

УДК 630\*383

*Е.Г. Гладков*

Гладков Евгений Георгиевич родился в 1944 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры сухопутного транспорта леса С.-Петербургской лесотехнической академии. Имеет около 40 печатных работ в области экономико-математического моделирования объектов и процессов лесного комплекса.



### **МОДЕЛЬ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ДИНАМИКИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Предложена экономико-математическая модель и пример расчета динамики основной производственной деятельности лесозаготовительного предприятия на плановый период.

*Ключевые слова:* лесотранспортная сеть, территориальная динамика, экономико-математическая модель.

Под территориальной динамикой лесозаготовительного предприятия понимают последовательность освоения элементов лесного фонда в совокупности со строительством, реконструкцией и эксплуатацией элементов лесотранспортной сети. Это объективное отражение основной производственной деятельности ЛЗП в конкретной экономической и лесохозяйственной обстановке. На условия лесозаготовок существенно влияют параметры в начале планового периода: раздробленность лесосырьевой базы, наличие свободных средств, договоров на поставку продукции, плотность существующей транспортной сети и пр. В силу специфических ограничений на взаимодействие природной и технологической компоненты лесозаготовительного производства территориальная динамика является самостоятельным объектом подлежащим моделированию и оптимизации. Комплексность и многоплановость взаимодействия экономических, природно-технологических и иных факторов предопределяет наличие системы экономико-математических моделей для обоснования территориальной динамики лесозаготовительного предприятия. Цель данной статьи – описание одной из таких задач.

*Постановка задачи.* Развитие и размещение лесотранспортной сети планируют в интервале, не превосходящем 10-летний период инвентаризации лесного фонда. В этой связи параметры насаждений полагаются константными. Внешнеэкономическую ситуацию в первый год (годы) задают детерминированным портфелем заказов предприятия на лесопroduкцию, распределенным по пунктам потребления, для каждого пункта средневзвешенной по объемам заказов ценой древесины в пределах своей группы качества (породы и товарности). В последующие годы считают известным спрос на древесину каждой группы качества, задаваемый либо функцией

его распределения, либо совокупностью вероятных сценариев развития внешнеэкономической ситуации. Способы обоснования функции спроса и вероятных сценариев развития выходят за рамки данной статьи, относясь к области экономической политики предприятия. Для каждого года планового периода полагают известным коэффициент дисконтирования, задаваемый как внешний параметр. Внутренние условия производства определяются удельными затратами и доходом от заготовки  $1 \text{ м}^3$  древесины по лесосекам, нарезанным во фрагментарном лесном массиве; по элементам сети – отдельным дорогам – суммарными удельными на  $1 \text{ м}^3$  вывезенной древесины затратами от транспортировки леса и содержания, ремонтов и строительства элемента сети; по нижнему складу – удельными затратами или доходом от переработки  $1 \text{ м}^3$  древесины заданной группы качества.

Для каждой лесосеки считают известной породно-товарную структуру запаса. Величинами транспортных связей задают размещение погрузочного пункта (пункта-источника), через который лес поступает в транспортную сеть. Внутрилесосечные транспортно-технологические связи, включая первичные грузосборочные пути, в задаче не рассматривают. Транзитные потоки посторонних грузов задают по элементам сети своими значениями, строительные условия – величиной строительной компоненты суммарных удельных затрат.

Сеть может иметь произвольное количество пунктов, включая пункты-источники, транзитные пункты, разделяющие строительные разности или выполняющие функцию слияния – разделения потоков, пункты потребления, интегрирующие спрос отдельных юридических лиц (потребителей) в древесине различного качества.

