

УДК 620.9.008

С.Н. Березовский, канд. техн. наук.**Н.И. Березовский, доктор техн. наук, профессор, БНТУ.**

Разработка методов энергоэффективной технологии потребления энергоресурсов в Республике Беларусь

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. 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. 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.

Введение

Особенностью топливно-энергетического баланса РБ является ограниченность 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 ее 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, расходов 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 надежного 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 про-

изведенной 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.

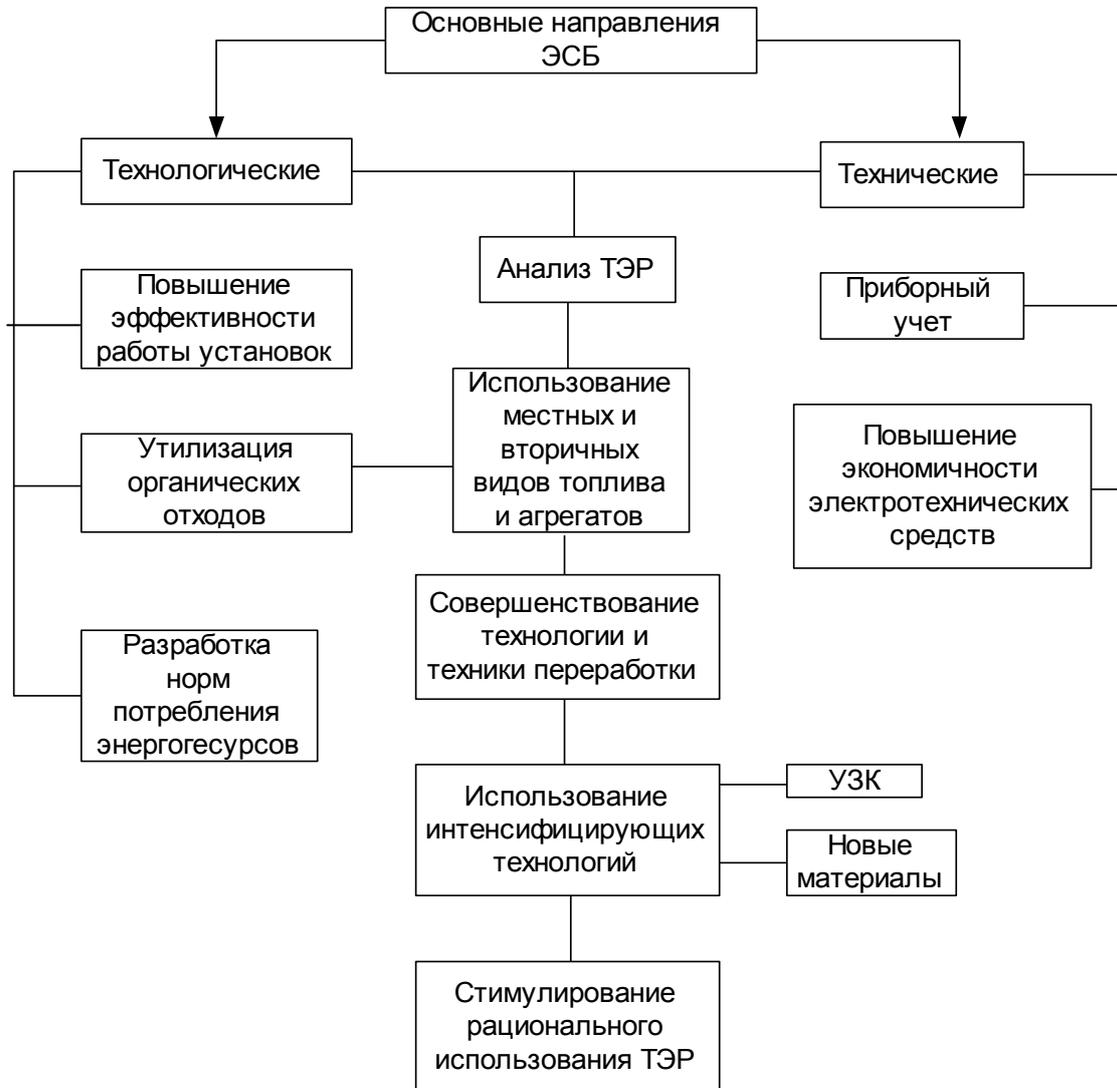


Рис. 1. Потенциал энергосбережения

Одним из основных направлений решения энергетической проблемы должно стать широкомасштабное энергосбережение – один из важных источников энергообеспечения, самый дешевый источник энергии, так как затраты на экономию одной тонны сырья, топлива или материалов в 2-3 раза меньше средств, затрачиваемых на получение той же тонны 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 эффективного использования в горной промышленности.

