

## РАСЧЕТ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НОРМ РАСХОДА ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

*Инж. ЛОЗОВСКИЙ А. А., канд. техн. наук, доц. ЗЕМЛЯКОВ Г. В.*

*Белорусский национальный технический университет*

Проблема энергосбережения в строительном производстве сложная и требует для своего решения системного подхода, позволяющего выработать комплексные энергосберегающие мероприятия, направленные на снижение расхода топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в процессе выполнения строительных работ. Нормирование расхода ТЭР в строительном производстве является одним из ключевых этапов разработки энергосберегающих организационно-технологических решений, которые позволяют регулировать энергосбережение в строительном производстве, повысить эффективность использования ТЭР и перевести энергопотребление в строительных организациях на нормативную базу. Под нормированием расхода ТЭР в строительном производстве понимается установление плановой меры потребления энергоресурсов при выполнении строительно-монтажных работ. Согласно Закону Республики Беларусь от 15 июля 1998 г. № 190-З «Об энергосбережении» основная задача нормирования расхода ТЭР в строительном производстве заключается в создании необходимых условий для рационального расходования энергоресурсов и наиболее эффективного их использования за счет применения в производстве и при планировании строительно-монтажных процессов технически и экономически прогрессивных норм расхода ТЭР. Предлагаемые методы расчета норм расхода ТЭР базируются на постановлении Комитета по энергоэффективности при Совете Министров Республики Беларусь от 19.11.2002 № 9 «Об утверждении Положения о нормировании расхода топлива, тепловой и электрической энергии в народном хозяйстве Республики Беларусь».

Под нормой расхода ТЭР в строительном производстве можно понимать количество энергоресурсов, необходимое для создания едини-

цы доброкачественной продукции в условиях эффективной технологии и организации строительного производства. Индивидуальная норма расхода ТЭР – мера планового количества потребления ТЭР одним энергопотребителем на производство единицы продукции (работы), устанавливаемая по типам определенных энергопотребителей применительно к прогнозируемым объемам и условиям производства продукции (работ). Индивидуальная норма является технологической, служит для расчета групповой нормы расхода и определяется расчетами, экспериментально подтвержденными нормативно-техническими характеристиками энергопотребителей, с учетом достигнутых показателей энергопотребления и планируемого энергосбережения. Индивидуальная технологическая норма определяет расход ТЭР на основные производственные нужды – создание либо выполнение конкретного вида продукции (работ). В тех случаях, когда отдельные вспомогательные производственно-эксплуатационные нужды (создание требуемых параметров микроклимата, обеспечение мер по охране труда, пожарной безопасности, производственной санитарии и т. д.) являются составной частью технологического процесса, расходы энергоресурсов на них относятся к технологическим расходам.

Известные методики расчета норм расхода энергоресурсов позволяют определить только нормативный расход ТЭР для отдельных энергопотребителей (машин и механизмов), выраженный в конкретных физических единицах. Для удобства и простоты применения рассчитанных норм и их анализа при выполнении однородных строительных работ в различных условиях строительного производства предлагается использовать универсальную размерность, выраженную в количестве условного топлива, отнесенного к стоимости строительного

монтажных работ. Такая размерность позволяет рассчитать групповые, технологические и общепроизводственные нормы, где учитывается расход различных видов ТЭР: электро- и тепловой энергии, всех видов топлива и пр. Перевод отдельных видов энергоресурсов к условному топливу производится с помощью соответствующих коэффициентов.

С учетом сказанного индивидуальная технологическая норма расхода ТЭР при производстве определенного вида продукции (работ)  $H_T$  рассчитывается по формуле

$$H_T = \frac{Q_{\text{тэр}}}{V}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{тэр}}$  – количество расходуемого ТЭР при производстве продукции (работ), кг у. т.;  $V$  – объем произведенной продукции (работ), условная единица стоимости строительно-монтажных работ в базисных ценах 2006 г. (УЕ СМР).

