

**ОХРАНА ТРУДА.
ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.
ГЕОЭКОЛОГИЯ**

УДК 620.9.008

С. Н. Березовский, Н. И. Березовский

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ
ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

UDC 620.9.008

S. N. Berezovsky, N. I. Berezovsky

**THE DEVELOPMENT OF METHODS OF POWER-EFFICIENT TECHNOLOGY
OF ENERGY RESOURCES CONSUMPTION IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

Аннотация

В статье рассматривается технологическое направление, которое объединяет значительно больше факторов (совершенствование и использование интенсифицирующих технологий, утилизация и др.), определяющих эффективность внедрения тех или иных мероприятий по энергосбережению. Дана оценка эффективности ресурсо- и энергосберегающих методов и мероприятий, представлены рекомендации для уменьшения энергозатрат при производстве бытового топлива, а также получено уравнение регрессии на основании изучения корреляционной связи между выработкой брикетов и продолжительностью простоев t в течение месяца.

Ключевые слова:

энерго- и ресурсосбережение, топливно-энергетический баланс, корреляционная связь, уравнение регрессии, интенсифицирующие технологии, коэффициент полезного действия, торфобрикетный завод.

Abstract

The paper deals with the technological tendency, which unites considerably more factors (improvement and use of intensifying technologies, recycling, etc.), which determine the efficiency of implementation of different actions to save energy. The estimation of efficiency of resource- and energy saving methods and actions is given, and the recommendations for reducing power inputs in the household fuel manufacture are presented. Also, the regression equation is formulated based on studying the correlation between the production of briquettes and duration of standstills t within a month.

Key words:

energy- and resource saving, fuel-energy balance, correlation, regression equation, intensifying technologies, efficiency factor, peat-briquette making plant.

Введение

Особенностью топливно-энергетического баланса РБ является ограничен-

ность сырьевых топливных ресурсов, за счет которых в настоящее время обеспечивается около 16 % потребности в топливно-энергетических ресурсах

(ТЭР). Основным потребителем топливно-энергетических ресурсов является промышленность, которая использует свыше 70 % от вырабатываемой электроэнергии. Потребление постоянно увеличивается, что обусловлено качественными изменениями технологических процессов, обеспечивающих повышение производительности труда, улучшение качества продукции и повышение культуры производства. В системах энергоснабжения потери электроэнергии не превышают 10 % от общих потерь, большая часть которых относится к технологическим установкам. С целью создания условий для рационального энергопотребления необходимо осуществлять мероприятия по модернизации технологических устройств и организации технологического процесса. Основой для анализа состояния энергетического хозяйства и разработки мер по рациональному использованию энергоресурсов является баланс, который позволяет судить о структуре и эффективности производства, использовании энергоресурсов, расходах топлива и энергии, роли энергетики в формировании производственных показателей, связанных с основными материальными затратами предприятия [1].

Уровень развития производительных сил и состояние экономики любой страны во многом определяются эффективностью использования сырьевых и топливно-энергетических ресурсов. Современная энергетическая ситуация в Республике Беларусь характеризуется новыми энергоэкономическими условиями, недостаточными собственными ресурсами углеводородного топлива (нефть, газ, уголь), а также высокой энергоемкостью производства продукции. В сложившихся условиях остро стоит проблема обоснования путей дальнейшего развития систем надежно-

го энергообеспечения отраслей народного хозяйства. Чтобы практически осуществить экономию ресурсов, необходимо овладеть методом энергетического анализа, т. е. объективной сравнительной оценкой новых технологий с базовыми затратами материально-энергетических ресурсов на единицу произведенной продукции. Энергетический анализ прямых, овеществленных и полных (совокупных) энергозатрат является важной оценкой энергосбережения. При оценке потенциала энергосбережения (ЭСБ) наиболее рациональным является технологическое направление, которое объединяет значительно больше факторов (совершенствование и использование интенсифицирующих технологий, утилизация и др.), определяющих эффективность внедрения данных мероприятий (рис. 1). В ближайшие годы энергозатраты в горной промышленности возрастут, однако уже сейчас в Республике Беларусь ощущается дефицит топлива, электроэнергии и других энергоносителей.