Энергоэффективная технология потребления энергоресурсов

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

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

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

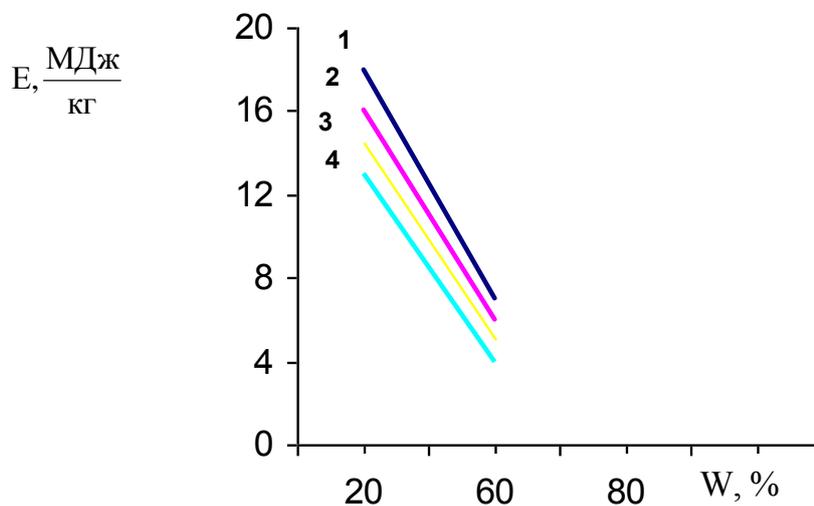


Рис. 2. Зависимость нижней теплоты сгорания торфа от содержания в нем влаги W и различной зольности A^c : 1 – A^c – 0-2%; 2 – 2-8%; 3 – 16%; 4 – 20%

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%.

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, его транспортировку – 108-126, заводскую переработку с сушкой на брикетном заводе – 1000-1400 кДж/кг. С учетом влажности полуфабриката или готовой продукции на каждом этапе технического процесса это равно сумме до 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 до 500 кДж/кг. Большие потери теплоты твердого топлива имеют место у потребителя. Бытовые отопители и водонагреватели имеют КПД сжигания 0,65-0,75 [3, 4].

На рис. 3 приведены исходные данные и результаты определения удельных расходов ТЭР для различных бытовых топлив. Расчеты выполнены применительно к варианту

сушки торфа в барабанных паротрубчатых сушилках, углей – в молотковых шахтных мельницах, лигнина – в пневматических сушилках. Для сжигания гранул предусматриваются специализированные отопительные котлы. Начальная влага для торфа (Т), угля (У) и лигнина (Л) 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.

