

УДК 620.9:630*3

В.Г. Лисиенко, А.В. Мехренцев, Ю.А. Ширнин

Лисиенко Владимир Георгиевич родился в 1933 г., окончил в 1956 г. Уральский политехнический институт им. С.М. Кирова, доктор технических наук, профессор, действительный член Академии инженерных наук и Международной энергетической академии, Союза научных и инженерных обществ, вице-президент Академии инженерных наук РФ, президент Регионального уральского отделения АИН РФ, заслуженный деятель науки и техники РФ, заведующий кафедрой автоматизации и управления в технических системах Уральского государственного технического университета. Имеет 600 печатных трудов в области математического моделирования, управления и совершенствования высокотемпературных энерготехнологических процессов, энергосбережения и экологии.



Мехренцев Андрей Вениаминович родился в 1958 г., окончил в 1980 г. Уральский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 50 печатных трудов в области разработки оборудования и технологических процессов лесозаготовок.



Ширнин Юрий Александрович родился в 1946 г., окончил в 1973 г. Марийский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесопромышленных производств Марийского государственного технического университета. Имеет 160 печатных работ в области технологии и оборудования лесопромышленных производств.



ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИИ

Предложен энергетический метод анализа технологических процессов лесозаготовки. Приведены математические модели энергетической структуры. Дана граф-схема технологического процесса лесозаготовок.

Ключевые слова: лесовосстановление, лесосечные работы, топливно-энергетические ресурсы, произведенные энергоносители, энергетическая структура.

Глобальные и локальные техногенные воздействия на окружающую среду напрямую связаны с эффективностью использования энергии в технологических процессах. Особое значение эта проблема приобретает в отраслях, использующих природное сырье для получения потребительских товаров.

Одна из них – лесное хозяйство, важнейшей целью которого является создание высокопродуктивных насаждений. При этом выполняется весь

комплекс мероприятий, направленный как на сокращение возраста главных рубок, так и на воспроизводство лесной среды. В результате ведения лесного хозяйства должна сохраняться одна из важнейших экологических функций леса, связанная с формированием фитомассы, обеспечивающей накопление (депонирование) из окружающей среды углерода и выделение кислорода.

Таким образом, весь биологический цикл жизнедеятельности дерева под воздействием человека сопровождается определенными затратами различных видов энергии, направленными на ускорение процесса созревания древесины, а также на получение древесных материалов, продажа которых обеспечила бы компенсацию затрат.

В связи с постоянным ростом цен на энергетические ресурсы, дефицитом топлива и необходимостью выбора вариантов его замены существенное значение приобретает один из основных показателей любого технологического процесса – энергоёмкость.

Развитие методов анализа энергопотребления сопровождается формированием необходимых определений и терминов*.

Топливо-энергетические ресурсы (ТЭР) – совокупность природных и производственных энергоносителей, запасенная энергия которых доступна для использования в хозяйственной деятельности.

Произведенный энергоноситель – энергоноситель, полученный как продукт технологического процесса. Им может быть любая продукция конкретного технологического процесса.

Топливо-энергетический баланс – система показателей, отражающая полное количественное соотношение между приходом и расходом энергии за выбранный интервал времени.

Показатель энергетической эффективности – абсолютное, удельное или относительное потребление или потери энергетических ресурсов для продукции или технологического процесса.

Энергоёмкость производства продукции – потребление энергии на основные и вспомогательные технологические процессы.

Возможность значительного повышения интегрального показателя использования ТЭР заключается в экономии конечной энергии, зависящей от улучшения качества и надежности продукции, совершенствования и создания новых технологий, изменения структуры производственных процессов, снижения материалоемкости и потерь энергии, увеличения использования вторичных энергетических ресурсов. Поэтому во многих случаях использование для анализа энергопотребления в технологических процессах существующих схем тепловых энергетических балансов не позволяет выйти на определение показателя использования ТЭР на данную конечную про-

* Лисиенко, В.Г. Энергетический анализ. Методика и базовое информационное обеспечение – Екатеринбург: УГТУ, 2001. – 100 с.

дукцию. В этом смысле методика расчета технологических топливных чисел (ТТЧ) имеет ряд существенных особенностей, позволяющих достаточно объективно проводить энергетический анализ или анализ эффективности использования энергии в технологическом процессе.

Технологическое топливное число – это затраты всех видов энергии в данном и во всех предшествующих переделах технологического процесса, пересчитанных на необходимое для их получения топливо за вычетом вторичных энергоресурсов (ВЭР). Для удобства и наглядности ТТЧ представляются в единицах условного топлива (см. таблицу).

Составляющие ТТЧ определяют и рассчитывают, приводя все формы энергопотребления к этому единому показателю. Прежде чем перейти к описанию составляющих ТТЧ в лесной отрасли, остановимся на характеристике особенностей лесных природных ресурсов.