Одним из основных направлений решения энергетической проблемы должно стать широкомасштабное энергосбережение – один из важных источников энергообеспечения, самый дешевый источник энергии, т. к. затраты на экономию 1 т сырья, топлива или материалов в 2...3 раза меньше средств, затрачиваемых на получение 1 т первичных ресурсов. И эту программу необходимо осуществить путем реализации комплекса организационно-экономических, технологических, нормативно-правовых и технических направлений, обеспечивающих наибольшую экономию топливно-энергетических ресурсов и их эффективное использование в горной промышленности.

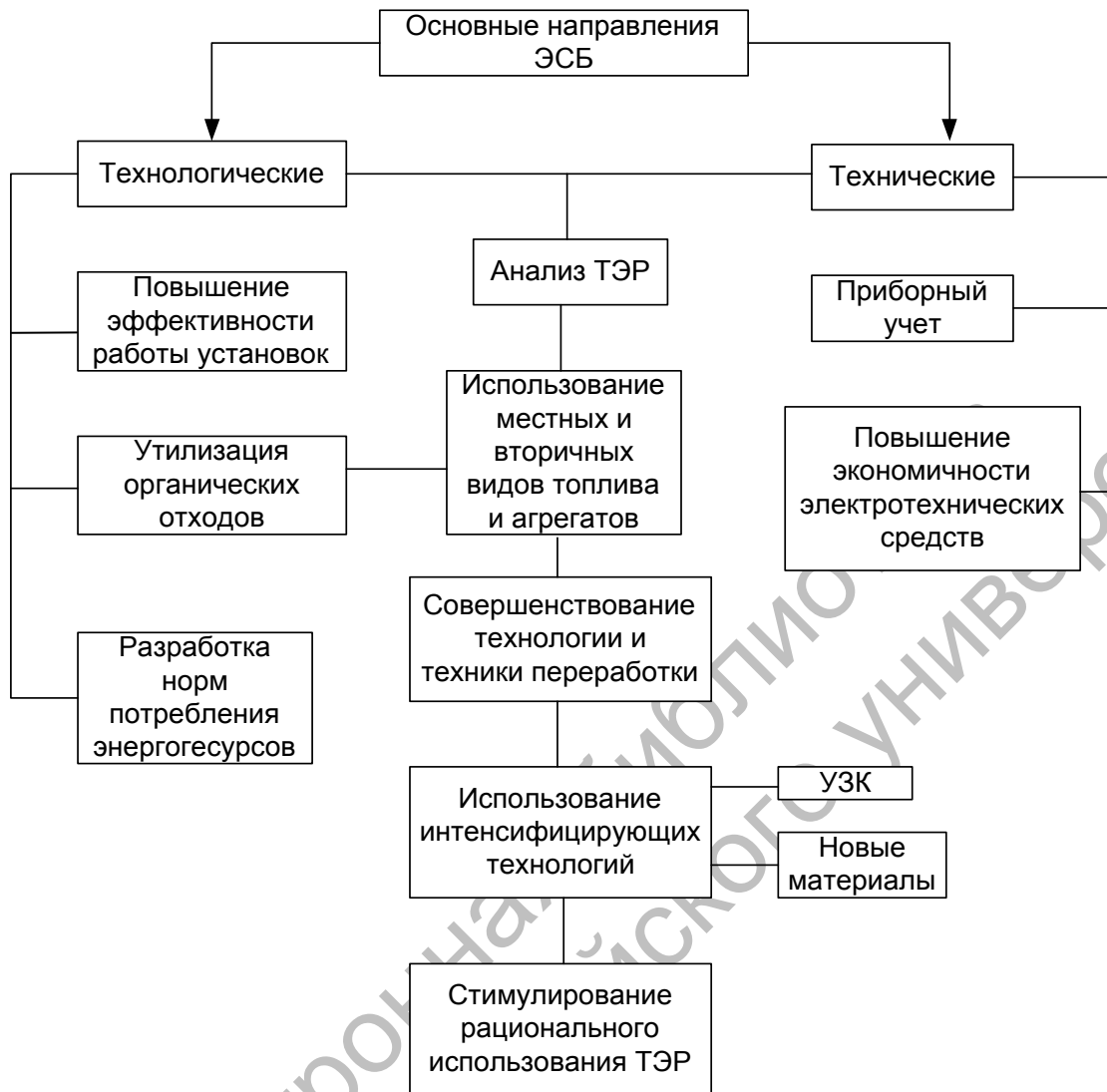


Рис. 1. Потенциал энергосбережения

Энергоэффективная технология потребления энергоресурсов

Для выявления источников энергосбережения необходимо исследовать и проанализировать структуру ТЭР, обеспечивающих снабжение брикетного завода. Энергия торфяного топлива используется различными способами (кусовой и фрезерный торф для получения электроэнергии, кусок и брикеты в качестве бытового топлива, газификация) [1, 2]. Теплоценность торфа в наибольшей степени зависит от его зольности и влажности (рис. 2). Теплоту сго-

рания торфа можно определить по формуле

$$E = 22082 - 244W - 220A^c + 2,1WA^c \quad (1)$$

