ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

№ 3 ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ 1988

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 630*37.001

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНЫХ СХЕМ ЛЕСОТРАНСПОРТА

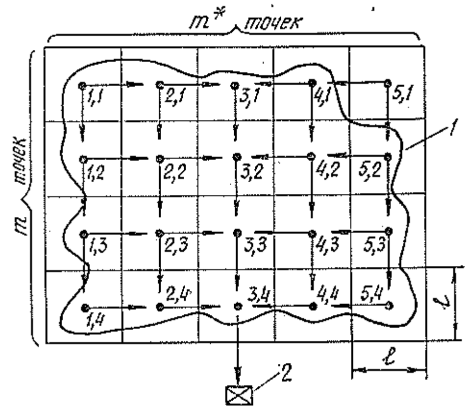
В. Т. СУРИКОВ

Московский лесотехнический институт

Под схемой транспортного освоения лесосырьевой базы понимают совокупность маршрутов (траекторий) перемещения древесины из всех точек лесосырьевой базы к пункту примыкания (нижний склад) определенными видами транспортных средств.

При проектировании оптимальной схемы следует найти наилучшую с экономической точки зрения совокупность маршрутов и одновременно установить: местоположение пункта примыкания из ряда возможных; оптимальную протяженность перемещения древесины первичным, вторичным и последующими видами лесотранспорта.

Поэтому наша задача — разработать математическую модель, в абстрактном виде отражающую данную проблему.



На заданную лесосырьевую базу накладывается прямоугольная сетка с числом квадратов $m \times m^*$ (см. рисунок: *1* — контур лесосырьевой базы; *2* — нижний склад). Число квадратов по горизонтали должно быть нечетным (m^* — нечетное число). Размер сторон квадратов в принципе может быть любым в зависимости от желаемой точности решения.

Запас древесины каждого квадрата считаем сосредоточенным в его центре (точке). Приняты следующие исходные условия и обозначения:

конфигурация лесосырьевой базы, ее размеры, рельеф и распределение запасов могут быть любыми;

число возможных пунктов примыкания (нижних складов) задано и является числом конечным;

заданы виды дорог, имеющиеся в лесосырьевой базе;

встречные перевозки запрещены;

$x_{i,j}$ — объем древесины, перемещаемый из i, j-й точки, м^3;

$q_{i,j}$ — запас древесины, сосредоточенный в i, j-й точке, м^3;

$a_{i,j}$ — объем древесины, потребляемый в i, j-й точке, м^3;

$l_{i,j} = l$ — сторона квадрата сетки, км;

$P_{i,j}$ и $P^*_{i,j}$ — дискретные числа (Булевы переменные), каждое из которых может принимать значения только 0 или 1, причем всегда $P_{i,j} + P^*_{i,j} = 1$.

Если древесина из какой-то точки перемещается в ближайшую горизонтально, то $P_{i,j}$ обозначается со звездочкой $P^*_{i,j}$, а если вертикально, то без звездочки $P_{i,j}$.

Точки по i нумеруют по горизонтали сетки слева направо, а по j — по вертикали сверху вниз.

Из точки 1,1 древесину можно перемещать в точку 1,2 или в 2,1 в объеме

$$x_{1,1} = q_{1,1} - a_{1,1} = b_{1,1}.$$

Из точки 2,2 древесину можно перемещать в точку 3,2 или в 2,3 в объеме

$$x_{2,2} = q_{2,2} - a_{2,2} + x_{2,1}P_{2,1} + x_{1,2}P^*_{1,2} = b_{2,2} + x_{2,1}P_{2,1} + x_{1,2}P^*_{1,2}.$$

В общем случае для лесосырьевой базы размером $m \times m^*$ квадратов математическая модель записывается следующим образом:

