрузки в общем цикле работы лесовоза, с; t_{noz}^{6*} – время погрузки стрелеванной пачки в общем времени цикла погрузки, с.

Средняя продолжительность трелевки пачки с территории каждой из лесосек равна:

$$B_i^T = \sum_p^r \sum_\ell^{\ell_p} \sum_x^{y_\ell} (Z_{p\ell xi} \cdot t_{p\ell}^m);$$

Продолжительность работ на трелевке нескольких пачек лесоматериалов (x) в объеме, необходимом для формирования рейса лесовоза равна:

$$A_i^T = B_i^T \cdot \text{ceil} \left(\frac{M_g}{M_T} \right).$$

Время начала работ (N_i^m) на трелевке, при формировании каждого -рейса лесовоза:

$$N_{(i=1)}^m = 0; N_{(i=2\dots m)}^m = F_{(i-1)}^m + P_i; F_i^m = \max(F_{p\ell i}^m),$$

где P_i – время, на холостые перемещения трактора между ПП в начале сбора -рейса

$$P_i = \begin{cases} t_{nep(p \leftrightarrow p^*)}^T, & \text{если } \sum_\ell^{\ell_p} \sum_x^{y_\ell} Z_{p\ell xi} = \sum_\ell^{\ell_{p^*}} \sum_x^{y_\ell} Z_{(p^* \neq p)\ell x(i-1)}; \\ 0 & \text{– в других случаях.} \end{cases}$$

$F_{(i-1)}^m$ –время завершения трелевки лесоматериалов для $(i - 1)$ рейса лесовоза, с; $F_{p\ell i}^m$ –время завершения трелевки пачек к $p = 1, p = 2, \dots, p = r$ со всех примыкающих к ним лесосек ℓ в расчете на момент формирования на одном из ПП i – рейса для вывозки..

Объем лесоматериалов, который может быть заготовлен на ПП- p на момент окончания трелевки i партий, без учета ограничений по объему вырубаемого запаса ($q_{p\ell xi}$) равен:

$$q_{p\ell xi} = \sum_x^{y_\ell} \sum_{i=1}^i Z_{p\ell xi} \cdot \text{ceil} \left(\frac{M_g}{M_T} \right) \cdot M_T + Q_\ell^H + \sum_{i=1}^i Q_{p\ell i}^{\text{доп}}.$$

где $Q_{p\ell i}^{\text{доп}}$ – объемы лесоматериалов, стрелеванные ранее с лесосеки ℓ при сборе на ПП дополнительного объема, обеспечивающего полную загрузку при вывозке i рейса сбор лесоматериалов для которого начался с другой (в анализируемый момент времени уже освоенной) лесосеки, с. При $i = 1$: $\sum_{i=1}^i Q_{p\ell i}^{\text{доп}} = 0$; Q_ℓ^H – объемы лесоматериалов, уже стрелеванные с лесосеки на ПП к началу планирования графика освоения лесного квартала. Данный показатель может использоваться для корректировки графика при непредвиденных простоях, м³;

$$Q_{pli}^{\text{доп}} = \frac{T_{pli}^{\text{доп}} \cdot M_T}{B_i^T}$$

Таблица 1

Матрица поиска решений для обоснования последовательности выполнения основных переместительных операций лесозаготовительных работ на территории лесного квартала

Номер ПП (p)	Номер лесосеки (ℓ)	Номер формируемого на ПП рейса (x)	Порядок выполнения работ (i)				
			$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$...	$i = m$
Планирование последовательности трелевки древесины на территории лесного квартала							
$p = 1$	$\ell = 1$	$x = 1$	$Z_{p\ell xi} = ?$				
		...					
		$x = y_\ell$					
	...	$x = 1$					
		...					
		$x = y_\ell$					
	$\ell = \ell_p$	$x = 1$					
		...					
		$x = y_\ell$					
...							
$p = r$							
Планирование последовательности вывозки древесины с территории лесного квартала							
$p = 1$	$\ell = 1$	$x = 1$	$W_{pi} = ?$				
		...					
		$x = y_\ell$					
	...	$x = 1$					
		...					
		$x = y_\ell$					
	$\ell = n$	$x = 1$					
		...					
		$x = y_\ell$					
...							
$p = r$							

