

67. Экономика труда : учебник / А. И. Рофе [и др.] ; под ред. А. И. Рофе. – М. : МИК, 2007. – 304 с.

68. Полтерович В. М. Элементы теории реформ. – М. : Экономика, 2007. – 447 с.

D. G. Zaguliaev, Candidate of Economics, Associate Professor, Votkinsk Branch of Izhevsk State Technical University

Criticism of Views on Labor Economics in Economic Theory

Criticism of contemporary views on labor economics in economic theory is described, issues associated with social and labor environment are provided.

Key words: economic theory, social and labor environment, labor economics.

УДК 519.876.2

И. Г. Русяк, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет
Д. Г. Нефедов, аспирант, Ижевский государственный технический университет

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ТОПЛИВООБЕСПЕЧЕНИЯ ДРЕВЕСНЫМИ ВИДАМИ ТОПЛИВА*

Разработаны математическая модель и методика расчета, позволяющая определять оптимальные характеристики топливообеспечения распределенной системы теплоснабжения древесными видами топлива. Приведен пример расчета соответствующих характеристик для Удмуртской Республики.

Ключевые слова: топливо, щеп, транспортировка, себестоимость, оптимизация.

Одной из основных задач при создании производственных предприятий является расчет оптимального объема выпуска продукции, который определяется размерами сырьевой и сбытовой базы. Построение математических моделей размещения производства на заданной территории позволяет определять такие значения объема выпуска продукции на каждом предприятии и их количества, при которых обеспечивается минимальная себестоимость продукции или максимизируется общая прибыль [1–3].

Построим математическую модель оптимального размещения предприятий по производству древесных видов топлива.

При организации предприятий по производству древесных видов топлива на определенной территории важно учитывать как обеспеченность их сырьем на данной территории, так и потребность в топливе местных теплоисточников.

Основным сырьем для производства древесных видов топлива являются лесосечные отходы, относительно низкая концентрация которых в местах лесозаготовок и малая насыпная плотность требуют значительных затрат на транспортировку. Технологическая цепочка по заготовке древесных видов топлива предполагает сбор и сортировку лесосечных отходов на пунктах накопления отходов (ПНО), затем их доставку в пункты производства топлива (ППТ), где

сырье измельчается в щепу и подсушивается [4]. При организации производственного процесса возникает задача его оптимизации, при котором обеспечиваются минимальные затраты на производство и доставку продукции потребителю.

Рассматриваемая задача решается при следующих допущениях:

- 1) объем выпуска продукции производителем (ППТ) равен потребности снабжаемых им теплоисточников;
- 2) затраты на транспортировку древесного топлива и сырья не зависят от характера дорог, а определяются только расстоянием транспортировки;
- 3) организация необходимого количества (ППТ) для удовлетворения потребностей теплоисточников в топливе на заданной территории определяется исходя из одинакового среднего выпуска продукции на каждом предприятии;
- 4) удельные (на единицу площади) запасы сырья на рассматриваемой территории постоянны;
- 5) потребности теплоисточников в топливе на рассматриваемой территории пропорциональны ее площади.

Удельную себестоимость производства топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) определим выражением

$$c = a + \frac{b}{V} + g_c L_c + g_m L_m, \quad (1)$$

© Русяк И. Г., Нефедов Д. Г., 2011

Получено 11.01.11

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы по направлениям «Новые и возобновляемые источники энергии» и «Производства топлив и энергии из органического сырья».

где a – условно-постоянные затраты на производство единицы продукции; b – условно-постоянные затраты на весь объем производства; V – объем производства; g_c – удельные затраты на транспортировку сырья; g_t – удельные затраты на транспортировку топливно-энергетических ресурсов (ТЭР); L_c – расстояние доставки сырья до пункта переработки в ТЭР; L_t – расстояние доставки ТЭР до теплоисточников.

Выражение (1) представляет собой целевую функцию производителя. Она показывает, что для уменьшения себестоимости ТЭР необходимо уменьшать затраты на транспортировку и наращивать объем производства при заданных значениях остальных параметров. При этом увеличение одного фактора масштаба (объема производства или расстояния транспортировки) возможно только за счет увеличения другого, поэтому необходимо определить зависимость между этими факторами.

Рассмотрим территорию S_t с некоторой заданной годовой потребностью теплоисточников в топливе Q_t и с запасами сырья, равными Q_c ($Q_c \geq Q_t$). Площадь территории для сбора сырья S_c ($S_c \leq S_t$), обеспечивающая его необходимое количество для удовлетворения потребности Q_t теплоисточников в топливе, определяется выражением

$$S_c = \alpha \frac{S_t}{Q_c} Q_t, \quad (2)$$

где α – коэффициент расхода сырья на производство топлива ($\alpha \geq 1$).

