

**Рециклинг промышленных отходов как обеспечение инновационного
развития лесопромышленного комплекса**

Рубинская А.В., к.т.н., доцент, доцент кафедры экономики и организации отраслей химико-лесного комплекса ФГОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»

Безруких Ю.А., к.э.н., доцент, доцент кафедры экономики и организации отраслей химико-лесного комплекса ФГОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»

Первушина Т.Л., к.э.н., доцент, доцент кафедры экономики и организации отраслей химико-лесного комплекса ФГОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»

Сидоренко Т.В., магистрант кафедры экономики и организации отраслей химико-лесного комплекса ФГОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», направление подготовки 38.04.02 «Менеджмент»; направленности «Менеджмент инноваций и Start-Up в предпринимательской среде»

Аннотация. В статье представлены результаты исследований процесса размола при производстве древесноволокнистых плит с целью разработки оптимизационной технологической модели данного процесса, способствующей в значительной степени определять и влиять на качественные показатели готовой продукции и ее себестоимость. В ходе научной работы были выявлены недостающие для построения и анализа оптимизационной модели данные, а также определен круг задач, необходимых для реализации мероприятий по оптимизации технологического режима процесса переработки твердых промышленных отходов растительного происхождения. Оптимизация процесса переработки твердых промышленных отходов растительного происхождения в

исследовании рассмотрена на примере рециклинга отходов форматно-обрезная резка в производстве древесноволокнистых плит.

Ключевые слова: лесопромышленный комплекс, инновационное развитие, твердые промышленные отходы, природное сырье, древесноволокнистые плиты.

Recycling of industrial wastes as the ensuring of innovative development of forest industrial complex

Rubinskaya A.V., Candidate of Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economics and Organization of the Chemical-Forestry Sector of the Federal State Educational Establishment of Reshetnev Siberian State University of Science and Technology

Bezrukih Yu.A., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economics and Organization of the Chemical-Wood Complexes of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology

Pervushina T.L., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economics and Organization of the Chemical-Wood Complexes of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology

Sidorenko T.V., Master of Science in the Department of Economics and Organization of the Chemical-Wood Complexes of the Reshetnev Siberian State University of Science and Technology; direction of training 38.04.02 «Management», «Innovation Management and Start -Up in the Entrepreneurial Environment»

Annotation. The article presents the results of studies of the grinding process in the production of fiberboard with the aim of developing an optimization technological model of this process that contributes to a significant extent to determine and influence the quality indicators of the finished product and its cost. In the course of scientific work, the data missing for the construction and analysis of the optimization model were identified, as well as the range of tasks necessary to

implement measures to optimize the technological regime of the processing of solid industrial waste of plant origin. Optimization of the process of processing of solid industrial waste of plant origin in the study is considered on the example of recycling waste form-cutting in the production of fibreboard.

Keywords: timber industry complex, innovative development, solid industrial waste, natural raw materials, wood fiber boards.

Рациональное и эффективное использование древесных ресурсов является важным элементом инновационного развития лесопромышленного комплекса. Образующиеся в процессе деревопереработки отходы приводят к значительной потере материального и энергетического потенциала древесных ресурсов. Сокращение объема образования древесных отходов служит показателем продвижения лесопромышленного комплекса в к снижению материалоемкости производства и потребления продукции комплекса. Переработка и удаление образовавшихся отходов может быть также причиной загрязнения окружающей среды и воздействия вредных веществ и инфекционных организмов на людей.

Объемы заготовки древесины в России растут с каждым годом. Всего в переработку поступает не более 67% заготовленной древесины, в круглом виде отгружается 28,8%. Оставшаяся древесина используется в качестве дров. Балансы, образовавшиеся после раскряжевки, не только не находят место в дальнейшей переработке, а зачастую остаются на лесосеке.

В настоящее время на территории Красноярского края функционируют 14 основных крупных и средних предприятий, производящих продукцию лесопереработки, производственные мощности которых загружены в настоящее время в среднем на 75,9%. Общий резерв отрасли по переработке древесного сырья составляет около 500 тыс. м³.

