

УДК 620.9.630

В.Г. Лисиенко, Т.С. Кириллова, Д.Н. Богословский

Лисиенко Владимир Георгиевич родился в 1933 г., окончил в 1956 г. Уральский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, действительный член АИН и МЭА, Союза научных и инженерных обществ, вице-президент АИН, президент УрО АИН РФ, заслуженный деятель науки и техники РФ, лауреат премии правительства РФ, заведующий кафедрой автоматизации и управления в технических системах Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет 800 печатных трудов в области математического моделирования, управления и совершенствования высокотемпературных энерготехнологических процессов, энергосбережения и экологии.



Кириллова Татьяна Сергеевна родилась в 1981 г., окончила в 2003 г. Уральский государственный лесотехнический университет, ассистент кафедры автоматизации производственных процессов, аспирант УГЛТУ.



Богословский Дмитрий Николаевич родился в 1980г., окончил в 2002 г. Уральский государственный лесотехнический университет, аспирант УГЛТУ.

**ОЦЕНКА ЭНЕРГОЕМКОСТИ ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Проведена оценка энергоемкости целлюлозно-бумажного производства; показаны преимущества данной методики и определена специфика ее применения для деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности.

Ключевые слова: первичная энергия, технологическое топливное число, целлюлозно-бумажная промышленность, энергоемкость производства.

Для успешной работы любого предприятия в условиях рыночной экономики необходимо эффективное управление энергетическими и материальными потоками ресурсов. В связи с опережающим ростом цен на энергоресурсы доля затрат на них в себестоимости продукции возрастает, поэтому в настоящее время на первый план выдвигаются мероприятия, связанные с сокращением расходов на энергоресурсы. Для этого требуется решить задачу о методах учета энергопотребления, дающих более точную оценку потребленных ресурсов в производственных процессах.

Оценка расхода ресурсов основана, как правило, на сравнении фактических и нормативных затрат по отдельным агрегатам и участкам либо на составлении балансов потребляемых ресурсов (тепловой баланс, топливный баланс и др.). Однако это не позволяет в полной мере и объективно оценить энергосбережение на предприятии. Наиболее точную оценку эффективности внедрения энергосберегающих мероприятий дает показатель, учитывающий особенности производства на протяжении всей технологической цепочки, начиная со стадии добычи и обработки первичного сырья и заканчивая стадией упаковки и транспортировки готового продукта.

В целях создания такого показателя энергоемкости готовой продукции была разработана методика сквозного энергетического анализа, в основу которой положен расчет технологического топливного числа (ТТЧ) – показателя энергоемкости производства, предложенная в 80-х годах прошлого века. Данная методика позволяет провести полный энергетический анализ, рассчитать сквозные суммарные энергоемкости технологического продукта, что способствует повышению интегрального показателя использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), учету использования вторичных материальных и энергетических ресурсов. Кроме того, метод позволяет рассчитать энергоемкость новых (планируемых) технологий и производств и уже существующих производств при изменении структуры технологического процесса или замене энергоносителей, потребляемых в производстве [3, 4, 5].

В настоящее время методика нашла широкое применение в различных областях промышленности [4], а основные положения полного энергетического анализа закреплены в ГОСТах [2]. Методика имеет ряд существенных преимуществ, позволяющих достаточно объективно проводить энергетический анализ или анализ эффективности использования энергии в производственном процессе. Кроме того, применение энергосберегающих технологий не только экономит топливо и энергетические ресурсы, участвующие в технологическом процессе, но значительно сокращает количество отходов и вредных выбросов, которые присутствуют на любом производстве.

Целлюлозно-бумажная промышленность относится к таким отраслям, в которых потребляется большое количество энергетических ресурсов, т.е. энергосбережение для ЦБП актуально. Отличительной чертой производств ЦБП является то, что, с одной стороны, энергетические затраты вносят значительный вклад в цеховую себестоимость продукции, с другой – надежность энергоснабжения и стабильность параметров энергоносителей существенно влияют на качество продукции.

Как сказано выше, в ходе энергетического анализа рассчитывают ТТЧ, которые представляют собой суммарные затраты всех видов энергии, пересчитанные на необходимое для их получения первичное топливо. Единицы измерения ТТЧ – кг условного топлива/единица продукции.

