

0,006375. Показатели полной кривизны по Гауссу в отдельной точке: минимальная величина равна – 0,000019, средняя величина – 0,000019, что является подтверждением гипотезы о нелинейности характера взаимосвязи между величиной коэффициента теплопроводности и изменяющейся температурой.

Получены адекватные математические модели, описывающие взаимосвязи изменения величины коэффициента теплопередачи материала утеплителя при одновременном воздействии: изменяющейся температуры и объемной массы (для минеральной ваты) изменяющейся температуры и влажности (для пенопласта), что позволяет экономить до 40% используемой энергии на технологические потребности возведения зданий из монолитного бетона.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Bobko F.A. :Optimalizacja potencjału energetycznego teżenia mieszanki w aspekcie za pewnienia wymaganej mrozoodporności betonu i elementów konstrukcyjnych. Wzniki badan. Podstawy modelowania i prognozowania. Monografia NR 47; ISBN 83-85031-95-2; ISSN 0860-5017./Politechnika Czestochowska (RP). - Czestochowa, 1997.s.243.
2. ГОСТ 17177-71. Термоизоляционные материалы.
3. PN-89/B-04620 Materiały i wyroby termoizolacyjne. Terminologia i klasyfikacja.

УДК 693.5/547.3

Бобко Ф.А.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Теоретические основы энергосберегающих строительных технологий разработаны и представлены небольшим, с сожалением для строительной науки и практики, количеством трудов[1, 2, 3] и, что еще хуже, это факт отсутствия в стране направления, обеспечивающего пути исследования и эффективного использования *энергетического потенциала технологических процессов*, реализуемых как силами механического при укладке(монтаже) встраиваемых материалов(изделий) в конструкцию здания(сооружения), так и силами теплофизического взаимодействия.

Еще в начале 80-х годов автором статьи был разработан и прочитан курс лекций, по этой проблеме, предусмотренный в спецкурсе для студентов Брестского инженерно-строительного института, специальности СХС «Проблемы и перспективы сельскохозяйственного строительства». В настоящее время, начиная с 1992 года, в специальном курсе «Теоретические основы энергосберегающих строительных технологий», изучаемом студентами Политехнической Ченстоховской (РП), направления и методы анализа технологических процессов строительного производства при помощи энергетических показателей расширены (Схема 1).

Технология строительных процессов, осуществляемых в соответствии с закономерностями преобразования механической энергии при производстве строительномонтажных работ, основывается на положениях закона сохранения механической энергии. В инерционной системе отсчета, что представлено в начальном курсе элементарной механики, (системе в которой справедлив закон инерции, материальная точка, на которую не действуют никакие силы, находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения) механическая энергия замкнутой системы, в которой нет диссипативных сил, остается постоянной в процессе движения. Так ра-

бота силы равняется произведению величины этой силы и длины линейного отрезка перемещения и может быть определена в широком диапазоне строительных процессв. И тогда, когда направление силы  $F$  (N) не совпадает с направлением движения  $s$  (м) величина работы, (Дж)

$$A = F \cdot s \cdot \cos \alpha, \text{ Дж} \quad (1)$$

где  $\alpha$  – угол между векторами  $F$  и  $s$ .

Работа – величина алгебраическая положительна при  $\cos \alpha > 0$ , и отрицательна при  $\cos \alpha < 0$ .

В случае вращательного движения и постоянной величины момента силы  $M$  при величине угла вращения  $\varphi$  работа силы

$$A_B = M \cdot \varphi \quad (2)$$

Мощностью ( $N$ ) называется работа за единицу времени

$$N = A/t = f \cdot v \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

где  $v$  – скорость, с которой была выполнена работа, Дж/с.

Мощность вращающегося тела определяется

$$N_B = M \cdot \omega \quad (4)$$

где  $\omega$  – величина угловой скорости, рад/с.