При существующих объемах заготовки древесины в крае объем низкосортной древесины составляет 3 млн. м³, а годовой объем отходов лесопиления (щепа, опилки, горбыль) – около 2 млн. м³. Необходимый

минимум мощностей по глубокой переработке древесины на территории края составляет 5 млн. м³ в год (дефицит мощностей порядка 70%).

Основная причина сложившегося положения дел заключается в недостаточности мощностей по переработке древесины, что усугубляет проблему комплексного использования низкосортной, мелкотоварной древесины и древесных отходов. В результате этого основными конкурентными продуктами в лесном комплексе Красноярского края в настоящее время являются пиломатериалы и круглый лес.

В крае лесосырьевой баланс выглядит следующим образом. 22% (2 млн. м³) отходов и дровяной древесины формируется уже на стадии лесозаготовок; 11% (1 млн. м³) балансовой древесины – при разделке; более 2 млн. м³ составляют отходы лесопиления. Таким образом, ежегодно в крае имеется более 5 млн. м³ сырья для переработки. Из 14 крупных лесоперерабатывающих производств края только 2 имеют производство, обеспечивающее 80-100% переработку поступающего в производство леса.

Важной задачей для повышения уровня переработки древесных отходов, является создание эффективных производств по переработке низкосортного древесного сырья на местах лесозаготовок, либо на расстоянии от мест лесозаготовок, не превышающем рентабельность его перевозок. Второй задачей для повышения уровня переработки древесных отходов является оснащение (расширение) существующих производств дополнительными мощностями по дальнейшей переработке высвобождающихся производственных отходов.

Производственные оптимизационные модели связывают экономические факторы с технологическими и дают возможность оперативно управлять технологическим процессом так, чтобы получать наилучший экономический эффект. Такая модель предназначена для решения задачи наилучшего использования имеющихся производственных фондов и оборудования. Выбор критерия оптимизации технологических режимов изучаемого процесса весьма важен для последующего использования результатов оптимизации на практике, в условиях производственного процесса.

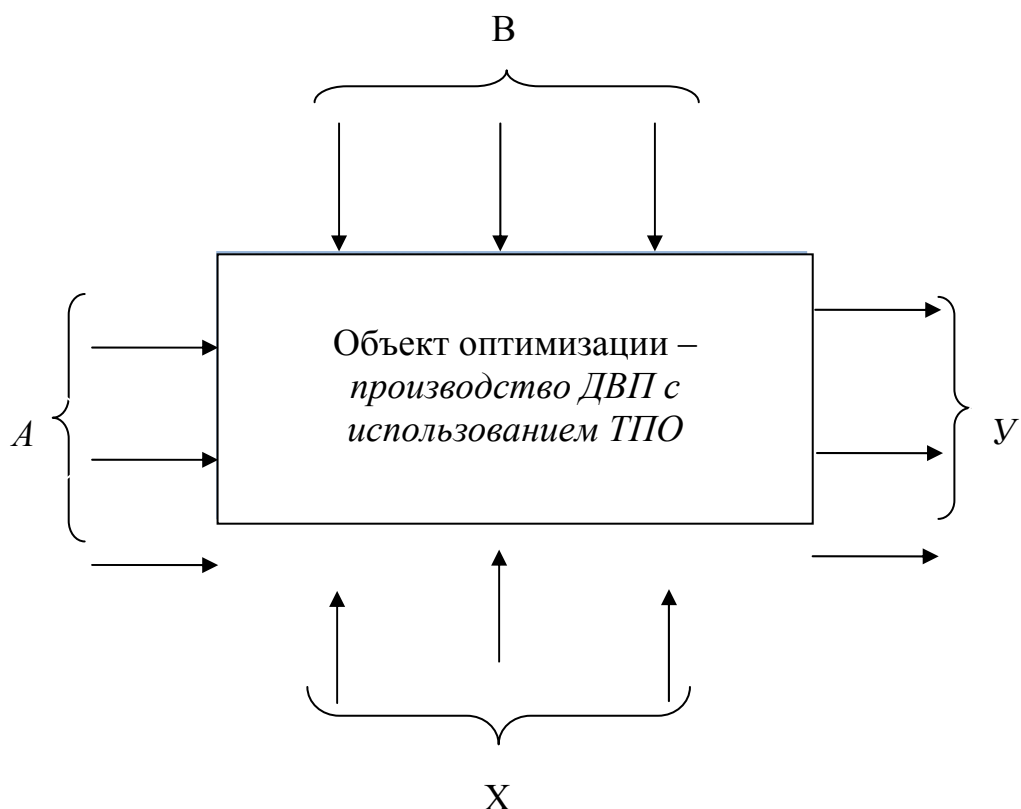
Независимо от назначения, физической сущности объекта оптимизации его текущее состояние будет определяться совокупностью определенных переменных, характеризующих этот объект. Для процесса переработке ТПО растительного происхождения как объекта оптимизации в качестве переменных будут выступать: A , U , X , B .