где E – теплота сгорания торфа, кДж/кг; W – влажность торфа, %; A^c – зольность торфа, %.

В зависимости от способа утилизации теплоты торфяного топлива влажность готовой продукции имеет различные уровни: брикеты – 15...18 %, кусок – 30...35 %, фрезерный торф для сжигания на тепловых электростанциях и газификации – до 42...45 %.

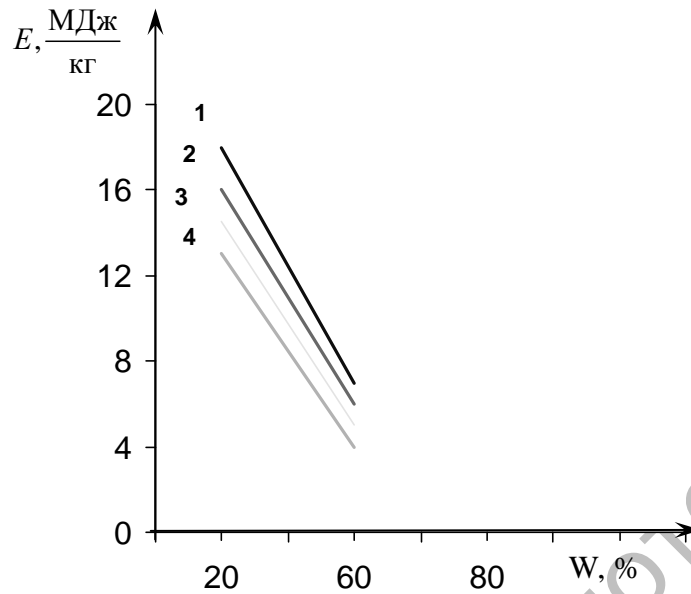


Рис. 2. Зависимость нижней теплоты сгорания торфа от содержания в нем влаги W и различной зольности A^c : 1 – A^c – 0...2 %; 2 – 2...8 %; 3 – 16 %; 4 – 20 %

Анализ многолетних статистических данных предприятий Беларуси показал, что на подготовку, осушение и ремонт торфяных полей расходуется 14...25 кДж/кг, добычу фрезерного торфа – 25...36 кДж/кг, его транспортировку – 108...126 кДж/кг, заводскую переработку с сушкой на брикетном заводе – 1000...1400 кДж/кг. С учетом влажности полуфабриката или готовой продукции на каждом этапе технического процесса эти расходы равны 1600 кДж/кг, что составляет около 10 % запаса тепловой энергии торфяного топлива. Однако следует учесть и прочие затраты на добычу и переработку торфа («живой» труд, материалы и пр.). Расчеты показывают, что в энергетическом эквиваленте это составляет около 500 кДж/кг. Большие потери теплоты твердого топлива у потребителя. Бытовые отопители и водонагреватели имеют КПД сжигания 0,65...0,75 кДж/кг [3, 4].