где $T_{pli}^{\text{доп}}$ - время работы на лесосеке ℓ для сбора дополнительного объема, обеспечивающего полную загрузку при вывозке i рейса формирование которого началось с другой лесосеки, с

$$T_{p\ell i}^{\text{доп}} = \begin{cases} \begin{aligned} & -\text{если } FF_{p\ell(i-1)} + FF_{p(\ell^* \neq \ell)(i-1)} = 0 \text{ и } FF_{p(\ell^* \neq \ell)i} = 1, \text{ то} \\ & \text{ceil} \left(\frac{(\sum_x^{y_\ell} \sum_{i=1}^i Z_{p(\ell^* \neq \ell)xi} \cdot M_B + Q_{(\ell^* \neq \ell)}^H) + \sum_{i=1}^i Q_{p(\ell^* \neq \ell)i}^{\text{доп}} - Q_{(\ell^* \neq \ell)}}{M_T} \right) \\ & \cdot t_{p\ell}^T \cdot \sum_x^{y_\ell^*} Z_{p\ell x(i+1)} \end{aligned} \\ 0 - \text{в других случаях.} \end{cases}$$

где $FF_{p\ell i}$ – показатель, свидетельствующий о стадии разработки лесосеки. Может принимать значения 0 и 1. $FF_{p\ell i} = 1$ в том случае, если лесосека полностью освоена и на ней завершена трелевка i - рейса лесоматериалов. При $i = 1$: $FF_{p\ell(i-1)} + FF_{p(\ell^* \neq \ell)(i-1)} = 0$.

Время простоев по технологическим причинам ZW_i , вызванных отсутствием на ПП необходимого для вывозки объема лесоматериалов в расчетный момент времени, равно:

$$ZW_{(i=1)} = N_{(i=1)}^B; ZW_{(i=2...m)} = N_i^B - F_{(i-1)}^B,$$

где N_i^B, F_i^B - соответственно, расчетное время начала и завершения работ на вывозке i - рейса с учетом его возвращения на ПП, с;

$$N_i^B = \max(N_{(p=1)i}^B, N_{(p=2)i}^B, \dots, N_{(p=r)i}^B); F_i^B = ZW_i + A_i^B + F_{(i-1)}^B, A_i^B = \sum_{p=1}^r (W_{pi} \cdot t_p^B).$$

где N_{pi}^B – расчетное время начала вывозки i - рейса с ПП- p , с.; $F_{(i-1)}^B$ – время завершения вывозки предыдущего рейса, с. При $i = 1$ $F_{(i-1)}^B = 0$; A_i^B - продолжительность вывозки.

$$N_{pi}^B = \begin{cases} \begin{aligned} & \text{если } \min \left(\sum_{i=1}^i W_{pi} \cdot M_B; \sum_{\ell=1}^{\ell_p} Q_\ell \right) \leq Q_{p(i=1)}, \text{ то} \\ & \max \left(\min \left(\begin{aligned} & F_i^T - (t_{\text{погр}}^B - t_{\text{погр}}^{B*}); \\ & \text{ceil} \left(\frac{\sum_{i=1}^i W_{pi} \cdot M_B - \sum_{\ell=1}^{\ell_p} Q_\ell^H}{M_T} \right) \cdot \sum_{\ell}^{\ell_p} \sum_x^{y_\ell} Z_{p\ell xi} \cdot t_{p\ell}^T - (t_{\text{погр}}^B - t_{\text{погр}}^{B*}) \end{aligned} \right); F_{(i-1)}^B \right) \cdot W_{pi} \end{aligned} \\ & \text{в других случаях:} \\ & \max(F_{(i=k)}^T - (t_{\text{погр}}^B - t_{\text{погр}}^{B*}); F_{(i-1)}^B) \cdot W_{pi} \\ & \text{при } Q_{p(i=k-1)} \leq \min \left(\sum_{i=1}^i W_{pi} \cdot M_B; \sum_{\ell=1}^{\ell_p} Q_\ell \right) \leq Q_{p(i=k \leq m)} \end{aligned} \end{cases}$$

где k - порядковый номер рейса в интервале $i = 2, \dots, m$; при $i = 1$, $F_{(i-1)}^B = 0$.