При определении индивидуальных технологических норм с применением различных типов энергопотребителей рекомендуется использовать предлагаемые методы.

Для группы энергопотребителей с силовыми агрегатами типа двигателей внутреннего сгорания количество расходуемых ТЭР зависит от удельного расхода топлива, характеристик и технического состояния мощности двигателя и степени ее использования, времени работы двигателя и энергопотребителя в целом. Расход ТЭР в этом случае можно определить [1]:

$$Q_T = q_i N_{\text{м дв}} K_{\text{то}} K_{\text{вд}} K_{\text{мд}} K_{\text{тм}} K_{\text{и}} t_{\text{вр}} k_T; \quad (2)$$

$$Q_T = N_{\text{м дв}} \left[ q_{\text{хол}} + (q_{\text{норм}} - q_{\text{хол}}) K_{\text{мд}} \right] t_{\text{вр}} \frac{K_{\text{вд}}}{K_{\text{в}}} K_{\text{и}} k_T, \quad (3)$$

где  $q_i$  – удельный расход  $i$ -го вида топлива при номинальной мощности двигателя энергопотребителя;  $N_{\text{м дв}}$  – номинальная мощность двигателя энергопотребителя;  $K_{\text{то}}$  – коэффициент, учитывающий расход ТЭР на ежемесячное техническое обслуживание, на набор двигателем номинальной мощности ( $K_{\text{то}} = 1,03$  для всех машин);  $K_{\text{вд}}$  – коэффициент использования двигателя по времени;  $K_{\text{мд}}$  – то же по мощности;  $K_{\text{тм}}$  – коэффициент, учитывающий измене-

ние расхода ТЭР в зависимости от степени использования мощности двигателя;  $K_{\text{и}}$  – коэффициент, учитывающий износ энергопотребителя;  $q_{\text{хол}}$ ,  $q_{\text{норм}}$  – величины расхода топлива на 1 л. с. номинальной мощности в 1 ч при холостой и нормальной нагрузках работы двигателя соответственно, кг у. т./ч;  $K_{\text{в}}$  – коэффициент использования времени работы энергопотребителя;  $t_{\text{вр}}$  – время работы энергопотребителя, ч;  $k_T$  – коэффициент перевода соответствующего вида топлива в условное топливо.

Для энергопотребителей, оборудованных электродвигателями, количество расходуемых ТЭР зависит от мощности электродвигателя и степени ее использования, а также времени работы двигателя [1]

$$Q_{\text{э}} = \frac{N_{\text{м дв}} K_{\text{мд}} K_{\text{пот}} K_{\text{вд}}}{K_{\text{пдн}} K_{\text{п}}} t_{\text{вр}} k_{\text{э}}, \quad (4)$$

где  $K_{\text{пот}}$  – коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в сети и ее расход на вспомогательные нужды, определяется расчетом. При ориентировочных расчетах значение  $K_{\text{пот}} = 1,05-1,10$ ;  $K_{\text{пдн}}$  – коэффициент полезного действия при номинальной нагрузке двигателя;  $K_{\text{п}}$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние мощности и степени загрузки двигателя;  $k_{\text{э}}$  – коэффициент перевода электроэнергии в условное топливо.

Количество ТЭР при выполнении электросварочных работ электродуговой сваркой можно определить следующим образом [1]:

$$Q_{\text{э}} = \frac{\beta_{\text{э}} v_{\text{д}} m_{\text{ш}} I_{\text{ш}}}{\eta \alpha_{\text{н}}} k_{\text{э}}, \quad (5)$$

где  $\beta_{\text{э}}$  – коэффициент, учитывающий потери электроэнергии при холостом ходе сварочного аппарата,

$$\beta_{\text{э}} = 1 + \frac{(1 - K_{\text{п}}) N_{\text{хол}} \cdot 10^3}{K_{\text{п}} v_{\text{д}} I}, \quad (6)$$