На рис. 3 приведены исходные данные и результаты определения удельных расходов ТЭР для различных видов бытового топлива. Расчеты выполнены применительно к варианту сушки торфа в барабанных паротрубча-

тых сушилках, углей – в молотковых шахтных мельницах, лигнина – в пневматических сушилках. Для сжигания гранул предусматриваются специализированные отопительные котлы. Начальная влага для торфа (T), угля (Y) и лигнина (L) принята соответственно 50, 10 и 65 %, число операций по транспорту и перегрузкам бытового топлива – 5, удельный расход топлива на выработку электроэнергии – 350 г у. т./кВт·ч, потери в электрических сетях – 5 %, потери и расход тепла на собственные нужды заводской котельной – 7 %, КПД паровых котлов – 0,78.

Анализ результатов исследований показал, что наименьшие потери ТЭР будут при производстве и использовании торфоуглелигнинных и торфоугольных гранул, затем торфолигнинных, торфяных и лигнинных. Брикеты по сравнению с гранулами характеризуются повышенными расходами ТЭР. Наименьшие потери ТЭР соответствуют торфоуглелигнинным и торфоугольным брикетам, затем торфолигнинным, лигнинноугольным, торфяным с влагой 15 и 25 %, лигнинным.

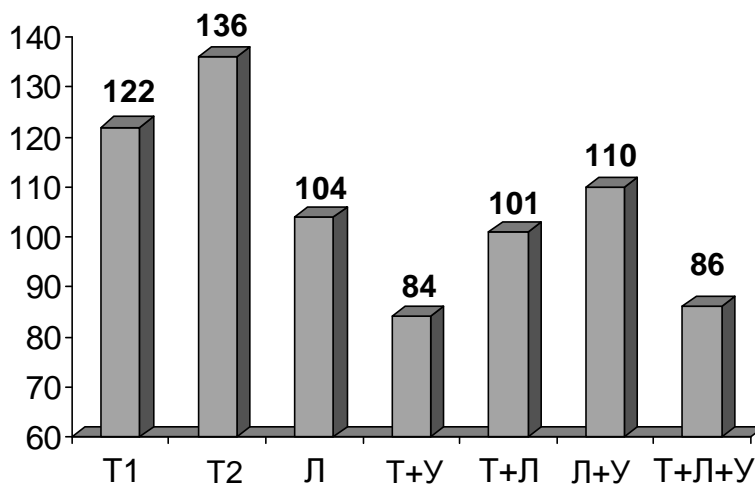


Рис. 3. Гистограмма удельного расхода ТЭР

Местное сырье для производства топливных брикетов в ближайшей перспективе будет оставаться одним из основных составляющих в покрытии спроса на топливо для населения и коммунально-бытовых потребителей республики. Имеющиеся топливные ресурсы не могут поддерживать существующие объемы добычи сырья, т. к. ряд заводов по производству топливных брикетов в настоящее время ввиду доработки сырьевых запасов работает в режиме затухания. Поэтому из-за сложных ситуаций в потреблении топливно-энергетических ресурсов в последние годы все более остро ощущается необходимость совершенствования технологических процессов обогащения сырья, внедрения новых, менее энергоемких технологий, оптимального и экономного использования энергоресурсов и оборудования.

Снижение объема поставок сырья и ухудшение его влажности, плотности и зольности можно компенсировать изготовлением двух-, даже трехкомпонентных брикетов (торф, уголь, древесные опилки, лигнин, сланцевая мелочь). Следует отметить, что среднее значение влажности торфа, добываемого в республике за последние 10 лет, увеличи-

лось более чем на 4 %, а насыпная плотность по некоторым брикетным заводам уменьшилась на 5...8 %. Следствием всего этого служит повышение энергозатрат на изготовление торфяных брикетов. Результаты исследований показали, что расход фрезерного торфа на производство брикетов для заводов с пневмопароводяными сушилками за последние годы увеличился и составляет 1,7...1,8 т/т, для паротрубчатых сушилок – 1,78 т/т, для пневмогазовых – 1,81 т/т. Статистическая обработка данных по энергоемкости процессов переработки торфа в брикеты показывает, что основные затраты энергии связаны с искусственной сушкой на заводах. Снижение влажности сырья на 8 % уменьшает расход энергии на заводскую сушку в 1,5 раза, а увеличение средней влажности сырья на 1 % снижает производительность завода до 5 %, расход электроэнергии возрастает до 4,5 %. На работу завода заметно влияет насыпная плотность сырья. Так, при ее увеличении на 10 кг/м³ производительность возрастает на 5...7 %, а удельный расход электроэнергии при этом уменьшается на 2...3 % [4].