Переменные A характеризуют количество и качество входных факторов процессов подготовки исходных твердых промышленных отходов. Переменные B относятся к возмущающим воздействиям, не подлежащим оперативному управлению, а иногда и контролю.

Переменные X составляют группу управляемых факторов воздействий, с помощью которых осуществляется целенаправленное управление объектом путем изменения положения регулирующих органов, технологических и конструктивных параметров размалывающих машин.

В группу переменных U входят технико-экономические показатели, которыми оценивают качество продукции и экономическую эффективность работы. Они также не должны выходить за рамки, обусловленные нормами.

Взаимосвязь переменных процесса размола показана на структурной схеме объекта оптимизации на рисунке 1.



где A – входные значения факторов подготовительных операций (параметры предыдущих участков производства);
 B – возмущающие воздействия (колебания качества сырья, температуры внешней среды, состояние оборудования);
 X – управляемые факторы воздействия (величина зазора между ножом и контрножом, угол встречи ножа с сырьем);
 Y – контролируемые величины выходных факторов (качество продукции и экономическую эффективность)

Рис. 1 – Структурная схема объекта оптимизации

Значения переменных объекта оптимизации ограничены требованиями технологии подготовительных операций и должны находиться в определенных пределах

$$(A_{\min}, X_{\min}, Y_{\min}) \leq (A, X, Y) \leq (A_{\max}, X_{\max}, Y_{\max}). \quad (1)$$

При оптимизации технологического режима для данных значений входных X и возмущающих воздействий B , изменяющихся в диапазоне (C_1, B_1) $\leq (C, B) \leq (C_1, B_1)$ и ограничениях на показатели качества продукции $Y_1 \leq Y \leq Y_2$, требуется выбрать такие управляющие воздействия X из области $X_1 \leq X \leq$

X_2 , при которых целевая функция $E=f(A, B, X, Y)$ принимает максимальное или минимальное значение

Качественные показатели зависят, в свою очередь, от векторов входных, возмущающих и управляющих воздействий

$$Y = f(A, B, X). \quad (2)$$

Как видно, в ограничениях участвуют функциональные зависимости, связывающие значения различных переменных. Если не имеется решения, удовлетворяющего всем условиям, то ограничения несовместимы. Это означает, что при имеющихся технологических ресурсах решение задачи оптимизации не существует.

Как правило, при выборе целевой функции обычно руководствуются принципом однозначности, в соответствии с которым минимизироваться или максимизироваться должна одна и только одна целевая функция. Она должна быть выражена через переменные управления процессом, быть однозначной, иметь один экстремум. Критерий оптимальности должен наиболее полно и точно описывать цель и в то же время иметь достаточно простое решение соответствующей математической задачи. В качестве критерия оптимизации при переработке ТПО могут выступать производительность основного оборудования, удельный расход электроэнергии, себестоимость готовой продукции. Целевая функция, оптимальная относительно всех перечисленных критериев, будет математически не корректной, так как достижение экстремального значения одного из них неизбежно повлечет за собой отступление от экстремума некоторых других критериев. Поэтому в нашем случае предпочтительно выбрать один критерий оптимальности наиболее значимый и актуальный на сегодняшний день.

В качестве интегрального критерия оптимизации, был выбран показатель себестоимости готовой продукции – C , значительное влияние на который будет оказывать удельный расход электроэнергии на получение

древесноволокнистого полуфабриката, снижение расхода сырья на основное производство, а также исключение процесса утилизации ТПО после производства ДВП.