$K_{\text{п}}$  – коэффициент использования сварочного поста;  $N_{\text{хол}}$  – мощность холостого хода сварочного аппарата, кВт;  $I$  – сила тока, А;  $v_{\text{д}}$  – номинальное напряжение дуги (среднее напряжение горения дуги), В; для автоматической сварки значение  $v_{\text{д}}$  принимается в соответствии со справочно-техническими данными о режимах

сварки;  $m_m$  – вес наплавляемого металла на 1 м шва, кг;  $l_{ш}$  – длина шва, м;  $\eta$  – КПД сварочной машины;  $\alpha_n$  – коэффициент наплавки, г/(а·ч).

Для приближенных расчетов значение  $\frac{\beta_3 v_d}{\eta \alpha_n}$

можно принимать равным: 6,5 – при ручной сварке постоянным током; 4,5 – при ручной сварке переменным током; 3,0–3,5 – при автоматической сварке переменным током под слоем флюса.

Расчет количества ТЭР при выполнении электросварочных работ электрической точечной сваркой можно определить по формуле

$$Q_3 = \frac{v_{хол} I_c \cos \varphi}{3,6 \cdot 10^6} t_{св} n_t k_3, \quad (7)$$

где  $v_{хол}$  – напряжение холостого хода по ступеням во втором контуре сварочной машины, В; для приближенных расчетов значение  $v_{хол} = 3$ ;  $I_c$  – сила сварочного тока, А,

$$I_c = (I_1 - I_{хол}) \frac{v_1}{v_2}, \quad (8)$$

$I_1$  – наибольший начальный первичный ток для данной ступени сварочной машины, А;  $I_{хол}$  – ток в первичной обмотке трансформатора на холостом ходу для данной ступени сварочной машины, А;  $v_1$  – первичное напряжение, В;  $v_2$  – вторичное напряжение, В;  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности сварочного аппарата;  $n_t$  – количество свариваемых точек;  $t_{св}$  – время сваривания одной точки, с.

Время сваривания зависит от геометрических размеров свариваемых изделий и приводится в справочно-технической литературе. В случае отсутствия справочных данных для определения значения  $t_{св}$  рекомендуется использовать следующие формулы для сваривания арматуры:

• периодического профиля диаметром менее 25 мм

$$t_{св} = \frac{34\,490}{I^2} d^{3,81}, \quad (9)$$

• гладкого профиля диаметром менее 25 мм

$$t_{св} = \frac{34\,490}{I^2} d^{3,78}, \quad (10)$$

• периодического профиля диаметром более 25 мм

$$t_{св} = \frac{218 \cdot 10^6}{I^2} d^{3,5}, \quad (11)$$

• гладкого профиля диаметром более 25 мм

$$t_{св} = \frac{82,3 \cdot 10^6}{I^2} d^{3,92}. \quad (12)$$

Количество ТЭР при прогреве бетонных и железобетонных конструкций зависит от марки бетона, коэффициента армирования, теплоемкости бетона и цемента, начальной температуры и скорости ее подъема, продолжительности изотермического прогрева и пр. Энергозатраты в данном случае можно определить по формуле

$$Q_3 = N_{раз} \frac{T_k - T_n}{\vartheta_T} + N_{пр} t_{пр} k_3, \quad (13)$$

где  $N_{раз}$  – удельная мощность, необходимая для подъема температуры 1 м<sup>3</sup> смеси до расчетного значения, кВт;  $N_{пр}$  – то же 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси в период изотермического прогрева, кВт.

$N_{раз}$  и  $N_{пр}$  определяются по формулам:

$$N_{раз} = \frac{Q_{раз}}{864}, \quad (14)$$

$$N_{пр} = \frac{Q_{пр}}{864}, \quad (15)$$

где  $Q_{раз}$  – количество теплоты, необходимое для подъема температуры 1 м<sup>3</sup> смеси до расчетного значения, Дж (ккал);  $Q_{пр}$  – то же для прогрева 1 м<sup>3</sup> смеси, Дж (ккал).