Вид энергии	Эквивалент для перевода			в условное топливо, кг
	в электроэнергию, кВт·ч	в тепловую энергию		
		ккал	ГДж	
Электроэнергия, кВт·ч	1	860	3,610	0,123
Тепловая энергия:				
ккал	$1,163 \cdot 10^3$	1	$4,19 \cdot 10^6$	$143 \cdot 10^6$
ГДж	$0,278 \cdot 10^3$	$0,239 \cdot 10^6$	1	34
Условное топливо, кг	8,141	7000	$29,33 \cdot 10^3$	1

Лесные ресурсы – это запасы древесных и недревесных продуктов леса, которые можно получить на землях лесного фонда. В отличие от нефти, газа и других ресурсов земли лес является самовосстанавливающейся природной системой. Все многообразие его полезных свойств можно подразделить на три группы: сырьевую, экологическую и социальную. Сырьевое значение леса состоит в следующем. Древесина – это конструкционный материал для изготовления различных продуктов с разным сроком эксплуатации, это также и сложное энергохимическое сырье. Смолистые вещества, листва, хвоя, хвойная и лиственная кора представляют собой многофункциональное техническое сырье. Пищевое лесное сырье – дикорастущие плоды, ягоды, орехи, грибы, соки и другие продукты. Лес является также источником кормовых ресурсов, лекарственного сырья, лесной дичи. Из всего многообразия сырьевых продуктов леса наибольшее значение для мирового хозяйства имеет пока древесина, из которой может быть получено более 20 тыс. различных видов товарной продукции. Экологическое значение леса принято рассматривать по нескольким направлениям. Одно из них – функция сохранения состава атмосферного воздуха, которую лес выполняет в процессе фотосинтеза, потребляя углекислый газ и продуцируя кислород под влиянием солнечного света и при наличии воды в тканях листьев и хвои (ежегодно леса мира выделяют около 55 млрд т кислорода, что особенно важно для крупных промышленных центров); это также почвозащитная, водоохранная, водо- и климаторегулирующая функции. Социальное значение

леса заключается в создании природных условий, благоприятных для обитания человека.

В отличие от прочих природных ресурсов леса в процессе развития находятся под постоянным действием разнообразных благоприятных и неблагоприятных факторов. К их числу относится массивированное техногенное и антропогенное воздействие, влияние вредителей, пожаров. В этих условиях особое значение приобретает участие человека в уходе за лесами, формировании высокопродуктивных насаждений, соответствующих условиям их местопроизрастания, восстановлении разнообразных функций леса.

В процессе роста деревьев происходит депонирование углерода как химического элемента-аккумулятора энергии. Использование человеком древесины как сырья включает в себя: производство различного рода топлива (дрова, щепа, брикеты, газ), деревянных и плитных заготовок для изготовления мебели, строительных конструкций и пр., продукции химической переработки древесины (ЦБП и пр.). Срок службы продукции этих производств определяется скоростью окислительных процессов, т. е. взаимодействия депонированного в древесине углерода с кислородом воздуха. Запас биологической энергии созревшего дерева, распределенный в произведенной древесной продукции, можно оценить путем «сжигания в термостате» единичного объема биомассы дерева. Если рост дерева сопровождался комплексом лесохозяйственных мероприятий, то затраты энергии на их выполнение должны быть интегрированы в общий энергетический потенциал спелого дерева. Таким образом, с точки зрения форм энергопотребления, лес как источник биологической массы, удовлетворяющей различные потребности человека, является весьма специфическим природным ресурсом.

Энергия в технологическом процессе лесозаготовки аккумулируется в следующих формах.

1. Первичная энергия (\mathcal{E}_1) представляет химическую энергию древесины на момент ее созревания или на момент рубок главного пользования с учетом суммарных затрат энергии на проведение комплекса работ, связанных с уходом в процессе роста дерева:

$$\mathcal{E}_1 = \sum_{i=1}^n \dot{\mathcal{O}} \dot{\mathcal{O}}_{\delta \cdot \dot{a} i} \Phi_{\delta \cdot \dot{a} i};$$

$$\dot{\mathcal{O}} \dot{\mathcal{O}}_{\delta \cdot \dot{a} i} = Q_{\dot{a} \dot{e} i} + \sum_{j=1}^m \dot{\mathcal{O}} \dot{\mathcal{O}}_{\dot{e} \delta j},$$

где $ТТЧ_{р,д i}$ – технологическое топливное число i -го растущего дерева на момент его созревания (проведения рубок), кг у. т./м³;

$\Phi_{р,д i}$ – удельное содержание биомассы в растущем дереве, м³;

$Q_{био}$ – теплота сгорания биомассы дерева, кг у. т./м³;

$ТТЧ_{лх j}$ – технологическое топливное число j -го приема лесохозяйственных мероприятий на этапе формирования древостоев, кг у. т./м³.

Таким образом, кроме запаса тепловой энергии, накапливаемого в процессе естественного роста дерева, первичная энергия учитывает все за-

траты, связанные с выполнением комплекса лесохозяйственных мероприятий.

