УДК 674.8:621.926.

А.А. ВЕСЕЛОВ

Центральный научно-исследовательский институт фанеры



Веселов Анатолий Александрович родился в 1939 г., окончил в 1963 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, заведующий НИО специализированнах производств Центрального научно-исследовательского института фанеры. Имеет более 120 научных трудов в области переработки и использования вторичного древесного сырья.

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ДРЕВЕСНЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ОТХОДОВ

Изложена методика оптимизации и приведены примеры ее применения для расчета рационального состава щепы как смеси из двух и трех исходных разновидностей, отличающихся содержанием кондиционной фракции и засоренностью корой, гнилью и примесями.

The optimization technique is presented and examples of its use are given for calculating the rational chips composition as a mixture out of two and tree initial varieties, distinguished by the conditional fraction composition and contamination with bark, decay and additives.

Лесной комплекс страны располагает большим числом предприятий, важнейшей стадией производства которых является изготовление из древесных отходов самых разнообразных по назначению частиц: технологической щепы, стружки для древесных плит, специальных частиц для пресс-масс, арболита и др. При работе этих предприятий в новых условиях все более острой становится проблема вовлечения в переработку всей гаммы имеющихся древесных отходов, включая и такие, которые ранее для этого не находили применения: кусковые – обрезки пиломатериалов, плит, фанеры, шпона и др., мягкие – опилки, станочная стружка, отсев щепы и др. При этом особую актуальность приобретает задача оптимизации состава готовых древесных частиц различных исходных отходов.

Для решения проблемы использования отходов предприятия, как правило, исходят из стремления либо сэкономить наиболее дорогостоящие или дефицитные их разновидности, направив для использования на другие более важные нужды (изготовление основной продукции, ТНП и др.), либо, наоборот, в максимальной степени использовать при формировании той или иной смеси древесных частиц наиболее дешевые или имеющиеся в избытке

разновидности отходов. При этом многие предприятия вместо ожидаемого выигрыша весьма часто сталкиваются с убытками, связанными со снижением качества получаемой смеси готовых частиц.

В статье рассмотрена задача оптимизации состава смеси древесных частиц. Ее можно решить, если использовать требование минимизации удельной себестоимости производства готовой смеси частиц заданного качества

$$C_{\text{у}} = \sum_{j=1}^{n} c_j m_j \to \min, \qquad (1)$$

где c_j – себестоимость производства j-й разновидности исходных древесных частиц, отнесенная к единице их массы;

m_j – массовая доля j-й разновидности частиц в общей готовой смеси, доли единицы.

При этом необходимо, чтобы основной показатель качества смеси готовых древесных частиц, представляющих собой, как правило, нормативное содержание в частицах заданной (кондиционной) фракции [1], не выходил за допускаемые пределы, т. е.

$$q_{\text{с}}^{\min} \le \sum_{j=1}^{n} q_j m_j \le q_{\text{с}}^{\max}, \qquad (2)$$

где $q_{\text{с}}$ и q_j – содержание заданной (кондиционной) фракции частиц соответственно в готовой смеси и в j-й их разновиности, %.

Кроме того, в качестве условия, ограничивающего выбор состава готовой смеси частиц, должны быть учтены балансовые требования – неотрицательность массовых долей исходных разновидностей частиц и равенство единице суммы этих долей в смеси:

$$m_j \ge 0 \ \text{ и } \ \sum_{j=1}^{n} m_j = 1. \qquad (3)$$

Следует подчеркнуть также, что во всех расчетах показатели q_j и c_j предполагаются известными. Величина первого из них легко устанавливается с помощью любого из ситоанализаторов (АЛГ-М, 7I-ГР, 0-29М и др.), предусмотренных для этого согласно действующей нормативно-технической документации [1]. Второй показатель, носящий условный характер, устанавливается либо исходя из цен или затрат, либо, например, как величина, пропорциональная уровню использования тех или иных отходов, который всегда известен, отражая спрос на последние и их дефицитность в отрасли или на конкретном предприятии. При этом для наиболее дорогостоящей и широко используемой разновидности отходов этот показатель можно принять за единицу, а все остальные – как доли единицы.