Расчетное время завершения погрузки и начала движения автотранспорта составит:

$$N_i^{B*} = N_i^B + t_{nozp}^e.$$

Средней продолжительности трелевки пачки лесоматериалов (\bar{B}_i^T) составит.

$$\bar{B}_i^T = \frac{(F_i^m - N_i^m)}{\sum_{\ell}^{\ell_p} \sum_x^{y_{\ell}} \sum_{i=1}^i \left(\text{ceil} \left(\frac{Q_{p\ell xi}^T - Q_{p\ell x(i-1)}^T}{M_T} \right) \right)}.$$

При $i = 1$ расчетный объем $Q_{p\ell x(i-1)}^T = \sum_{\ell=1}^{\ell_p} Q_{\ell}^H$.

Средний объем пачек при сборе лесоматериалов в объеме рейса для вывозки, равен:

$$\bar{M}_i^T = \frac{Q_{pi}^T - Q_{p(i-1)}^T}{\sum_{\ell}^{\ell_p} \sum_x^{y_{\ell}} \sum_{i=1}^i \left(\text{ceil} \left(\frac{Q_{p\ell xi}^T - Q_{p\ell x(i-1)}^T}{M_T} \right) \right)}.$$

Объем лесоматериалов, поступивших с каждой из лесосек на каждый из ПП на момент завершения трелевки i – партии в объеме необходимом для вывозки i – рейса, равен:

$$Q_{p\ell xi}^T = \min \left(\left(\text{ceil} \left(\frac{\sum_x^{y_{\ell}} \sum_{i=1}^i Z_{p\ell xi} \cdot M_{\ell}}{M_T} \right) \cdot M_T + Q_{\ell}^H + \sum_{i=1}^i Q_{p\ell i}^{\text{доп}} \right); Q_{\ell} \right).$$

Суммарный объем, поступивший на каждый из ПП со всех примыкающих к ним лесосек на момент завершения трелевки лесоматериалов для вывозки i – рейса, равен:

$$Q_{pi}^T = \sum_{\ell}^{\ell_p} \sum_x^{y_{\ell}} \sum_{i=1}^i Q_{p\ell xi}^T.$$

Объем (Q_{pi}^B), поступивший с каждой из лесосек на каждый из ПП на момент завершения погрузки i – рейса, можно определить перебором значений параметра k по формуле:

$$Q_{pi}^B = \begin{cases} \text{если при } k = 2, \dots, m: N_i^B - N_{(i=k)}^T \leq 0 \leq N_i^B - N_{(i=k-1)}^T, \text{ то} \\ Q_{p(i=k-2)}^T + \text{floor} \left(\frac{N_i^{B*} - N_{(i=k-1)}^T}{B_{(i=k-1)}^T} \right) \cdot \bar{M}_{(i=k-1)}^T \cdot \sum_x^{y_{\ell}} Z_{p\ell x(i=k-1)}; \\ \text{в других случаях:} \\ Q_{p(i=m-1)}^T + \text{floor} \left(\frac{N_i^{B*} - N_{(i=m)}^T}{B_{(i=m)}^T} \right) \cdot \bar{M}_{(i=m)}^T \cdot \sum_x^{y_{\ell}} Z_{p\ell x(i=m)}, \end{cases}$$

где при $k = 2$: $Q_{p(i=k-2)}^T = \sum_{\ell}^{\ell_p} Q_{\ell}^H$.

Объем лесоматериалов на ПП Q_{pi} , на момент завершения погрузки i – рейса:

$$Q_{p(i=1)} = Q_{pi}^B; Q_{pi} = \max \left(Q_{pi}^B - M_{\ell} \cdot \sum_{i=1}^{i-1} W_{p(i=i-1)}; 0 \right).$$

При $i = 1$: $\sum_{i=1}^{i-1} W_{p(i=i-1)} = 0$.

Максимальный объем лесоматериалов, одновременно размещаемый на ПП равен:

$$Q_p^{max} = \max(Q_{pi}).$$

Площадь каждого ПП можно рассчитать по формуле:

$$S_p = \frac{Q_p^{max}}{h \cdot \Delta \cdot k_{\Delta} \cdot k_{ope}},$$

где h - высота штабелей на ПП, м; Δ - коэффициент полндревесности; k_{Δ} - коэффициент, учитывающий разрывы между штабелями; k_{ope} - коэффициент, учитывающий организационные причины, в связи с которыми возможно непредвиденное увеличение запасов на ПП.