Принимая в качестве критерия оптимальности себестоимость готовой продукции, необходимо определить технологические и конструктивные режимы размола, обеспечивающие его оптимальное значение.

В качестве варьируемых параметров, влияющих на себестоимость готовой плиты, согласно результатам серии предварительных экспериментов, а так же теоретических исследований, были выбраны основные технологические и конструктивные параметры размалывающей машины: величина зазора между ножом и контрножом (z), угол встречи ножа с сырьем (ε).

Наложим на эти параметры двусторонние ограничения

$$- z_{\min} \leq z \leq z_{\max};$$

$$- \varepsilon_{\min} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\max}.$$

Для использования в производственной оптимизационной модели зависимостей величины зазора между ножом и контрножом, угла встречи ножа с сырьем необходимо аппроксимировать соответствующим аналитическим выражением представленным ниже

$$C = f(z, \varepsilon), \text{руб./м}^2, \quad (3)$$

Из приведенных условий переработке ТПО следует, что при увеличении одних значений факторов ограничений оптимизации и уменьшении до некоторых величин других показатель себестоимости плиты снижается, но при этом ухудшаются или улучшаются другие немаловажные показатели размола и готовых плит (увеличивается расход исходного сырья и тепла на размол, ухудшаются некоторые качественные характеристики древесноволокнистых полуфабрикатов и готовых плит, производительность установок, потери массы и т. д.). Следует подобрать такие значения основных рассматриваемых факторов, при которых затраты на получение 1 м² древесноволокнистого полуфабриката будут минимальны.

Для решения поставленной задачи необходимо на основании теоретических исследований и результатов реализованного в лабораторных условиях двухфакторного эксперимента найти такие режимы работы размольного устройства, которые при минимальном использовании основного сырья обеспечат получение качественной древесноволокнистой массы, а полученная плита будет соответствовать ГОСТ 4598-86. Был проведен анализ исследований влияния режимных параметров размольного устройства на физико-механические свойства готовой плиты. Для решения этой задачи составлена математическая модель, в которой в качестве целевой функции (f) выступает требование минимизации себестоимости готовой плиты. Главным показателем, влияющим на критерий оптимизации, в наших условиях является снижения расхода основного сырья. Поэтому в модель оптимизации вводится система ограничений на режимные параметры, которые могут изменяться в установленных пределах, качественные и морфологические характеристики древесной массы и физико-механические показатели готовой продукции.

Все приведенные ограничения и целевая функция носят нелинейный характер. Данная оптимизационная задача относится к классу задач нелинейного программирования. Она решалась с применением метода Квази-Ньютона с использованием пакета прикладных программ STATISTIKA-10 [1]. На первом этапе в электронную таблицу вносятся ограничения по режимным параметрам размольных установок $C_c(z, \varepsilon)$. Дополнительно вводятся стандартные ограничения по качественным характеристикам древесной массы C_c (Fr, ДС, Уд) и физико-механическим свойствам древесноволокнистых плит C_c (Pr, Pl, S).

Математическая модель задачи оптимизации процесса подготовки древесноволокнистых отходов ФОР при производстве ДВП мокрым способом производства будет иметь вид

$$f = C_c(z; \varepsilon) \rightarrow \min$$

$$\left\{ \begin{array}{l} z_{min} \leq z \leq z_{max}; \\ \epsilon_{min} \leq \epsilon \leq \epsilon_{max}; \\ DC \geq 17,8 DC; \\ Fr \geq 31,6; \\ Ud \geq 19 \text{ м}^2/\text{Г}; \\ Pr \geq 35 \text{ МПа}; \\ 1100 \geq P \geq 850 \text{ кг}/\text{м}^3; \\ S \leq 27\%. \end{array} \right.$$

Решение этой задачи позволило определить оптимальные значения режимных параметров размалывающей машины МР-4, которые для данных условий производства составят: $z=3$ мм; $\epsilon=135^\circ$; $Pr \approx 41$ МПа; $P \approx 859,3$ кг/м³; $S \approx 22,6$ %.