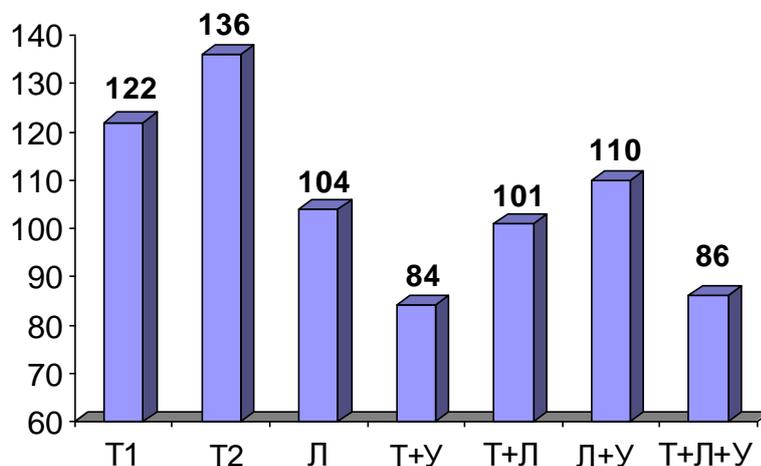


Рис. 3. Гистограмма удельного расхода ТЭР

Анализ результатов исследований показал, что наименьшие потери ТЭР будут при производстве и использовании торфоуглелигнинных и торфоугольных гранул, затем следуют гранулы торфолигнинные, торфяные и лигнинные. Брикетты по сравнению с гранулами характеризуются повышенными расходами ТЭР. Наименьшие потери ТЭР соответствуют торфоуглелигнинным и торфоугольным брикеттам, затем следуют брикетты торфолигнинные, лигнинноугольные, торфяные с влагой 15 и 25%, лигнинные.

Местное сырье для производства топливных брикеттов 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, так как ряд заводов по производству топливных брикеттов 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 возникает 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 брикеттов (торф, уголь, древесные опилки, лигнин, сланцевая мелочь). Следует отметить, что среднее значение влажности торфа, добываемого в республике за последние 10 лет, увеличилось более чем на 4%, а насыпная плотность по некоторым брикетным заводам уменьшилась на 5-8%. Следствием всего этого служит повышение энергозатрат на изготовление торфяных брикеттов. Результаты исследований показали, что расход фрезерного торфа на производство брикеттов 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 брикетты 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 подготовке, добыче, погрузке и транспорте 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 выражений:

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

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.

Нами 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 два 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%), что 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 при приготовлении 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 получили применение 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 (кДж/кг), 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 (г.у.т.), затрачиваемого на 1 кВт ч тепла. Для топливных брикетов наибольшую энергетическую ценность составляет композиция торф + уголь и торф + уголь + лигнин – 84-86 г у.т./кВт ч. Брикет по сравнению с гранулами характеризуется 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, транспорта, переработки, сушки и брикетирования формируются как $\sum \mathcal{E} = \mathcal{E}_d + \mathcal{E}_{mp} + \mathcal{E}_n + \mathcal{E}_{суш} + \mathcal{E}_{бр}$, а модель расчета интегральной величины $\sum \mathcal{E}$ при изменяющихся пределах по влажности, времени транспортирования и переработки (t), а также давления прессования (p) представляется уравнением:

$$\sum \mathcal{E} = \int_{W_1}^{W_2} d\mathcal{E}_d(W) + \int_{t_1}^{t_2} d\mathcal{E}_{tp}(t) + \int_{t_1}^{t_2} d\mathcal{E}_n(t) + \int_{W_1}^{W_2} d\mathcal{E}_{суш}(W) + \int_{P_1}^{P_2} d\mathcal{E}_{бр}(p).$$

Оценка энергетической эффективности ТЭР определяется отношением энергосодержания (энергетической ценности) к полной энергоемкости или удельным энергозатратам (МДж/т). Полные удельные энергозатраты (ЭЗ) при удалении влаги можно разделить на 2 этапа:

а) наибольшие ЭЗ наблюдаются при влагосодержании $U < 2,7$ кг/кг и описываются уравнением:

$$\text{ЭЗ} = -75,32U + 208,1 \quad (4)$$

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

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

$$\text{ЭЗ} = -0,9U + 7,45 \quad (5)$$

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

$$\text{ЭЗ} = -38,37W + 1981 \quad (6)$$

Здесь следует отметить, что критерий энергетической эффективности (K) при изменении влажности торфа с 85% до 50% уменьшается. Анализ современного состояния энергоемкости технологической операции производства фрезерного торфа показал, что снижение энергоемкости и улучшение 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:

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

Таблица 1. Изменение стоимости (C) от затрачиваемой энергии (E) при сушке смеси Т-БУ

E , МДж/кг	Стоимость (C) расхода энергии, 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.