1) для всех

$$i < \frac{m^*+1}{2}; \quad j = m$$

$$x_{i,j} = b_{i,j} + x_{i-1,j}P^*_{i-1,j} + x_{i,j-1}P_{i\,j-1};$$

2) для всех

$$m^* \geqslant i > \frac{m^*+1}{2}; \quad j \leqslant m$$

$$x_{i,j} = b_{i,j} + x_{i,j-1}P_{i,j-1} + x_{i+1,j}P^*_{i+1,j};$$

3) для всех

$$i = \frac{m^*+1}{2}; \quad j < m$$

$$x_{i,j} = b_{i,j} + x_{i,j-1} + x_{i-1,j}P^*_{i-1,j} + x_{i+1,j}P^*_{i+1,j};$$

4) для всех

$$i = \frac{m^*+1}{2}; \quad j = m$$

$$x_{i,j} = \sum_{i=1}^{m^*} \sum_{j=1}^{m} b_{i,j} = \text{const};$$

5) для всех i и j

$$P_{i,j} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}; \quad P^*_{i,j} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}; \quad P^*_{i,j} + P_{i,j} = 1.$$

Математическая модель пригодна для любого промышленного региона с произвольным разбросом точек, в которых сосредоточены те или иные грузы, перемещаемые в определенную точку последовательно двумя или несколькими видами транспорта. Этот вывод следует из того, что любое произвольное распределение точек можно свести к прямоугольной сетке введением фиктивных точек, в которых $q_{i,j} = 0$; $a_{i,j} = 0$. На рисунке такой точкой является точка 5,1.

Оптимальное решение математической модели находят по определенной функции цели или критерию оптимальности.

В принципе целевых функций (критериев оптимальности) существует сколь угодно много. Однако в зависимости от цели, которую ставит перед собой проектировщик, он выбирает ту (или несколько), которая отвечает этой цели и при которой достигается решение поставленной задачи.

При проектировании схем лесотранспорта надо установить, по каким направлениям грузопотоков необходимо строить новые пути, какие из существующих дорог можно использовать и нужна ли их техническая перевооруженность. Одновременно должны быть выбраны вид транспорта, тип тяги и место расположения пункта примыкания.

Все эти вопросы следует решать с учетом рельефа местности, распределения запасов на площади лесосырьевой базы, расположения карьеров, гидрологических, грунтовых и других условий (факторов). Поэтому в зависимости от поставленной цели транспортная сеть может принимать различную конфигурацию.

В настоящее время при сравнении нескольких вариантов, в том числе и при проектировании схем транспортного освоения лесосырьевых баз (транспортных сетей вообще), в основном в качестве функции цели принимают минимум приведенных затрат за ряд лет. Использование этого критерия позволяет эффективно решать задачи перспективного планирования и проектирования только при известной и заданной (детерминированно) всей исходной информации. В тех случаях, когда вся или часть исходной информации не известна и не задана, решение поставленной задачи по этому критерию практически получить невозможно.

Если решение задачи, рассматриваемой в данной работе, проводить по критерию «минимум приведенных затрат»

$$З = \sum_{t=1}^{t=T} A_t (1+E)^{-t} = \frac{A_1}{1+E} + \ldots + \frac{A_t}{(1+E)^t} + \ldots + \frac{A_T}{(1+E)^T},$$

то производимые в t-м году затраты (капитальные и текущие) A_t являются величинами не известными и не заданными, так как они сами зависят (причем дискретно) от конфигурации и структуры транспортной сети.

Кроме того, функция «минимум приведенных затрат» используется в тех случаях, когда капитальные и текущие затраты в течение всего периода (T) строительства объекта «заморожены». Строительство же лесотранспортных путей производится последовательно с введением в эксплуатацию по мере их готовности.

Поэтому для решения поставленной задачи функцией цели принят минимум полных затрат, связанных с транспортным освоением лесосырьевой базы за весь срок ее освоения.

Полные затраты для любого n-го вида транспорта подразделяются нами на условно-постоянные и условно-переменные.