Рассчитаем  $Q_{раз}$  и  $Q_{пр}$  следующим образом:

$$Q_{раз} = k_{оп} q_0 \gamma \vartheta_T + RM_{п} \left( \frac{T_k + T_n}{2} - T_{нв} \right); \quad (16)$$

$$Q_{пр} = RM_{п} (T_k - T_n), \quad (17)$$

где  $k_{оп}$  – коэффициент, учитывающий затраты теплоты на нагрев опалубки; для деревянной опалубки  $k_{оп} = 1,1$ ;  $q_0$  – теплоемкость бетонной смеси, Дж (ккал)/(кг·°C);  $\gamma$  – плотность бетон-

ной смеси,  $\text{т/м}^3$ ;  $R$  – коэффициент теплоотдачи опалубки и ограждений,  $\text{Дж (ккал)·м}^2\cdot\text{ч/}^\circ\text{С}$ . Для деревянной опалубки толщиной 25 и 40 мм  $R = 3,1\text{--}3,5$  и  $R = 2,3\text{--}2,5$  соответственно;  $M_{\text{п}}$  – модуль поверхности прогреваемой конструкции;  $T_{\text{к}}$  – требуемая температура прогрева смеси,  $^\circ\text{С}$ ;  $T_{\text{н}}$  – начальная температура смеси,  $^\circ\text{С}$ ;  $\vartheta_{\text{т}}$  – скорость подъема температуры,  $^\circ\text{С/ч}$ ;  $T_{\text{нв}}$  – температура наружного воздуха,  $^\circ\text{С}$ ;  $t_{\text{пр}}$  – время изотермического прогрева смеси, ч.

Для всех формул значения коэффициентов следует принимать по справочно-технической литературе, в случае отсутствия необходимых данных – провести нормативные исследования, по результатам которых можно определить недостающие значения коэффициентов либо экспериментально зафиксировать количество израсходованных ТЭР и объем продукции (работы). При определении норм нужно учитывать тот факт, что на расход ТЭР в строительном производстве оказывает непосредственное влияние ряд факторов: метеорологических, территориальных, технологических и пр. Разработанная методика энергетического обследования строительного-монтажных процессов – энергоаудит – позволяет выявить эти факторы, выполнить их анализ и оценку влияния на уровень энергопотребления [3]. Установлено, что в зависимости от различных сочетаний влияющих факторов расход ТЭР в строительном производстве может увеличиваться от 6–10 % до 150–200 %, а для некоторых видов «мокрых» работ до 800–1000 %. Для учета таких воздействий в рассмотренные формулы при определении индивидуальных технологических норм предлагается вводить поправочный коэффициент  $K_{\text{п}}$ , значение которого определяется по результатам энергоаудита. Уточненное значение индивидуальной нормы расхода ТЭР  $H_{\text{т}}^{\text{п}}$  вычислим по формуле

$$H_{\text{т}}^{\text{п}} = H_{\text{т}} K_{\text{п}}. \quad (18)$$

После расчета и внедрения норм необходимо регулярно выполнять их проверку и корректировку. Для этой цели рекомендуется использовать методику мониторинга расхода ТЭР в строительном производстве.

## ВЫВОДЫ

Рассмотренные методы определения индивидуальных технологических норм расхода ТЭР для основных видов энергопотребителей, участвующих в строительном-монтажных процессах, являются основой методики нормирования расхода ТЭР при выполнении строительного-монтажных работ [4]. Разработанная авторами методика нормирования расхода ТЭР в строительном производстве позволяет установить объективную меру потребления энергоресурсов как для отдельных строительного-монтажных работ, так и для строительного производства в целом, включающего расход ТЭР на технологические и вспомогательные нужды. Впервые предложено нормы расхода ТЭР выражать в условных единицах ( $\text{кг у. т./УЕ СМР}$ ), что позволяет проводить анализ энергоемкости однородных строительных работ, выполняемых различными технологиями.