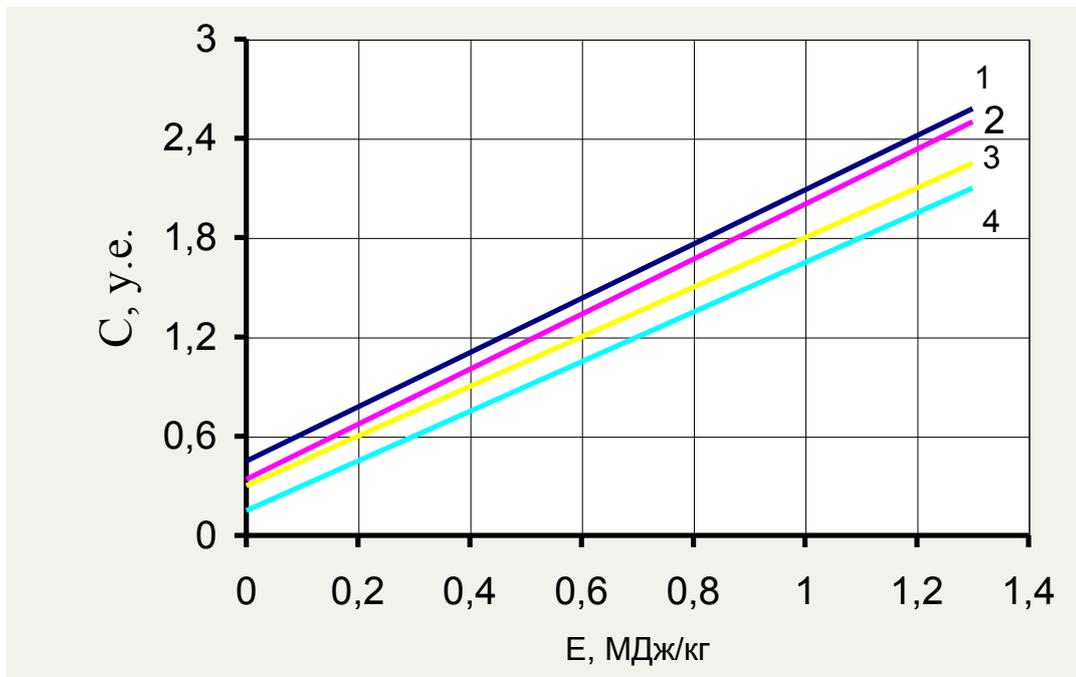


Рис. 4. Номограмма для анализа стоимости энергозатрат при удалении влаги:
1 – $W=45\%$; 2 – $W=40\%$; 3 – $W=30\%$; 4 – $W=15\%$

Снижение энергоемкости и улучшение 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 мероприятия 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 корреляции равной 0,6, среднем значении производительности равном 5000 т и времени простоев равном 148 часов, 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, стремящемся к максимуму и зависящим в основном от дисперсии таких физико-механических свойств, как влажность, зольность и плотность сырья. Среди технологических мероприятий на энергозатраты при производстве брикетов значительное влияние оказывают влажность, дисперсность, зольность, которые должны стремиться к минимуму, а также плотность и удельная поверхность должны быть максимальными.

Список литературы

1. Березовский, Н.И., Костюкевич Е.К. 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., Жихар Г.И., Падолко Л.П. и др. Малая энергетика на биотопливе / А.В. Вавилов, Г.И. Жихар, Л.П. Падолко. – Минск: УП «Технопринт», 2002. – 248 с.
4. Данилов, О.Л. Экономия энергии при тепловой сушке / О.Л. Данилов, Б.И. Леончик. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 136 с.

S.N. Berezovsky, a Cand.Tech. Sci.

N.I. Berezovsky, the Doc.Tech. Sci., the professor, BNTU.

Working out of methods energy-saving technologies of consumption of power resources in Belarus

In article the technological direction is considered, which unites much more factors (perfection and use of intensifying technologies, recycling, etc.), defining efficiency of introduction of those or other actions. Practically to carry out economy of resources, it is necessary to seize a method of the power analysis, i.e. an objective comparative estimation of new technologies with base expenses financially-power resources on unit of made production. The efficiency estimation resurse - and energysaving methods and actions is given, recommendations for reduction of power inputs are presented by manufacture of household fuel. The new equation of regress on the basis of studying of correlation communication between development of briquettes and duration of idle times (t) within a month is received.