Лесоводственно-лесохозяйственные ограничения задают избыточным по отношению к портфелю заказов списком лесосек, возможных к рубке в течение года, для которых предполагают выполненными правила приемыкания. Каждая лесосека, согласно правилам рубок, должна вырубаться полностью, причем сопутствующая древесина, вырубаемая на лесосеке вне требований портфеля заказов, также транспортируется на нижний склад предприятия. Целевой лес с лесосеки может быть вывезен непосредственно в один или несколько пунктов потребления, включая нижний склад. Эти обстоятельства учитывают на уровне подготовки исходных данных задачи и технологии ее применения. Прибыль или убыток от переработки целевой и сопутствующей древесины на нижнем складе полагают заданными. Оптимальный план задачи, определяющий распределение грузопотоков по существующим и строящимся дорогам, а значит, задающий местоположение и объемы строительства новых дорог, а также объемы вырубаемых запасов леса заданного качества в наиболее эффективных лесосеках, определяют на избыточной транспортной сети и при избыточном лесном фонде по критерию максимума прибыли, получаемой от продажи леса и продукции нижнего склада. Избыточную транспортную сеть задают списком пунктов потребления, избыточным списком пунктов-источников, транзитных пунктов и транспортных связей, для каждой из которых известны суммарные удель-

ные затраты на ее строительство, содержание и вывозку леса, приходящиеся на  $1 \text{ м}^3$  древесины, перемещаемой по связи.

*Математическое описание задачи.* Обозначим:

$\Pi$  – список древесных пород, возможных к заготовке в лесосырьевой базе предприятия ;

$p \in \Pi$  – номер древесной породы из списка  $\Pi$  ( $p = 1, 2, \dots$ );

$W$  – список товарностей древесины;

$w$  – номер товарности,  $w = 1, 2, \dots$

Перенумеруем в произвольном порядке возможные пары сочетаний пород и товарностей, присвоив каждой паре номер  $\rho$ . Составим новый список  $P$  групп качества древесины. Пусть далее:

$t$  – номер года планового периода,  $t = 1, 2, \dots, T$ ;

$\gamma$  – коэффициент дисконтирования;

$I$  – список номеров узлов избыточной транспортной сети, выполненный в произвольном порядке. Каждый пункт  $i \in I$  характеризуется наличием и спросом (в том числе ненулевым) на древесину некоторой породы и товарности,  $\rho \in P$ ;

$I_1 \in I$  – список лесосек и транзитных пунктов сети;

$I_2 \in I$  – список точек стока сети;

$I_3 \in I_2$  – список нижних складов;

$L$  – список существующих и возможных к строительству транспортных связей;

$L_1 \in L$  – список существующих транспортных связей;

$L_2 \in L$  – список возможных транспортных связей;

(списки  $L_1$  и  $L_2$  используют на этапе подготовки исходных данных для назначения удельных затрат  $a_l$  на элементе сети);

$L_3 \in L$  – список транспортных связей, по которым ограничиваются размеры грузопотока;

$X_{\rho l}^t$  – грузопоток древесины  $\rho$ -й породы и товарности ( $\rho \in P$ ), перемещаемой по  $l$ -й ( $l \in L$ ) транспортной связи в  $t$ -м году планового периода;

$a_l^t$  – затраты на  $1 \text{ м}^3$  грузопотока по  $l$ -й связи, приходящиеся на ее строительство, плюс затраты на  $1 \text{ м}^3$  грузопотока, приходящиеся на транспортировку древесины по всей длине связи, ее содержание и ремонт в  $t$ -й год планового периода. Для уже построенных дорог  $a_l$  не включает затраты на строительство связи;

$\|M_{il}\|_{\rho}^t$  – матрица инцидентий графа связей транспортной сети ( $i \in I, l \in L, \rho \in P$ ) для  $t$ -го года планового периода;

$r_{i\rho}^t$  – условный доход от продажи  $1 \text{ м}^3$  древесины  $\rho$ -й породы и товарности, заготовленной в  $i$ -й ( $i \in I$ ) лесосеке, определяе-

мый как разность между средневзвешенной в пределах  $\rho$ -й группы качества портфеля заказов ценой  $1 \text{ м}^3$  древесины и затратами на лесосечные работы, приходящимися на  $1 \text{ м}^3$  обезличенной древесины, заготовленной в  $i$ -й лесосеке в  $t$ -й год планового периода;

$Q_{i\rho}$  – запас леса  $\rho$ -й породы и товарности ( $\rho \in P$ ), возможный к заготовке в  $i$ -й ( $i \in I_1$ ) лесосеке;