При расчете структурированной формы ТТЧ продукции рассматривают следующие виды энергии [5]: первичная \mathcal{E}_1 – химическая энергия ископаемого первичного топлива; производная \mathcal{E}_2 – энергия производных энергоносителей (электроэнергия, пар, сжатый воздух, кислород и т.п.);

скрытая \mathcal{E}_3 – энергия, израсходованная в предшествующих технологиях и учитываемая в скрытом виде исходные материалы, оборудование, капитальные сооружения на данном технологическом этапе производства с учетом соответствующих расходных коэффициентов; вторичных ресурсов \mathcal{E}_4 – энергия, которая складывается из фактически сэкономленных энергозатрат при использовании в данном или других производствах тепловых, топливных, материальных и других ресурсов; при этом учитывается химическая энергия вторично используемого топлива, тепловая энергия (пар), а также материальные ресурсы на том переделе, на котором заменяются первичные ресурсы с учетом коэффициентов использования вторичных ресурсов.

Согласно определению, ТТЧ – как сумма всех видов энергий, используемых на данном этапе производства:

$$\text{ТТЧ} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 - \mathcal{E}_4 .$$

Данная методика была использована для оценки энергоемкости основных производств целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК), в результате чего получены данные по энергоемкости продукции (сульфатная целлюлоза, бумага), производимой на предприятии. Весь производственный процесс был разбит на стадии и на каждой из них выделены основные виды используемой энергии. Для получения данных о энергоемкости конечных продуктов проведены промежуточные расчеты, в процессе которых вычислены энергоемкости производства пара и химикатов. В ходе расчетов были сделаны некоторые допущения. Так, ввиду сложности оценки ТТЧ ряда используемых химикатов условно рассчитано из соотношения цен (руб/кг) i -го химиката \mathcal{C}_i , извести $\mathcal{C}_{\text{изв}}$ и $\text{ТТЧ}_{\text{изв}}$, которые известны:

$$\text{ТТЧ}_i = \frac{\mathcal{C}_i}{\mathcal{C}_{\text{изв}}} \text{ТТЧ}_{\text{изв}} .$$

Результаты расчета энергоемкости производств сульфатной целлюлозы и бумаги в условиях одного из отечественных ЦБК представлены в таблице. В ходе анализа весь технологический процесс производства целлюлозы разбивали на операции (варка целлюлозы, очистка целлюлозы и регенерация щелока), потребляющие следующие формы энергии: \mathcal{E}_2 – электроэнергия, пар, вода техническая; \mathcal{E}_3 – щепы, химикаты; \mathcal{E}_4 – щепы, полученная из отходов лесопиления, химикаты, используемые повторно благодаря перепуску и регенерации щелока, пар.

По аналогии с производством целлюлозы при энергетическом анализе производства бумаги выделены следующие формы используемой энергии (см. таблицу): \mathcal{E}_2 – электроэнергия, пар, вода техническая; \mathcal{E}_3 – целлюлоза сульфатная небеленая, химикаты; \mathcal{E}_4 – вода обратная, пар.

Результаты анализа позволяют выявить виды энергии и энергоносители, которые вносят основной вклад в величину полной энергоемкости готовой продукции, что, в свою очередь, позволяет при разработке мероприятий по энергосбережению ранжировать их и выбирать среди них наиболее рациональные для конкретного производства. Так, по данным, полученным