К условно-постоянным отнесены затраты на строительство транспортных путей. Они слагаются из нормативной стоимости строительства транспортных путей n-го вида транспорта ($K^n_{i,j}$ и $K^{n*}_{i,j}$) и дополнительных затрат на сооружение мостов, путепроводов, туннелей, больших насыпей, выемок и т. п. ($d^n_{i,j}$ и $d^{n*}_{i,j}$).

При освоении заданной лесосырьевой базы только n-м видом транспорта условно-постоянные затраты в соответствии с нашей экономико-математической моделью составят

$$З_1 = \sum_i \sum_j \left(K^n_{i,j} l + d^n_{i,j}\right) P_{i,j} + \sum_i \sum_j \left(K^{n*}_{i,j} l + d^{n*}_{i,j}\right) P^*_{i,j} =$$

$$= \sum_i \sum_j c^n_{i,j} P_{i,j} + \sum_i \sum_j c^{n*}_{i,j} P_{i,j}. \qquad (1)$$

Условно-переменные затраты нами условно разбиты на три группы. К первой группе отнесены: затраты на перемещение древесины (груза); стоимость тягового и подвижного состава; затраты на ремонт и содержание транспортных путей, а также тягового и подвижного состава. Вторая группа: затраты на погрузку древесины (груза); стоимость погрузочных машин и механизмов. Третья группа: затраты на содержание административно-управленческого персонала дороги; на строительство зданий, сооружений и складских путей; прочие.

Для нашей экономико-математической модели условно-переменные затраты первой группы не зависят от конфигурации транспортной сети, потому что общая грузовая работа для конкретной лесосырьевой базы — величина постоянная для любой схемы. Однако эти затраты зависят от грузовой работы различных видов транспорта, используемых при комбинированной вывозке.

Поэтому условно переменные затраты первой группы выразим через удельные затраты и грузовую работу следующим образом:

$$З_2^n = Э_1^n Г, \tag{2}$$

где $Э_1^n$ — удельные условно-переменные затраты, р./(м^3 · км);

$Г$ — грузовая работа при освоении всей лесосырьевой базы, м^3 · км.

При освоении заданной лесосырьевой базы только n-м видом транспорта эти затраты в соответствии с нашей экономико-математической моделью составят

$$З_2^n = \sum_i \sum_j Э_{i,j}^n l x_{i,j} P_{i,j} + \sum_i \sum_j Э_{i,j}^{n*} l x_{i,j} P_{i,j}^*, \tag{3}$$

где $Э_{i,j}^n$ и $Э_{i,j}^{n*}$ — удельные условно-переменные затраты первой группы соответственно по вертикальному и горизонтальному направлениям.

Так как древесина из каждой точки перемещается только одним видом транспорта, а l — величина постоянная, то:

$$Э_{i,j}^n l = Э_{i,j}^{n*} l = \lambda_{i,j}^n. \tag{4}$$

С учетом (4) равенство (3) примет вид

$$З_2^n = \sum_i \sum_j \lambda_{i,j}^n x_{i,j} (P_{i,j} + P_{i,j}^*). \tag{5}$$

В силу того, что $(P_{i,j} + P_{i,j}^*) = 1$, равенство (5) запишем:

$$З_2^n = \sum_i \sum_j \lambda_{i,j}^n x_{i,j}. \tag{6}$$

Условно-переменные затраты второй и третьей групп для заданной (конкретной) лесосырьевой базы не зависят ни от конфигурации транспортной сети, ни от грузовой работы различных видов транспорта, используемых при комбинированной вывозке. Поэтому эти виды затрат в функцию цели не включаются. Таким образом, общие затраты (функция цели), связанные с транспортным освоением всей лесосырьевой базы за весь срок ее освоения при перемещении древесины только одним n-м видом транспорта, составят:

$$З_0^n = З_1^n + З_2^n = \sum_i \sum_j c_{i,j}^n P_{i,j} + \sum_i \sum_j c_{i,j}^{n*} P_{i,j}^* + \sum_i \sum_j \lambda_{i,j}^n x_{i,j} \to \min.$$