Оценка эффективности ресурсо- и энергосберегающих методов и мероприятий

Все стадии процесса обогащения можно оценить критерием энергетической эффективности, характеризующимся отношением

$$K = \mathcal{E}_1 / \mathcal{E}_2, \quad (2)$$

где \mathcal{E}_1 – потребление энергии топливных брикетов или энергосодержание (энергетическая ценность) i -й продукции, МДж/т; \mathcal{E}_2 – суммарные энергозатраты на подготовку, добычу, погрузку и транспортировку торфа или полная энергоемкость (полные удельные затраты энергии), МДж/т.

Выражение (2) целесообразно использовать для характеристики эффективности по производству новых энергоносителей. Для сравнительной же оценки самых различных технологий важно определить коэффициент энергозатрат новой технологии (Н) относительно базовой (Б)

$$K_{\mathcal{E}} = \frac{\mathcal{E}_{i(H)}}{\mathcal{E}_{i(B)}}$$

Полные энергозатраты

$$\mathcal{E}_i = \mathcal{E}_{inp} + \mathcal{E}_{io}, \quad (3)$$

где \mathcal{E}_{inp} , \mathcal{E}_{io} – прямые и овеществленные удельные энергозатраты, определяемые из следующих выражений:

$$\mathcal{E}_{inp} = \frac{1}{q_i} \left(\sum_k \sum_j q_{kj} e_k \right);$$

$$\mathcal{E}_{io} = \frac{1}{q_i} \left(\sum_k \sum_j q_{kj} \alpha_k \right),$$

где q_{kj} – удельный расход ресурса k -го вида при выполнении j -го процесса (операции) по технологии, кДж/т; e_k , α_k – энергосодержание k -го энергоносителя и энергетический эквивалент k -го ресурса, МДж/т; q_i – производительность завода, т/ч.

Авторами определено, что расход тепловой энергии на сушильные агенты по всем типам сушилок равен примерно 2,1 ГДж/т, расход электроэнергии – 67,5 кВт·ч/т, расход топлива – 0,09 т. у. т./т. С учетом годовой программы производства брикетов, а также площади нетто полей, с которых убирается торф для производства брикетов, суммарная энергоемкость на производство брикетов за год составит около $8,5 \cdot 10^6$ ГДж, а тепло, получаемое от сжигания брикетов, равно $3,8 \cdot 10^7$ ГДж, что на порядок превышает общие расходы.

Проведенные исследования показали, что для экономной технологии необходимы альтернативные способы использования тепловой энергии торфа и угля. Теплоценность торфа в сыпучем виде ниже примерно в 2 раза, чем у брикетов, но при этом повышается КПД использования тепловой энергии. При учете таких затрат, как материалы, «живой» труд, общий энергетический эквивалент составляет до 500 кДж/кг. Следует учесть, что значительные потери теплоты твердого топлива наблюдаются у потребителей, где водонагреватели и бойлеры имеют низкий КПД сжигания (0,6...0,7), поэтому при сжигании твердого топлива у потребителя полезно используется только 50...55 % теплоты брикетов.

Результаты исследований энергетических балансов показывают, что имеются реальные возможности снижения расходов ТЭР как в виде прямых затрат, так и за счет структурных изменений (например, расход электроэнергии на добычу торфа составляет 15...20 кВт·ч/т при технически возможном уровне до 15 кВт·ч/т; расход электроэнергии на брикетных заводах составляет 70...110 кВт·ч/т при возможном снижении на 10...15 %). Снижение расходов может осуществляться за счет улучшения физико-механических свойств сырья, увеличения производительности оборудования, снижения его

мощности, применения искусственного обезвоживания для снижения влажности при добыче и переработке торфа.

Сейчас имеется большой опыт приготовления композиционных гранулированных продуктов, где торф и уголь хорошо совмещаются в композиции с сапропелем, лигнином, опилками и т. д. Здесь следует отметить, что они в основном применяются для защиты окружающей среды в качестве гранулированных сорбентов.