Так как площади территорий охвата сырьевой и сбытовой базы пропорциональны квадратам их линейных масштабов L_c и L_t соответственно, то зависимость (2) можно представить в виде

$$L_c = L_t \sqrt{\frac{\alpha Q_t}{Q_c}}. \quad (3)$$

Для обеспечения производства Q_t щепы необходимо организовать N пунктов подготовки топлива со средним объемом производства щепы на каждом ППТ:

$$V = \frac{Q_t}{N}. \quad (4)$$

С учетом выражений (3) и (4) формула (1) примет вид

$$c = a + \frac{bN}{Q_t} + \left(g_c \sqrt{\frac{\alpha Q_t}{Q_c}} + g_t \right) L_t. \quad (5)$$

С учетом допущений 4) и 5) среднее расстояние доставки топлива до теплоисточника будет определяться из выражения

$$\bar{L}_t = \frac{\iint l ds}{S_t}, \quad (6)$$

где l – переменное расстояние доставки топлива от места расположения ППТ до теплоисточника.

Разобьем территорию на N сегментов квадратной формы. Путем вычисления интеграла (6) может быть получено соотношение соответствующих линейных размеров территории сегмента:

$$\bar{L}_t = \lambda L_t, \quad (7)$$

где λ – коэффициент, связывающий средний и максимальный размер сегмента ($\lambda \leq 1$).

Для возможности аналитического представления искомого расстояния \bar{L}_t через известные параметры модели определим зависимость $N = f(\bar{L}_t)$. Для расчета количества ППТ (N) может быть использовано соотношение

$$N = \frac{S_t}{s_t}, \quad (8)$$

где s_t – территория охвата теплоисточников одним ППТ.

При представлении территории охвата теплоисточников одним ППТ в виде квадрата со стороной $2L_t$ его площадь составит $4L_t^2 = 4\left(\frac{1}{\lambda} \bar{L}_t\right)^2$. С учетом коэффициента кривизны дорог γ ($\gamma \leq 1$) искомая территория охвата будет равна $s_t = 4\left(\frac{\gamma}{\lambda} \bar{L}_t\right)^2$.

Тогда формулу (8) можно записать в виде

$$N = \frac{S_t}{4\left(\frac{\gamma}{\lambda} \bar{L}_t\right)^2}. \quad (9)$$

Для минимизации себестоимости производства топлива с учетом его доставки до потребителей $c = \varphi(L_t)$ (см. формулу (5)), расположенных на заданной территории, будем оптимизировать целевую функцию как функцию среднего расстояния транспортировки топлива до теплоисточников $c = \varphi(\bar{L}_t)$. В результате задача оптимизации состоит в нахождении такого расстояния транспортировки ТЭР до теплоисточников \bar{L}_t^{opt} и, соответственно, количества ППТ $N^{opt} = f(\bar{L}_t^{opt})$, при которых будет обеспечена минимальная удельная себестоимость топлива для потребителя как функции от параметра \bar{L}_t :

$$\varphi(\bar{L}_t) \rightarrow \min; \quad (10)$$

$$\frac{d\varphi(\bar{L}_T)}{d\bar{L}_T} = 0; \frac{d^2\varphi(\bar{L}_T)}{d\bar{L}_T^2} > 0; \Rightarrow \bar{L}_T^{opt} = \arg \min_{N^{opt}=f(\bar{L}_T^{opt})} \varphi(\bar{L}_T). \quad (11)$$

С учетом формул (5) и (9) целевую функцию (10) можно записать в виде

$$\varphi(\bar{L}_T) = a + \frac{bS_T}{4Q_T \left(\frac{\gamma}{\lambda} \bar{L}_T\right)^2} + \left(g_c \sqrt{\frac{\alpha Q_T}{Q_c}} + g_T \right) \bar{L}_T. \quad (12)$$

Таким образом, задача оптимизации состоит в нахождении среднего расстояния \bar{L}_T , минимизирующего целевую функцию (12). Это значение определяется выражением

$$\bar{L}_T^{opt} = \sqrt[3]{\frac{bS_T}{2Q_T \left(\frac{\gamma}{\lambda}\right)^2 \left(g_c \sqrt{\frac{\alpha Q_T}{Q_c}} + g_T \right)}}. \quad (13)$$

Объем производства щепы на каждом ППТ и их количество, соответствующие оптимальному расстоянию транспортировки, вычисляются, соответственно, по формулам (4) и (9).