Первичная энергия по существу может стать объективным критерием для определения начальной стоимости спелых древостоев, в которых начинается технологический процесс рубок главного пользования.

2. Энергия произведенных энергоносителей (\dot{E}_2) представляет собой энергетические затраты, связанные с выполнением лесосечных работ. В энергетике они называются отпущенной энергией. В технологическом процессе лесосечных работ \dot{E}_2 формируется из энергозатрат, связанных с работой энергетических установок систем машин, оборудования и механизированных инструментов. Технологический процесс начинается с валки деревьев и заканчивается отгрузкой на лесовозный транспорт продукции в виде деревьев, хлыстов, сортиментов, пиломатериалов или щепы. Возможные варианты технологий лесосечных работ представлены в виде



Граф-схема технологического процесса лесозаготовок: РД – растущее дерево; ВЛК – валка; ПД – поваленное дерево; ОБР – обрезка сучьев; ХЛ – хлыст; РСЖ – раскряжевка; СТ – сортимент; ОКР – окорка; ОС – окоренный сортимент; РСП – продольная распиловка; ПМ – пиломатериал; ДРБ – дробление; ЩП – щеп; ДЛ – делянка; ПП – погрузочный пункт; ЛТ – лесовозный транспорт; ПКТ – пакетирование; ТРА – трелевка; ШТБ – штабелевка; ПГР – погрузка

граф-схемы (см. рисунок). Энергия произведенных энергоносителей определяется по формуле

$$\dot{Y}_2 = \sum_{g=1}^k \dot{Q} \times \varphi_g,$$

где TTC_g – технологическое топливное число g -й операции технологического процесса, кг у. т./м³;

ϕ_g – удельное производство продукции при выполнении g -й операции, м³.

3. Скрытая энергия (\mathcal{E}_3) – это энергия, овеществленная в технологических машинах, оборудовании и инструментах. К ней относят энергозатраты на выполнение подготовительных, вспомогательных работ, ремонта и обслуживания техники. Косвенная оценка затрат скрытой энергии может быть выполнена по стоимостной оценке оборудования, а также с использованием сложившихся стоимостных нормативов на проведение работ по ремонту и обслуживанию техники. К категории скрытой энергии можно отнести и затраты человеческого труда на выполнение технологического процесса лесосечных работ. Технологическое топливное число применяемого оборудования ($ТТЧ_{\text{маш}}$, кг у. т./м³) может быть определено по формуле

$$\dot{O}\dot{O}_{\text{и}\ddot{a}\phi} = \frac{C_{\text{и}\ddot{a}\phi}^{\dot{a}}}{\ddot{O}_{\text{о.д}} V_{\text{и}\ddot{a}\phi}},$$

где $C_{\text{и}\ddot{a}\phi}^{\dot{a}}$ – балансовая стоимость машины с учетом амортизации, р.;

$C_{\text{у.т}}$ – нормативная цена 1 кг условного топлива, р.;

$V_{\text{маш}}$ – объем работ, выполняемый машиной за срок службы, м³.

$$\dot{Y}_3 = \sum_{g=1}^k \dot{O}\dot{O}_{\text{и}\ddot{a}\phi} \phi_g.$$

4. Энергия вторичных ресурсов (\mathcal{E}_4) представляет собой энергию, которую можно рекуперировать в технологический процесс лесосечных работ за счет использования вторичных энергоресурсов, таких, например, как порубочные остатки. Энергетический запас, которым характеризуются порубочные остатки, может быть направлен на воспроизводство первичной энергии, выделяемой при их перегнивании на лесосеке и возмещении потерь питательных веществ в результате лесосечных работ. Кроме того, порубочные остатки можно рассматривать как энергетический ресурс для смежных производств (деревообработка, лесохимические производства, электроэнергетика).

$$\mathcal{E}_4 = \mathcal{E}_{\text{теп}} + \mathcal{E}_{\text{хим}},$$

где $\mathcal{E}_{\text{теп}}$, $\mathcal{E}_{\text{хим}}$ – соответственно тепловая и химическая энергия, которая может быть получена из отходов лесозаготовок.

Рассмотренная энергетическая структура технологического процесса лесозаготовки с учетом определения технологических топливных чисел позволяет выполнить сквозной расчет энергозатрат на всех фазах технологического процесса производства готовой продукции, рассчитать оптимальные варианты технологии получения готового продукта, учесть энергозатраты на формирование продуктивных древостоев, оценить реальную стоимость древесины как уникального природного ресурса.

Уральский государственный
технический университет

Уральский государственный

лесотехнический университет

Марийский государственный
технический университет

V.G. Lisienko, A.V. Mekhrentsev, Yu.A. Shirnin

Energy Analysis of Forest Exploitation Processing

Energy analysis method of forest exploitation processing is suggested. Mathematical models of energy structure are given. Flowgraph of forest harvesting processing is provided.