Рекомендации для уменьшения энергозатрат при производстве бытового топлива

Рациональное использование ТЭР можно представить в виде абсолютной экономии, которая происходит за счет снижения затрат ТЭР на единицу продукции, а также в виде относительной экономии, которая уменьшает энергопотребление регулированием режимов и экономией трудовых и материальных ресурсов.

Для выявления основных источников ресурсо- и энергосбережения и их количественной оценки сделан анализ приходной (полезной) части, которая характеризуется теплотой сгорания топлива E и расходной частью ТЭР — удельными затратами энергии.

Так, количество энергии, получаемой от фрезерного торфа, зависит от его влажности W , %, и зольности A_C , %, и колеблется в пределах $4...17$ МДж/кг при ограничениях $60 > W > 10$ и $20 > A_C > 2$.

Для топливных брикетов (торф + уголь) полезная часть увеличивается примерно в 2 раза, для бурого угля групп Б2, Б3 — в 2...2,5 раза, для каменного угля классов П, К и О — в 2,2...2,8 раза. Эффективность различных видов ТГИ оценивается расходом ТЭР на единицу полезного тепла, который выражается в граммах условного топлива, затрачиваемого на 1 кВт·ч тепла. Для топливных брикетов наибольшую энергетиче-

скую ценность представляет композиция торф + уголь и торф + уголь + лигнин — 84...86 г у. т./кВт·ч). Брикет по сравнению с гранулами характеризуются повышенными расходами ТЭР. Отсутствие искусственной сушки приводит к снижению удельного расхода ТЭР при производстве кускового торфа по сравнению с брикетами в 2,5 раза.

Суммарные энергозатраты процессов добычи, транспортировки, переработки, сушки и брикетирования формируются как

$$\sum \mathcal{E} = \mathcal{E}_d + \mathcal{E}_{mp} + \mathcal{E}_n + \mathcal{E}_{cu} + \mathcal{E}_{op},$$

а модель расчета интегральной величины $\sum \mathcal{E}$ при изменяющихся пределах влажности, времени транспортирования и переработки t , а также давления пресования p представляется уравнением

$$\sum \mathcal{E} = \int_{W_1}^{W_2} d\mathcal{E}_d(W) + \int_{t_1}^{t_2} d\mathcal{E}_{mp}(t) + \int_{t_1}^{t_2} d\mathcal{E}_n(t) + \int_{W_1}^{W_2} d\mathcal{E}_{cu}(W) + \int_{p_1}^{p_2} d\mathcal{E}_{op}(p).$$

Оценка энергетической эффективности ТЭР определяется отношением энергосодержания (энергетической ценности) к полной энергоемкости или удельным энергозатратам.

Наибольшие ЭЗ наблюдаются при влагосодержании $U < 2,7$ кг/кг и описываются уравнением

$$\mathcal{E}З = -75,32U + 208,1. \quad (4)$$

Колебания при $2,0 < U < 2,7$ составляют от 5 до 50 кДж/кг воды.

Для наименьших ЭЗ, которые наблюдаются при влагосодержании $U > 2,7$ кг/кг, справедливо следующее уравнение:

$$\mathcal{E}З = -0,9U + 7,45. \quad (5)$$

Колебания при $8,0 < U < 2,7$ составляют от 0,25 до 5 кДж/кг воды. Поэтому механическое обезвоживание эф-

фактивно применять в технологии экскаваторного способа добычи, при котором наблюдается высокая начальная влажность, или при неблагоприятных климатических условиях.

В технологии добычи фрезерного торфа ЭЗ на различных этапах с уменьшением влажности W незначительны по сравнению с заводской переработкой. Расчетами установлено, что энергозатраты можно уменьшить до 5 % при внедрении новых технологий. Самый энергоемкий процесс – сушка, где расходуется до 85 % энергии, и эта операция описывается уравнением

$$ЭЗ = -38,37W + 1981. \quad (6)$$

Здесь следует отметить, что критерий энергетической эффективности K при изменении влажности торфа с 85 до 50 % уменьшается. Анализ современного состояния энергоемкости технологической операции производства фрезер-

ного торфа показал, что снижения энергоемкости и улучшения качества сырья можно добиться за счет уменьшения дисперсии влажности, зольности и плотности торфа до 10 %; за счет улучшения фракционного состава и снижения влажности сырья; за счет оптимальной вывозки торфа и распределения технологического оборудования на участке до 15 %. Увеличение энергозатрат до 15 % наблюдается при падении циклового сбора торфа до 8 т/га, в результате уменьшения его плотности, увеличения влажности и коэффициента сбора.