Для рассмотренной технологии и текущих цен на оборудование и энергоресурсы в [5] получена зависимость удельной себестоимости щепы от затрат на транспортировку и объема производства:

$$c = 155,6 + 5,1L_c + \frac{368\,838,1}{V} + 3,1L_T, \text{ руб./м}^3.$$

Таким образом, $a = 155,6$ руб./м³; $b = 368\,838,1$ руб./г.; $g_c = 5,1$ руб./м³/км; $g_T = 3,1$ руб./м³/км.

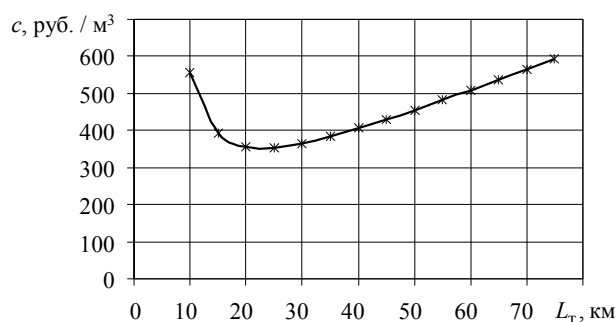
Исходя из полученных значений определим оптимальные производственные параметры системы топливообеспечения щепой для Удмуртской Республики.

Согласно [5] годовая потребность теплоисточников УР в топливе составляет $Q_T = 36\,014$ тонн условного топлива (т у. т.), или $Q_T = 135\,391$ м³ щепы. Площадь УР составляет $S_T = 42\,061$ км², доступный потенциал древесного сырья на ее территории равен $Q_c = 139\,610$ т у. т., или $Q_c = 524\,850$ м³.

Коэффициент λ , рассчитанный по формуле (6), $\lambda = 0,77$. Для дальнейших расчетов примем $\alpha = 1$, $\gamma = 0,7$. В результате подстановки перечисленных параметров в формулу (12) получим следующую целевую функцию:

$$\varphi(\bar{L}_T) = 155,6 + \frac{34\,213,1}{\bar{L}_T^2} + 5,7\bar{L}_T.$$

Вид этой зависимости изображен на рисунке.



Зависимость себестоимости щепы от среднего расстояния транспортировки до теплоисточников

Оптимальное значение расстояния \bar{L}_T , вычисленное по формуле (13), составляет: $\bar{L}_T^{opt} = 23$ км. Оптимальное количество ППТ, вычисленное по формуле (9), $N^{opt} = 24$ со средним объемом производства $V^{opt} = 5\,700$ м³ щепы в год. Минимальное значение себестоимости щепы при этом $c = 352$ руб./м³, или $c = 1\,323$ руб./т у. т.

Таким образом, использование формулы (13) позволяет определить оптимальное расстояние транспортировки топлива (щепы) до теплоисточников, следовательно, и оптимальное количество ППТ в зависимости от параметров производственных затрат и характера территории сырьевой и сбытовой базы.

Библиографические ссылки

1. Mark S. Daskin. What you should know about location modeling // Naval Research Logistics. – 2008. – Vol. 55. – P. 283–294.
2. Drezner Z., Hamacher H. Facility location: applications and theory. – Berlin ; Heidelberg ; New-York : Springer, 2004. – 457 p.
3. Лейв А. Пространственная организация хозяйства : пер. с нем. / под ред. акад. А. Г. Гранберга. – М. : Наука, 2007. – 663 с.
4. Восс Дж. Передовой опыт в использовании энергии биомассы : пер. с англ. – Минск : Белэнергоэкономка, 2006. – 198 с.
5. Концепция Республиканской целевой программы «Снабжение населенных пунктов Удмуртской Республики местными видами топлива» / В. К. Преснухин [и др.] // Отчет по гос. контракту. – Ижевск : ИжГТУ, 2009. – 294 с.

I. G. Rusyak, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University

D. G. Nefedov, Postgraduate Student, Izhevsk State Technical University

Mathematical Model and Method for Calculating the Optimal Parameters of the Wood Fuel Supply System

The mathematical model and calculation method, which allows determining the optimal characteristics of a fuel supply for a distributed heating system with wood fuel, was developed. An example of the calculation of the relevant characteristics for the Udmurt Republic is given.

Key words: fuel, wood chips, transport, costs, optimization.