Расчет ТТЧ целлюлозы и бумаги

Форма энергозатрат	Статья расхода	Технологическое топливное число	Удельный расход, ед. изм./т	Энергозатраты, кг у. т./т
Целлюлоза				
Э ₂	Электроэнергия, МВт·ч	422,00	0,312	131,664
	Пар, Гкал	241,50	3,52	850,08
	Вода техническая, м ³	0,105	376,09	39,49
	Щепа с ДПУ, м ³	6,631*	4,52	29,972
Э ₃	Химикаты, кг:			
	известь	0,283	0,264	0,075
	скипидар	0,754	0,004	0,003
	сода кальцинированная сульфат натрия	0,170 0,245	0,100 0,137	0,017 0,033
Э ₄	Щепа из отходов, м ³	6,631*	-0,25	-1,658
	Пар, Гкал	241,50	-0,81**	-195,615
	Химикаты, кг:			
	известь	0,283	-0,203***	-0,057
	скипидар	0,754	-0,003***	-0,002
	сода кальцинированная сульфат натрия	0,170 0,245	-0,077*** -0,106***	-0,013 -0,026
Итого ТТЧ целлюлозы, кг у.т./т				853,963
Бумага				
Э ₂	Электроэнергия, МВт·ч	422,00	0,80	337,60
	Пар, Гкал	241,50	2,27	548,21
	Вода техническая, м ³	0,105	65,25	6,85
Э ₃	Целлюлоза, т	853,96	1,05	896,66
	Химикаты, кг:			
	канифоль	0,755	3,50	2,64
	алюминий	0,245	52,50	12,86
	сода кальцинированная силикат натрия	0,170 0,105	0,60 0,50	0,10 0,05
Э ₄	Вода техническая, м ³	0,105	-48,94*	-5,14
	Пар, Гкал	241,50	-0,227****	-54,83
Итого ТТЧ бумаги, кг у.т./т				1745,00

* ТТЧ щепы рассчитано с учетом затрат электрической энергии и сжатого воздуха при производстве щепы.

** Удельный расход вторично используемого пара взят в размере 23 % от общего количества пара на варку целлюлозы, 10 % – на производство бумаги.

*** Согласно литературным данным процент регенерации щелока может достигать 75...80, при этом учтены сдвиги в период заварки, сдвиги низкого и высокого давления, перепуск щелока, регенерация варочного основания; процент вторичного использования химикатов принят 77 % от используемой массы соответствующего химиката.

**** Удельный расход оборотной воды (вторичная энергия) для расчетов приняты в размере 75 % от общего количества воды, используемой при производстве бумаги.

в процессе анализа энергоемкости производства целлюлозы видно, что основной составляющей энергоемкости целлюлозы является энергия производных энергоносителей – тепловая (80 %) и электрическая (12 %). В результате этого можно сделать вывод о целесообразности внедрения в первую очередь мероприятий, направленных на уменьшение расхода или повышение эффективности использования, именно, этих энергоносителей. Так, вторичное использование пара, как наиболее энергоемкого носителя, позволяет снизить энергоемкость целлюлозы на 18 %. Кроме того, метод полного энергетического анализа можно использовать для расчета энергоемкости новых или модернизации уже существующих технологий, что способствует своевременному выявлению наиболее эффективных методик и снижению энергоемкости конечной продукции.

Следует отметить, что учет первичной энергии в целлюлозно-бумажном производстве и в любых деревообрабатывающих производствах, по нашему мнению, имеет специфику, которая состоит в том, что первичный ресурс – древесина – является особого рода биовозобновляемым природным ресурсом, т.е. ресурсом, требующим человеческого участия в процессе проведения работ по восстановлению леса. Заметим, что в процессе проведения энергетического анализа производства целлюлозы специально не учитывали первичную энергию, т.е. энергию древесины как энергетического носителя (топлива).

В общем виде энергоемкость первичных энергоресурсов определяли как

$$\mathcal{E}_1 = Q_n^p \varphi, \quad (1)$$

где Q_n^p – низшая рабочая теплота сгорания топлива, кг у. т./ед. топлива;

φ – удельный расход топлива, ед. топлива/ед. готовой продукции.

При определении показателя энергоемкости древесины, с нашей точки зрения, необходимо учитывать собственную энергоемкость древесины, а также возможность и затраты на ее восстановление; при этом качество восстановительных работ должно оцениваться как качественными, так и количественными характеристиками древесины до и после восстановления. В этом случае значение ТТЧ древесины (с учетом работ по лесовосстановлению) и первичной энергии древесины $\mathcal{E}_1^{\text{древ}}$ можно представить в виде

$$\text{ТТЧ}^{\text{древ}} = Q_n^p (1 - \Psi) + \text{ТТЧ}_{\text{восст}}; \quad (2)$$

$$\mathcal{E}_1^{\text{древ}} = \text{ТТЧ}^{\text{древ}} \varphi, \quad (3)$$

где Ψ – степень восстановления древесины с учетом изъятия прироста остатков вырубленной древесины на лесосеках, а также гибели лесов при пожарах;

$\text{ТТЧ}_{\text{восст}}$ – энергоемкость лесовосстановительных работ с учетом затрат на заготовку семян деревьев, выращивание из них саженцев, высадку саженцев и последующий уход за ними, а также качественных показателей восстанавливаемой древесины, кг у. т./м³.