Впервые для выявления, учета и оценки факторов, влияющих на норму расхода ТЭР, предложена разработанная авторами методика энергетического обследования строительного-монтажных процессов – энергоаудит, в состав которой входит методика мониторинга расхода энергоресурсов в строительном производстве. Мониторинг ряда строительных объектов показал, что случаи нерационального расхода ТЭР в строительном производстве не единичны. Для снижения энергоемкости строительного-монтажных работ, повышения уровня энергосбережения предлагается внедрить нормирование расхода энергоресурсов в строительном производстве, установить строгий контроль за выполнением норм и ввести систему штрафов и поощрений для материальной стимуляции экономии ТЭР.

Рассчитанная по представленной методике индивидуальная технологическая норма при производстве земляных работ (отрывка котлована экскаватором ЭО 3323А) составляет 0,2445  $\text{кг у. т./УЕ СМР}$ , а результаты мониторинга показывают, что фактический расход равен 0,2834  $\text{кг у. т./УЕ СМР}$ , что превышает норму на 16 % [2, 3]. Аналогичным образом была установлена норма для обратной засып-

ки траншей фундаментов бульдозером ДЗ-42Г  $H_r = 0,3874$  кг у. т./УЕ СМР, а фактический расход ТЭР по результатам мониторинга составил  $0,4384$  кг у. т./УЕ СМР, что превышает норму на 13 % (приложение 1).

Для осуществления мониторинга расхода ТЭР, энергоаудита строительно-монтажных процессов, нормирования расхода энергоресурсов и контроля за соблюдением установленных норм, а также организации энергосбережения в строительном производстве необходимо создать независимое специализированное научно-исследовательское подразделение (лабораторию для выполнения указанной работы на договорных началах со строительными организациями).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Каширин, Н. В.** Задачник по техническому нормированию в строительстве. – Ч. 1: Техническое нормирование затрат труда, времени использования машин, расхода материалов и энергоресурсов / Н. В. Каширин. – М.: Высш. шк., 1968. – 204 с.
2. **Лозовский, А. А.** Мониторинг расхода ТЭР в строительном производстве / А. А. Лозовский // Архитектура и строительство. – 2010. – № 5. – С. 74–76.
3. **Лозовский, А. А.** Энергоаудит в строительном производстве / А. А. Лозовский // Строительная наука и техника. – 2010. – № 5 (32). – С. 71–73.
4. **Лозовский, А. А.** Нормирование расхода ТЭР в строительном производстве / А. А. Лозовский, Г. В. Земляков // Строительная наука и техника. – 2010. – № 5 (38). – С. 12–17.

Поступила 28.10.2011

Приложение 1

Таблица 1

Форма (бланк) мониторинга расхода ТЭР

Объект		Блокированный жилой дом на десять квартир по ГП № 4.1 в поселке «Солнечный» Минского района				МРЭ	
№	Дата	Время наблюдения					
наблюдения		Смена	Начало	Окончание	Продолжительность		
4	12.09.08	1	8 ч 00 мин	17 ч 00 мин	8 ч		
Вид СМР				Объем СМР		Стоимость СМР	
Разработка грунта в отвал				168	м <sup>3</sup>	306,931	УЕ СМР
Вид расхода ТЭР		Технологические нужды Земляные работы					
Энергопотребитель			Время работы	Кол-во ТЭР		Примечание	
Одноковшовый экскаватор с обратной лопатой ЭО 3323				N			
			Единица измерения				
			ч	кг	кг у. т.		
Производственные затраты	Под полной загрузкой		2,55	–	–	37,4	
	Под неполной загрузкой		0,55	–	–	7,7	
	При работе вхолостую		3,10	–	–	42,6	
	Итого		6,20	–	–	87,7	
Потери	Лишняя работа		1,55	–	–	11,0	
	Непредвиденная работа		0,10	–	–	1,3	
	Итого		1,65	–	–	12,3	
Всего			7,85	60	87	100,0	
Удельный расход ТЭР						0,2834	$\frac{\text{кг у. т.}}{\text{УЕ СМР}}$
Объект		Блокированный жилой дом на десять квартир по ГП № 4.1 в поселке «Солнечный» Минского района				МРЭ	
№	Дата	Время наблюдения					
наблюдения		Смена	Начало	Окончание	Продолжительность		
5	30.04.09	1	8 ч 00 мин	17 ч 00 мин	8 ч		
Вид СМР				Объем СМР		Стоимость СМР	
Обратная засыпка котлована				450	м <sup>3</sup>	158,747	УЕ СМР
Вид расхода ТЭР		Технологические нужды					