$V_{i\rho}^t$  – объем заготовки древесины  $\rho$ -й породы и товарности в  $i$ -й лесосеке ( $i \in I$ ) в  $t$ -й год планового периода;

$D_{i\rho}^t$  – объем заказа древесины  $\rho$ -й породы и товарности в  $i$ -м пункте сети ( $i \in I$ ,  $\rho \in P$ ) в  $t$ -й год планового периода;

$X_{lt}^{\max}$ ,  $X_{lt}^{\min}$  – соответственно верхний и нижний пределы грузопотока по  $l$ -му элементу сети в  $t$ -й год планового периода.

Тогда имеем

$$\max_{(V, X)} \left\{ \sum_{t=1}^T \gamma^t \left( \sum_{i \in I} \sum_{\rho \in P} r_{i\rho}^t V_{i\rho}^t - \sum_{l \in L} \alpha_l^t \sum_{\rho \in P} X_{l\rho}^t \right) \right\}; \quad (1)$$

$$\|M_{i \in I, l \in L}\|_{\rho}^t \cdot \|X_{l \in L}\|_{\rho}^t - V_{i \in I}\|_{\rho}^t = \|0_i\|_{\rho}^t, \forall \rho \in P, t \in T, i \in I; \quad (2)$$

$$V_{i \in I_2, \rho}^t = D_{i \in I_2, \rho}^t, \forall \rho \in P, t \in T; \quad (3)$$

$$\sum_{t=1}^T V_{i \in I_1, \rho}^t \leq Q_{i \in I_1, \rho}, \forall \rho \in P, i \in I; \quad (4)$$

$$X_{lt}^{\min} \leq \sum_{\rho \in P} X_{l\rho}^t \leq X_{lt}^{\max}, t \in T, l \in L_3; \quad (5)$$

$$V_{i\rho}^t \geq 0, t \in T, i \in I, \forall \rho \in P; \quad (6)$$

$$X_{l\rho}^t \geq 0, t \in T, i \in I, \forall \rho \in P. \quad (7)$$

Функционал (1) задачи требует для выбираемых лесосек максимума дисконтированной прибыли за плановый период от продажи вырубленной древесины. Ее рассчитывают как разность между доходом от продажи леса и затратами на лесосечные работы и транспортировку до потребителя, включая при необходимости затраты на строительство новых дорог к экономически эффективным лесосекам.

Ограничение (2) обеспечивает неразрывность и автоматическое сложение грузопотоков в узлах сети; (3) характеризует условия спроса в пунктах стока сети по годам планирования; (4) показывает, что вывозимый запас из лесосеки за плановый период не может быть выше наличествующего запаса; (5) – допустимые пределы грузопотоков по дорогам, определенным списком  $L_3$ ; (6), (7) – неотрицательность вырубленных запасов и потоков для всех лет планирования.

Исходная задача в части развития и размещения лесотранспортной сети относится к особому типу задач математического программирования,

для которых пока не существует общей теории и универсальных эффективных методов [1]. Нелинейная зависимость  $a_i^t$  от грузопотоков прошлых и будущих лет (наличие индекса  $t$ ) представляет значительные трудности для автоматического и строгого в математическом плане решения.

Обозначим далее:

$b_{lk}^t, c_{lk}^t, d_{lk}^t$  – соответственно удельные затраты на 1 м<sup>3</sup> грузопотока от строительства, собственно транспортировки леса и содержания  $l$ -й связи  $k$ -й категории в  $t$ -й год планирования;

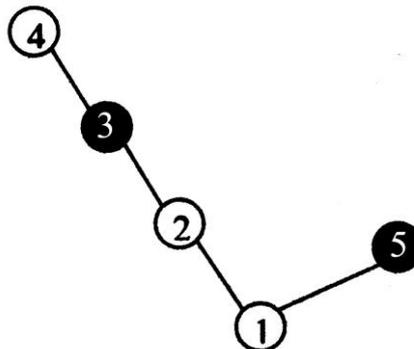
$\hat{x}_{lk}^t$  – нормативный диапазон грузопотока для  $l$ -й связи  $k$ -й категории.