Приблизительная оценка величины Ψ для такой перспективной (в смысле древесных ресурсов) области, как Иркутская, показывает, что изъятие ежегодного прироста древесины составляет 40 %, в то время как в странах Америки и Европы этот показатель колеблется от 60 до 80 % [6]. Эти цифры наглядно показывают, что величина Ψ в формулах (2) и (3) может быть даже больше единицы (для приведенных примеров соответственно 2,50 и 1,25). Если учесть, что для древесины $Q_n^p = 154,28$ ккал/м³ = 646,43 кДж/м³ и расход древесины на получение 1 т целлюлозы составляет 4,52 м³/т (см. таблицу), то по формуле (1) величина $\mathcal{E}_1 = 697,34$ кг у. т./т. Это довольно значительная величина (66 % от ТТЧ целлюлозы), которая вносит заметный вклад в энергоемкость. Однако, с учетом $\Psi = 2,50$ и 1,25 из формул (2) и (3) следует парадоксальный, на первый взгляд, вывод, что первичная энергия древесины $\mathcal{E}_1^{\text{древ}}$ не только не увеличивает энергоемкость продукции, но даже может значительно ее снижать. Это зависит от степени вырубки лесов и их восстановления и еще раз подтверждает факт специфичности, с точки зрения энергоемкости, такого сырьевого ресурса, как древесина. Требуется уточнения расход энергии на восстановление лесов, которое носит скорее региональный или производственно-территориальный локальный характер.

Таким образом, применение методики полного энергетического анализа для оценки энергоемкости основных производств целлюлозно-бумажной промышленности позволит оценить влияние каждого энергоносителя на энергоемкость готового продукта, а расчет ТТЧ древесины по формуле (1) – уточнить величину первичной энергии и получить более точные результаты, по которым в дальнейшем можно судить об эффективности той или иной технологии, сырьем для которой является такой биовосстанавливаемый ресурс, как древесина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурдаков, В.П. Эффективность жизни (введение в экоматерику) [Текст] / В.П. Бурдаков. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 304с.
2. ГОСТ Р 51750–2001. Энергосбережение. Методика определения энергоемкости при производстве продукции и оказании услуг в технологических энергетических системах. Общие положения [Текст].
3. Лисиенко, В.Г. Методика полного энергетического анализа и расчет технологических топливных чисел в производстве бумаги [Текст] / В.Г. Лисиенко, В.А. Лискин, Е.И. Дукин // Лесн. журн. – 2002. – № 5. – С. 124–132. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Лисиенко, В.Г. Хрестоматия энергосбережения: справочник [Текст] / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев; под ред. В.Г. Лисиенко. – М.: Теплоэнергетик, 2002. – 688 с. (книга 1); 768 с. (книга 2).
5. Лисиенко, В.Г. Энергетический анализ. Методология и базовое информационное обеспечение: учеб. пособие [Текст] / В.Г. Лисиенко [и др.]. – Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2001. – 100 с.

6. Лобанов, В.Ю. Собственная генерация энергии – способ реального повышения конкурентных преимуществ предприятий лесопромышленного комплекса [Текст] / В.Ю. Лобанов, А.В. Мехренцев // Энергетика региона. – 2004. – № 10(75). – С. 37–40.

V.G. Lisienko, T.S. Kirillova, D. N. Bogoslovsky

**Power-consuming Capacity Evaluation of Basic Manufactures
of Pulp-and-paper Industry**

Evaluation of power-consuming capacity of pulp-and-paper production is carried out by the method of complete power analysis. Advantages of the given method are shown and specific character of its use is determined for woodworking and pulp-and-paper industry.