		Земляные работы					
Энергопотребитель		Время работы	Кол-во ТЭР		Примечание		
Бульдозер ДЗ-42Г			N				
		Единицы измерения					
ч	кг	кг у. т.	%				
Производственные затраты	Под полной загрузкой	1,73	–	–	30,6		
	Под неполной загрузкой	0,35	–	–	13,7		
	При работе вхолостую	2,08	–	–	42,0		
	Итого	4,16	–	–	86,3		
Потери	Лишняя работа	1,55	–	–	9,7		
	Непредвиденная работа	0,10	–	–	3,9		
	Итого	1,65	–	–	13,6		
Всего		5,81	48	69,6	100,0		
Удельный расход ТЭР					0,4384	$\frac{\text{кг у. т.}}{\text{УЕ СМР}}$	

Таблица 2

Расчет индивидуальной технологической нормы для отрывки котлована экскаватором ЭО 3323А

Наименование (марка) энергопотребителя	Характеристика силового агрегата энергопотребителя		Коэффициент						Время работы энергопотребителя t, ч	Кол-во ТЭР Q, кг у. т.	Объем продукции (работ), V, УЕ СМР	Индивидуальная технологическая норма расхода ТЭР Н <sub>т</sub> , $\frac{\text{кг у. т.}}{\text{УЕ СМР}}$
	N <sub>м.дв.</sub> , кВт	$\frac{q_{\text{норм.}}}{\text{кг-диз. т.}} \cdot \frac{\text{т.}}{\text{кВт}\cdot\text{ч}}$	K <sub>то</sub>	K <sub>мд</sub>	K <sub>вд</sub>	K <sub>тм</sub>	K <sub>и</sub>	K <sub>т</sub>				
Экскаватор ЭО 3323А	55,00	0,24	1,03	0,50	0,90	1,14	1,05	1,45	8,00	84,24	344,568	0,2445

Таблица 3

Расчет индивидуальной технологической нормы для обратной засыпки котлована бульдозером ДЗ-42Г

Наименование (марка) энергопотребителя	Характеристика силового агрегата энергопотребителя		Коэффициент						Время работы энергопотребителя t, ч	Кол-во ТЭР Q, кг у. т.	Объем продукции (работ), V, УЕ СМР	Индивидуальная технологическая норма расхода ТЭР Н <sub>т</sub> , $\frac{\text{кг у. т.}}{\text{УЕ СМР}}$
	N <sub>м.дв.</sub> , кВт	$\frac{q_{\text{норм.}}}{\text{кг-диз. т.}} \cdot \frac{\text{т.}}{\text{кВт}\cdot\text{ч}}$	K <sub>то</sub>	K <sub>мд</sub>	K <sub>вд</sub>	K <sub>тм</sub>	K <sub>и</sub>	K <sub>т</sub>				
Бульдозер ДЗ-42Г	66,00	0,24	1,03	0,40	0,86	1,28	1,05	1,45	8,00	86,77	224,006	0,3874