Найденные режимные параметры и решение задачи оптимизации обеспечивают снижения расхода электроэнергии на подготовку основного волокна в размере $E=31,5$ кВт·ч/т.

Решение задачи оптимизации позволит найти технологические параметры подготовки инактивированных древесноволокнистых отходов ФОР и вернуть их в производство не нарушая технологического процесса производства ДВП и не ухудшая качественные показатели готовых плит. В результате решения задачи оптимизации были определены оптимальные параметры работы размольной машины в зависимости от основных характеристик древесного волокна и готовой плиты. Таким образом, варьируя технологическими и конструктивными параметрами работы размольной машины, можно прогнозировать необходимые показатели готовых ДВП с минимальным удельным расходом электроэнергии на получение древесноволокнистого полуфабриката и более низкой себестоимостью плиты.

Таким образом, решение задачи оптимизации, показанное в работе на примере подготовки и использования древесноволокнистых отходов форматно-обрезной резки, позволит оптимизировать другие технологические процессы и режимы работы при подготовке для рециклинга различных видов ТПО.

Библиографический список

1 Ельдештейн, Ю.М. Моделирование и оптимизация производственных процессов в лесной и деревообрабатывающей промышленности [Текст]: учеб. пособие студ. техн. ун-тов / Ю.М. Ельдештейн; СибРУМЦ. – Красноярск: СибГТУ, 2003. – 103 с.

2 Балмасов, Е.А. Исследование и разработка технологических основ производства древесноволокнистых плит с целью его оптимизации [Текст]: дис. д-ра техн. наук: 05.21.05 / Е.А. Балмасов. – М., 1979. – 327 с.

3 Боровиков, В. П. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере [Текст] / В.П. Боровиков. – М., 2003. – 688 с.

4 Чистова, Н.Г. Влияние конструктивных и технологических параметров размольных машин на прочностные показатели MDF [Текст] / Н.Г. Чистова, В.Н. Матыгулина, В.Н. Трофимук // Древесные плиты: теория и практика: 10-я междунар. науч.-практ. конф. – Санкт-Петербург, 2007. – С. 86-91.

5 Пижурич, А.А. Моделирование и оптимизация процессов деревообработки [Текст]: учебник / А.А. Пижурич, А.А. Пижурич. – М.: МГУЛ, 2004. – 375 с.

6 Пижурич, А.А. Основы научных исследований [Текст]: учеб. для вузов / А.А. Пижурич, А.А. Пижурич. – М.: МГУЛ, 2005. – 305 с.

References

1. El'deshtejn, Yu.M. Modelirovanie i optimizaciya proizvodstvennyh processov v lesnoj i derevoobrabatyvayushchej promyshlennosti [Tekst] : ucheb. posobie stud. tekhn. un-tov / Yu.M. El'deshtejn; SibRUMC. – Krasnoyarsk: SibGTU, 2003. – 103 s.

2. Balmasov, E.A. Issledovanie i razrabotka tekhnologicheskikh osnov proizvodstva drevesnovoloknistyh plit s cel'yu ego optimizacii [Tekst]: dis. d-ra tekhn. nauk: 05.21.05 / E.Ya. Balmasov. – M., 1979. – 327 s.

3. Borovikov, V.P. Statistica. Iskusstvo analiza dannyh na komp'yutere [Tekst] / V.P. Borovikov. – M., 2003. – 688 s.

4. Chistova, N.G. Vliyanie konstruktivnyh i tekhnologicheskikh parametrov razmol'nyh mashin na prochnostnye pokazateli MDF [Tekst] / N.G. Chistova, V.N. Matygulina, V.N. Trofimuk // Drevesnye plity: teoriya i praktika: 10-ya mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Sankt-Peterburg, 2007. – S. 86-91.

5. Pizhurin, A.A. Modelirovanie i optimizaciya processov derevoobrabotki [Tekst]: uchebnik / A.A. Pizhurin, A.A. Pizhurin. – M.: MGUL, 2004. – 375 s.

6. Pizhurin, A.A. Osnovy nauchnyh issledovanij [Tekst]: ucheb. dlya vuzov / A.A. Pizhurin, A.A. Pizhurin. – M.: MGUL, 2005. – 305 s.