Тогда

$$a_i^t(x_i^t) = \begin{cases} 0, & \text{если } \sum_{t=1}^t x_i^t = 0 \quad (\text{связи нет}); \\ c_{lk}^t + d_{lk}^t, & \text{если } x_i^t \in \hat{x}_{lk}^t \text{ и } \sum_{t=1}^{t-1} x_i^t > 0 \quad (\text{связь уже построена и используется}); \\ b_{lk}^t + c_{lk}^t, & \text{если } x_i^{t+1} \in \hat{x}_{lk}^t \text{ и } \sum_{t=1}^t x_i^t = 0 \quad (\text{связь в текущем году строится и эксплуатируется}). \end{cases}$$

Поскольку в рамках используемого подхода затраты на строительство элемента сети можно описать, только связав их с величиной соответствующего грузопотока, их показывают в первый год эксплуатации элемента. Целочисленные категории дорог определяют в результате выполнения итерационной процедуры [2].

Подходы к решению нелинейной задачи сейчас изыскиваются. Опыт эксплуатации задачи линейного программирования показал, что отказ от индекса  $t$  в коэффициенте  $a_i^t$  может привести к лучшему решению для некоторых вариантов распределения потоков на сети. Подобный вариант виден из рисунка. Если одна из лесосек 3 или 5, согласно портфелю заказов, может быть вырублена в начале планового периода, а в последующие годы необходимо рубить лесосеки 2 и 4, то, очевидно, сначала следует рубить лесосеку 3, строить связи 1 – 2, 2 – 3 и затем 3 – 4. Лесосеку 5 не следует включать в план рубок, так как древесину можно взять из лесосеки 3, связи к которой все равно придется строить по причине последующей рубки лесосек 2 и 4. Однако в линейной постановке будет реализован вариант с рубкой лесосеки 5 как наиболее эффектив-



ный для своего года.

Обычно это случается на сетях большой размерности. Оператор, обслуживающий автоматизированную систему, где эксплуатируется задача, может достаточно быстро обнаружить патологию и получить правильное решение. Процедура проста: лесосека 5 принудительно исключается из рассмотрения, и задача решается заново. Если при этом значение функционала улучшилось, значит решение верно. Для автоматизации процесса решения разработан пакет прикладных программ «ПОЛЬЗА» (программы оптимизации лесозаготовок), позволяющий готовить данные прямым вводом или решением сопутствующих задач и решать в линейном варианте произвольного размера с последующим анализом [1].

#### *Выводы*

1. Изложенная задача может быть применена как один из основных элементов системы обоснования территориальной динамики лесозаготовительного предприятия.

2. С методической точки зрения, изложенную задачу можно рассматривать как многоцелевой инструмент, предназначенный для среднесрочного планирования развития территориальной динамики ЛЗП; обоснования: выбора содержимого портфеля заказов предприятия на плановый период при наличии уже выделенного лесного фонда; динамики размещения и строительства лесотранспортной сети по годам планирования; плана корпоративного развития предприятия с учетом возможных прибылей и затрат; целесообразности инвестирования и реальности погашения кредитов; предельных цен на лесосеки на торгах; территориального размещения отдельных элементов и лесотранспортной сети в целом в рамках предпроектных работ.

4\*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гладков Е.Г.* Автоматизированная система планирования основного производства ЛЗП / Е.Г. Гладков. – СПб.: РЕСТЭК, 2002. Четвертый Междунар. лесопромышленный форум «Лесопромышленный комплекс России XXI века»: тез. докл. – С. 190.

2. *Гладков Е.Г.* Территориальная динамика лесозаготовительных предприятий. Экономико-математические модели планирования лесозаготовок / Е.Г. Гладков. – Сыктывкар: СЛИ, 2002. – 101с.

С.-Петербургская государственная  
лесотехническая академия

Поступила 08.04.04

*E.G. Gladkov*

#### **Model of Territorial Dynamics of Forest-harvesting Company**

Economic-mathematical model and dynamics calculation example of the main production activity of the forest-harvesting enterprise for the planned period are suggested.

---

---