Если в том или ином производстве смесь готовых древесных частиц формируется только из двух исходных разновидностей, то поставленная задача решается сравнительно просто. Допуская, что доля любой

разновидности исходных частиц в формировании показателя q_c для готовой смеси пропорциональна его значению в данной разновидности, а также в ее массовой доле, можно записать, что

$$q_c = q_1 m_1 + q_2 m_2 . \tag{4}$$

Исходя из того, что в такой смеси, согластно требованиям (2) и (3), $m_1 + m_2 = 1$, $q_1 < q_2$ и $c_1 > c_2$, задача оптимизации m_1 сводится к решению уравнения

$$m_1 = \left(q_c^{\min} - q_2\right) / \left(q_1 - q_2\right), \tag{5}$$

а задача минимизации себестоимости смеси – уравнения

$$C_y^{\min} = \left(c_1 - c_2\right) m_1 + c_2 . \tag{6}$$

Эффективность такой методики уже подтверждена имеющимся опытом [1]. Более сложно решить поставленную задачу тогда, когда готовую смесь древесных частиц формируют из трех ее исходных разновидностей. Однако ее решение упрощается тем, что подобные, хотя и отличные по своей сущности задачи, давно и успешно реализуются в других отраслях промышленности. Для этого, как показал анализ, нашли применение три основных метода: упрощенный или рекуррентный [6], симлекс-решетчатого планирования [4, 5] и линейного программирования [3, 6].

Первый из этих методов заключается в расчете оптимальных значений показателя m_j при условии, что известны его ориентировочные интервалы возможных значений в смеси. Тогда при указанных выше обозначениях получим:

$$\overline{m}_j = \begin{cases} m_j^{\max}, \text{ если } M_j \le 1 - m_j^{\max}; \\ 1 - M_j, \text{ если } M_j > 1 - m_j^{\max}, \end{cases} \tag{7}$$

где

$$M_j = \sum_{i=1}^{j-1} m_i^{\min} + \sum_{i=j+1}^{n} m_i, \; j = \overline{1, n}. \tag{8}$$

Как видно из этих формул, такое решение задачи не в полной мере соответствует целевой функции (1), не учитывает качества древесных частиц согластно требованию (2) и не дает количественной оценки достигаемого выигрыша от использования малоценного или избыточного вторичного сырья.

Второй метод, основанный на результатах многофакторного эксперимента, позволяет получить для расчетов уравнение в виде полинома, например, второй степени:

$$\overline{q}_c = b_1 m_1 + b_2 m_2 + b_3 m_3 + b_{12} m_1 m_2 + b_{13} m_1 m_3 + b_{23} m_2 m_3, \tag{9}$$

где

$$\left.\begin{aligned} b_1 = q_1; b_2 = q_2; b_3 = q_3; b_{12} = 4q_{12} - 2q_1 - 2q_2; \\ b_{13} = 4q_{13} - 2q_1 - 2q_3; b_{23} = 4q_{23} - 2q_2 - 2q_3. \end{aligned}\right\} \quad (10)$$

Из уравнения (9) видно, что этот метод, также как и первый, не соответствует целевой функции (1), не отвечает на вопрос о выигрыше от оптимизации готовой смеси и, кроме того, весьма трудоемок, что ограничивает его применение в условиях производства.

Третий метод наиболее прост и перспективен, так как отвечает всем трем указанным выше требованиям поставленной задачи. Последнюю с учетом принятых выше обозначений можно сформулировать для исследуемых условий в следующем виде:

$$C_{\text{у}}^{\min} = \sum_{j=1}^{3} c_j m_j \left| \begin{aligned} q_i^{\min} \le q_i \le q_i^{\max};\ i = \overline{1,3}; \\ q_i = \sum_{j=1}^{3} q_{ij} m_j;\ j = \overline{1,3}. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Пусть, например, на фанерном производстве при изготовлении щепы марки ПС (ГОСТ 15815 – 91) в дополнение к уже имеющемуся участку переработки карандашей и отрезков сырья на базе дисковой рубительной машины МРН (поток I) решено организовать переработку еще 4-5 разновидностей отходов [2]: в потоке II – шпона-рванины и обрезков сырого шпона на базе новой барабанной рубительной машины ДШ-5, в

Щепа	Массовая доля остатков щепы, %			Засоренность щепы, %			Относительная себестоимость щепы, доли единицы
	на ситах с отверстиями, мм		на поддоне	гнилью	корой	примесями	
	30	20, 10 и 5					
По ГОСТ 15815 – 91	≤ 5	≥ 85	≤ 10	≤ 5,0	≤ 15,0	≤ 0,5	-
В потоках:							
I	2,3	92,1	5,6	14,0	-	-	1,00
II	6,1	83,7	10,2	-	27,0	-	0,72
III	5,7	81,9	12,4	-	-	2,0	0,39
I +II	4,6	86,8	8,6	5,1	17,0	-	0,82
I +II+ III	4,8	85,9	9,3	4,2	13,5	0,4	0,74

потоке III – обрезков фанеры, сухого шпона и др. на базе новой роторной дробилки ДРН-I.

Вследствие специфических особенностей указанных отходов и применяемых для них машин качество исходной щепы и ее себестоимость с учетом уровня использования таких отходов [1] оказались различными (см. таблицу).