Проведенные исследования (табл. 1) позволили получить зависимость между оценкой стоимости обогащения торфа при его обезвоживании, сушке и удельными затратами энергии:

$$C = 0,01W + 1,56 E. \quad (7)$$

Табл. 1. Изменение стоимости C , зависящее от затрачиваемой энергии E при сушке смеси Т-БУ

E , мДж/кг	Стоимость расхода энергии C , у. е.						
	15	20	25	30	35	40	45
1,3	2,178	2,220	2,278	2,328	2,378	2,428	2,478
1,1	1,866	1,916	1,966	2,016	2,066	2,116	2,166
0,9	1,554	1,6	1,654	1,704	1,754	1,804	1,854
0,7	1,242	1,29	1,342	1,392	1,442	1,492	1,542
0,5	0,93	0,98	1,03	1,08	1,13	1,18	1,23
0,3	0,618	0,668	0,718	0,768	0,818	0,868	0,918
0,15	0,384	0,434	0,484	0,534	0,584	0,634	0,684

Из номограммы (рис. 4) можно определить данные, характеризующие оптимальные затраты энергии, ее стоимость при определенных значениях влажности, когда происходит процесс сушки на торфобрикетном заводе (ТБЗ). Оптимальные условия достигаются при удалении заданного количества влаги с минимальными затратами тепла, при

этом критерий оптимизации сушильного процесса определяется как

$$\min\{(1-T(x))dx\} \text{ при } (1-W(x))dx = \text{const},$$

где $W(x)$ и $T(x)$ – изменение влагосодержания и температуры по длине сушилки.

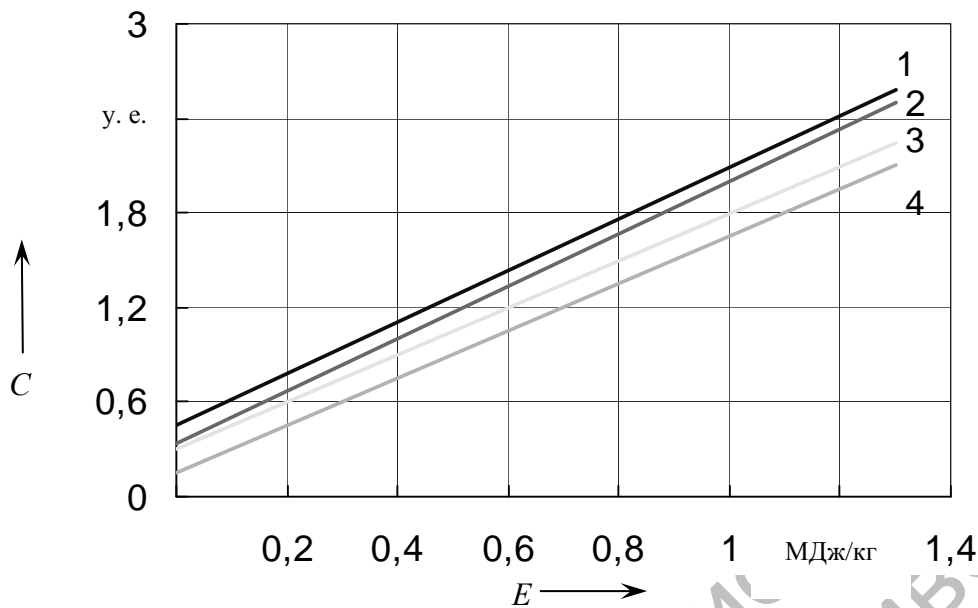


Рис. 4. Номограмма для анализа стоимости энергозатрат при удалении влаги: 1 – $W = 45\%$; 2 – $W = 40\%$; 3 – $W = 30\%$; 4 – $W = 15\%$