При комбинированном перемещении древесины последовательно двумя различными видами транспорта (трелевка, затем вывозка автомобилями) коэффициенты $c_{i,j}^n$, $c_{i,j}^{n*}$ и $\lambda_{i,j}^n$ обозначим без n, так как неизвестно, для какого вида транспорта эти коэффициенты ставить. Тогда функция цели примет вид

$$З_0 = \sum_i \sum_j c_{i,j} P_{i,j} + \sum_i \sum_j c^*_{i,j} P^*_{i,j} + \sum_i \sum_j \lambda_{i,j} x_{i,j} \to \min.$$

Поступила 8 октября 1986 г.

УДК 630*36 : 658.5.012.12

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЫПУСКА МАШИНЫ ЛП-19

П. М. МАЗУРКИН, В. И. КРЕТИНИН, В. Н. СОЛОВЬЕВ, В. И. ЗАГАЙНОВ, В. Г. БОБРОВ

Марийский политехнический институт
Йошкар-Олинский завод лесного машиностроения

В повышении уровня машинизации лесозаготовок особую значимость имеет анализ важнейших технико-экономических показателей выпуска машин (себестоимость и трудоемкость изготовления и др.) в рамках действующего производства. Йошкар-Олинский завод лесного машиностроения с 1984 г. перешел на выпуск модели ЛП-19А. Для технической подготовки завода к выпуску качественно новой машины ЛП-19М необходимо оценить тенденции изменения основных технико-экономических показателей ЛП-19 и ЛП-19А. Цель данной статьи — описать многофакторные нелинейные регрессионные модели, полученные на основе обработки реальных производственных данных.

Хронограмма выпуска машины ЛП-19 по годам и месяцам показала, что число машин Z меняется по сложной поверхности отклика типа $Z = f(Г, М)$ (где $Г$ — номер года: 1 — 1975 г.; 2 — 1976 и т. д.; $М$ — номер месяца в году). По данным работы [5, с. 36], выпуск машин изменяется по нелинейной зависимости. Причем наиболее трудно математически описать этап начала освоения производства (1-й год выпуска).

После структурно-параметрической идентификации на ЭВМ ЕС-1020 получена модель вида

$$Z = (-9{,}505 + 10{,}2883Г - 1{,}6769Г^{1{,}6097}) \times \times (1{,}5572 + 0{,}5954М - 0{,}6006М^{0{,}9924}). \quad (1)$$

Показатель изменчивости остатков $V = 25{,}0$ %, среднее квадратичное отклонение $\sigma = 6{,}9$ шт. Начиная с момента $Г = 2$, $М = 7$, модель (1) с достаточной точностью описывает фактические данные. Отклонение $\Delta = 100\,(\widehat{Z} - Z)/\widehat{Z}$, где $\widehat{Z}$ — фактический месячный выпуск машин не превышает 26 %.

В модели (1) приведены два укрупненных фрейма (понятие по [1, с. 144]), которые взаимосвязаны. Факторы «год» и «месяц» нами определены по ранговой шкале на целочисленной оси [3, с. 155—159]. Известно, что дискретные задачи принятия решений имеют четкую алгебраическую структуру [8, с. 104]. Поэтому модель (1) можно использовать для анализа тенденции выпуска машин типа ЛП-19.

Функция $f(Г)$ к 1983 г. (код 9) получила предел насыщения выпуска, что соответствует (по схеме [5, с. 36]) уровню стабилизации выпуска. Действительно, переход завода в 1984 г. на выпуск ЛП-19А оказался своевременным. Это позволило использовать внутренние резервы и в 1985 г. увеличить выпуск ЛП-19А до 525 шт. Однако этот результат достигнут за счет предельных усилий: производственная мощность завода загружена на 92 %. В табл. 1 приведены некоторые