Суммарные затраты на обустройство всех ПП в пределах лесного квартала равны:

$$C_{ПП} = \sum_{p=1}^r (S_p \cdot C_p^*),$$

где C_p^* - стоимость обустройства одного квадратного метра каждого ПП, руб.

Суммарные затраты на трелевку лесоматериалов можно определить по формуле:

$$З_T = \frac{F_{(i=m)}^m \cdot C_T}{3600 \cdot m_{cm}}$$

где C_T - стоимость машино-смены на трелевке, руб.; m_{cm} - число часов работы в смену, ч.

Суммарные расчетные затраты на вывозку лесоматериалов можно определить:

$$З_B = \frac{(F_{(i=m)}^B - N_{(i=1)}^B) \cdot C_B}{3600 \cdot m_{cm}}$$

где C_B - стоимость машино-смены на вывозке, руб.

Упорядочивание операций может быть выполнено по нескольким критериям:

- сокращения затрат на транспортное освоение лесного квартала:

$$Ц = C_{ПП} + З_T + З_B \rightarrow \min.$$

- уменьшения сроков выполнения работ: $CP = F_{(i=m)}^B - N_{(i=1)}^T \rightarrow \min;$
- сокращения площадей, отводимых под ПП: $\sum_{p=1}^r S_p \rightarrow \min.$

Ограничения, накладываемые на предложенную математическую модель, следующие:

1. Сумма значений в каждой строке матрицы поиска решений равна 1, т.е.

$$\sum_{i=1}^{i=m} Z_{pxi} = 1 \text{ u } \sum_{i=1}^{i=m} W_{pi} = 1;$$

2. Сумма значений в каждой колонке матрицы поиска решений равна 1, т.е.

$$\sum_p^r \sum_{\ell}^{\ell_p} \sum_x^{y_{\ell}} Z_{pxi} = 1 \text{ u } \sum_p^r W_{pi} = 1;$$

3. Z_{pxi}, W_{pi} - целые числа в интервале $[0; 1]$.

Результаты исследования и их обсуждение. Результаты выполненных расчетов с использованием предложенной математической модели обоснования последовательности работ в лесном квартале доказали возможность снижения материальных затрат на величину до 13%, отличающуюся от других технически и организационно целесообразных графиков технологического процесса освоения лесного квартала. Выявлена возможность более чем на 30% сократить площади, отводимые под ПП, примерно на 1,5% уменьшить суммарные трудозатраты на выполнение транспортных операций на территории лесного квартала.

Выводы. Предложенная математическая модель позволяет повысить грузооборот ПП на территории лесного квартала, сократить занимаемые ими площади и снизить стоимости их обустройства и содержания.

Список литературы

1. Атрохин В.Г, Иевинь И.К. Рубки ухода и промежуточное лесопользование - М.: Агропромиздат, 1985. 255 с.;
2. Кожевников А.М., Давидович Н.Ф. Расчетно-технологические карты на механизированный уход за лесом - Гомель: БелНИИЛХ, 1977. 43 с.;
3. Марченко И.С. Поквартальная организация рубок ухода - Брянск БТИ, 1978, 28 с.;
4. Овчинников Л.В. Производительность труда на предприятиях лесного хозяйства// Лесное хозяйство, 1975, ДО 8, с. 27-30;
5. Патент РФ №2000129331/23.11.2000. Ширнин Ю.А., Царев Е.М., Крицкая Н.А., Рукомойников К.П. Способ освоения участков лесного фонда// Патент России №2175830. 2001. Бюл.32;
6. Патент РФ №2002109253/09.04.2002. Ширнин Ю.А., Царев Е.М., Рукомойников К.П. Способ освоения участков лесного фонда// Патент России №2234832. 2004. Бюл №24;
7. Ромашов Н.В. Поквартальная система ведения лесного хозяйства и ее эффективность// Тез.док. на рес. сем. - Харьков, 1978, С. 33-35.

Рецензенты:

Ширнин Ю.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ТОЛП, ФГБОУ ВПО Поволжский государственный технологический университет, г.Йошкар-Ола;

Царев Е.М., д.т.н., доцент, профессор, ФГБОУ ВПО Поволжский государственный технологический университет, г.Йошкар-Ола.