Снижения энергоемкости и улучшения качества сырья можно добиться за счет оптимального планирования производства фрезерного торфа и его транспорта; за счет оптимального распределения технологического оборудования на производственном участке и уменьшения дисперсии влажности и зольности торфа; за счет улучшения фракционного состава; за счет снижения влажности сырья увеличением его плотности; за счет переработки торфа и угля в брикеты, мероприятий по уменьшению расходов электроэнергии. Прежде всего следует обратить внимание на увеличение выработки брикетов за счет сокращения простоев из-за отсутствия сырья, повышения коэффициента использования рабочего времени оборудования. Изучение корреляционной связи между выработкой брикетов и продолжительностью простоев t в течение месяца позволило получить уравнение регрессии:

$$G_2 = -0,013t + 3,12. \quad (8)$$

При величине коэффициента кор-

реляции, равной 0,6, среднем значении производительности, равном 5000 т, и времени простоев, равном 148 ч, среднее квадратическое отклонение равно 1,006. Невысокий коэффициент корреляции определяется, главным образом, совместным влиянием технологических и организационных факторов.

Выводы

Таким образом, при оценке потенциала энергосбережения наиболее рациональным является технологическое направление, которое объединяет значительно больше факторов (совершенствование и использование интенсифицирующих технологий, утилизация и др.), определяющих эффективность внедрения тех или иных мероприятий по энергосбережению. Удельные энергозатраты в основном определяются производительностью технологического оборудования и его мощностью, где критерий должен стремиться к минимуму, поэтому оборудование должно работать с максимальным коэффициентом загрузки. Это приводит к экономии

электроэнергии, где критерий определяется также физико-механическими свойствами сырья и сушенки, плотностью сырья. Критерий экономии электроэнергии должен стремиться к максимуму. При экономии тепла важны такие показатели, как влажность, зольность и плотность сырья и особенно их дисперсия. Экономия сырьевых ресурсов можно представить критерием,

стремящимся к максимуму и зависящим в основном от дисперсии таких физико-механических свойств, как влажность, зольность и плотность сырья. На энергозатраты при производстве брикетов значительное влияние оказывают влажность, дисперсность, зольность, которые должны стремиться к минимуму, а также плотность и удельная поверхность, которые должны быть максимальными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Березовский, Н. И.** Природные ресурсы и их использование / Н. И. Березовский, Е. К. Костюкевич. – Минск : БНТУ. – 2005. – 188 с.
2. **Березовский, Н. И.** Разработка энергоэффективных технологий / Н. И. Березовский. – Минск : БИП – С Плюс, 2006. – 219 с.
3. **Вавилов, А. В.** Малая энергетика на биотопливе / А. В. Вавилов, Г. И. Жихар, Л. П. Падолко. – Минск : Технопринт, 2002. – 248 с.
4. **Данилов, О. Л.** Экономия энергии при тепловой сушке / О. Л. Данилов, Б. И. Леончик. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 136 с.

LIST OF LITERATURE

1. **Berezovsky, N. I.** Natural resources and their usage / N. I. Berezovsky, E. K. Kostyukevich. – Minsk : BNTU, 2005. – 188 p.
2. **Berezovsky, N. I.** Development of energy-saving technologies / N. I. Berezovsky. – Minsk : BIP – C Plus, 2006. – 219 p.
3. **Vavilov, A. V.** Small bio-fuel power engineering / A. V. Vavilov, G. I. Zhikhar, L. P. Padolko. – Minsk : Tekhnoprint, 2002. – 248 p.
4. **Danilov, O. L.** Energy saving in thermal dehumidification / O. L. Danilov, B. I. Leonchik. – M. : Energoatomizdat, 1986. – 136 p.

Статья сдана в редакцию 2 сентября 2011 года

Сергей Николаевич Березовский, канд. техн. наук, Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-025-965-92-40.

Николай Иванович Березовский, д-р техн. наук, проф., Белорусский национальный технический университет. Тел.: 8-029-663-55-76.

Sergey Nikolayevich Berezovsky, PhD, Associate Professor, Belarusian-Russian University. Tel.: +375 259 65 92 40.

Nikolai Ivanovich Berezovsky, DSc, Professor, Belarusian National Technical University. Tel.: +375 296 63 55 76.