Если теперь в строки таблицы с первой по четвертую ввести обоначения (во второй графе – $q_1^{\min}$, $q_1^{\max}$, q_{11}, q_{12} и q_{13}, в третьей – $q_2^{\min}$, $q_2^{\max}$, q_{21}, q_{22} и т. д., в последней - c_1 , c_2 , c_3), принять условие

$m_1 = 1 - m_2 - m_3$ и тем самым понизить размерность поставленной задачи, то она вместо выражения (11) может быть сведена к более простой задаче линейного программирования, решаемой относительно только m_2 и m_3:

$$C_{\text{y}}^{\min} = c_1 + \bar{c}_2 m_2 + \bar{c}_3 m_3 \left| \begin{array}{l} \bar{q}_1^{\min} \le \bar{q}_{12} m_2 + \bar{q}_{13} m_3 \le \bar{q}_1^{\max}; \\ \bar{q}_2^{\min} \le \bar{q}_{22} m_2 + \bar{q}_{23} m_3 \le \bar{q}_2^{\max}; \\ \bar{q}_3^{\min} \le \bar{q}_{32} m_2 + \bar{q}_{33} m_3 \le \bar{q}_3^{\max}, \end{array} \right\} \quad (12)$$

где $$m_2 + m_3 \le 1;\ j = 1,\ 2;\ i = 1,\ 2,\ 3;\ \bar{c}_j = c_j - c_1; \quad (13)$$

$$\bar{q}_i^{\min} = q_i^{\min} - q_{i1};\ \bar{q}_i^{\max} = q_i^{\max} - q_{i1};\ \bar{q}_{ij}^{\min} = q_{ij} - q_{i1}. \quad (14)$$

Исходя из данных таблицы и формул (12) – (14), условие минимизации целевой функции в этом случае примет вид

$$C_{\text{y}}^{\min} = 1 - 0{,}28 m_2 - 0{,}61 m_3. \quad (15)$$

Допустимая область вариации массовых долей исходных разновидностей m_2 и m_3 в готовой смеси щепы выражается шестью неравенствами, из которых наилучшее решение соответствует точке пересечения прямых, представленных уравнениями

$$\left. \begin{array}{l} 3{,}8 m_2 + 3{,}4 m_3 = 2{,}3; \\ 4{,}6 m_2 + 8{,}8 m_3 = 3{,}6. \end{array} \right\} \quad (16)$$

Следовательно, показатели m_1, m_2 и m_3 можно принять приближенно равными соответственно 0,3; 0,5 и 0,2.

Из сравнения вариантов производства готовой щепы, приведенных в таблице, можно отметить, что наилучшим вариантом решения задачи переработки отходов фанерного производства в щепу марки ПС является использование трехпоточной технологической схемы. Для нее готовая щепа как смесь не только отвечает всем требованием стандарта, включая требования к ее засоренности, но и имеет значительно меньшую себестоимость. При этом, что особенно важно, достигается вовлечение в переработку дополнительно более четырех разновидностей отходов, увеличение на этой основе объемов производства щепы примерно в 3 раза и появление возможности частичного или полного отказа от таких операций, предусмотренных действующими технологиями [1], как выколка гнили из отходов, окорка сырья и очистка щепы от инородных примесей.

Исследования подтвердили, что приведенную методику оптимизации состава древесных частиц можно не менее эффективно использовать в условиях переработки многих других отходов лесного комплекса и производства из них не только различных марок щепы, но и других частиц как полуфабрикатов, формируемых в виде смесей из различных исходных разновидностей. При этом в ряде случаев открывается перспектива комплексного использования отходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Веселов А.А. Использование древесных отходов фанерного и спичечного производства. - М.: Лесн. пром-сть, 1987. - 160 с. [2]. Веселов А.А. Комплекс новых технологий и нового оборудования для производства из древесных отходов различных частиц целевого назначения // Тез.докл.науч.-техн.конф.НТО Лесбумдревпрома. - М.: ВНИПИЭИлеспром, 1993. - С. 13 - 14. [3]. Дрейфус М., Ганглоф К. Практика программирования. - М.: Наука, 1986. - 224 с. [4]. Ланге О. Оптимальные решения. - М.: Прогресс, 1977. - 285 с. [5]. Управление химико-технологическими процессами приготовления многокомпонентных смесей / Я.Е. Гельфанд, С.К. Дороганич, М.Л. Комова, Л.М. Яковис. - Л.: Наука, 1988. - 288 с. [6]. Яковис Л.М. Многокомпонентные смеси для строительства.- Л.: Стройиздат, 1988. - 296 с.

Поступила 5 февраля 1996 г.