Область пространства, в котором обнаруживается действие сил, изменяющееся по определенному закону, называется полем сил. В случаях, когда работа сил, обеспечивающая перемещение тела между двумя точками не зависит от формы пути, а зависит лишь от места положения этих точек поле называют *потенциальным*, а силы считаются консервативными (сила тяжести, силы взаимодействия точечных зарядов). Силы трения и сопротивления не являются консервативными и называются диссипативными. Суммарная их работа всегда отрицательна.

При передвижении в потенциальном поле микрочастицы от установленной точки  $B_i$  в точку  $O$ , выполняется работа, которая зависит только от радиусов-векторов  $r_i$  в точке  $B_i$ . Функция  $U(r)$ , зависящая только от  $r$  и описывающая работу перемещения микрочастицы в потенциальном поле, называется потенциальной энергией этой частицы в данном потенциальном поле и определяется в целых единицах. Работа сил в потенциальном поле равняется величине разности потенциальной энергии в начальной и конечной точках потенциального поля, определяющих положение тела (частицы).

Величина потенциальной энергии тела в гравитационном земном поле может быть описана формулой (5), вполне применимой для расчета величины энергетического потенциала стротелиного процесса, выполняемого при помощи механических сил:

$$E_p = -\gamma \frac{M \cdot m}{R} \quad (5)$$

где:  $\gamma = 6,672 \cdot 10^{-11}$  (N m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>) – гравитационная постоянная;

$M = 5,976 \cdot 10^{24}$  kg – масса Земли;

$m$  – масса тела, Н;

$R$  – расстояние между центром тяжести Земли и центром тяжкости тела, м. Радиусы Земли: средний – 6371,032 км; экваториальный – 6378,16 км; полярный – 6356,777 км.

В физике считается, что потенциальная энергия сил притяжения отрицательна (см. формулу 5), сил отталкивания – положительна. При удалении тела от поверхности Земли на небольшие расстояния поле земного притяжения можно считать одно-

родным (ускорение свободного падения постоянно по величине и направлению). В однородном поле, т.е. в условиях строительства, величина потенциальной энергии

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad (6)$$

где:  $m$  — масса тела, кг;  
 $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  — ускорение силы тяжести в однородном поле;  
 $h$  — высота тела, принимаемая от поверхности земли, на которой величина потенциальной энергии принимается равной нулю, (м);  
 или

$$E_p = m \cdot g \cdot h \cdot R \cdot (R + h) \quad (7)$$

Другим видом механической энергии, характеризующим величину энергетического потенциала строительного процесса и подлежащем учету и в процессе строительства, является *кинетическая энергия*. Кинетическая энергия — это физическая величина, определяющая величину работы силы, необходимой для торможения движущегося тела.

Кинетическая энергия является количественной мерой механического движения.

В случаях предусматривающих малые скорости ( $v$ ), при  $v/c = \beta$  ( $c = 2,99792 \cdot 10^8$  м/с — скорость света в вакууме) значительно меньшем от единицы, кинетическая энергия

$$E_k = m_0 \cdot v^2 / 2 \quad (8)$$

где:  $m_0$  — масса покоя тела. При больших значениях скоростей, когда величина  $\beta$  приближается к единице, кинетическая энергия

$$E_k = m_0 \cdot c^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right) \quad (9)$$

Численное значение величины кинетической энергии каждого вида перемещаемого материала, полфабриката, изделия, элемента строительной конструкции и, наконец, построенного здания или сооружения, определяется в соответствии с формулой

$$E_k = m \cdot v^2 / 2 \quad (10)$$

где  $m$  — масса перемещаемого тела, кг;  $v$  — скорость передвижения тела, м/с.

Величина кинетической энергии вращающегося тела, примеров в строительстве не мало,

$$E_k = I \cdot \omega^2 / 2 \quad (11)$$

где:  $I$  — момент инерции,  $\text{м}^4$ ;  
 $\omega$  — угловая скорость, рад/с.

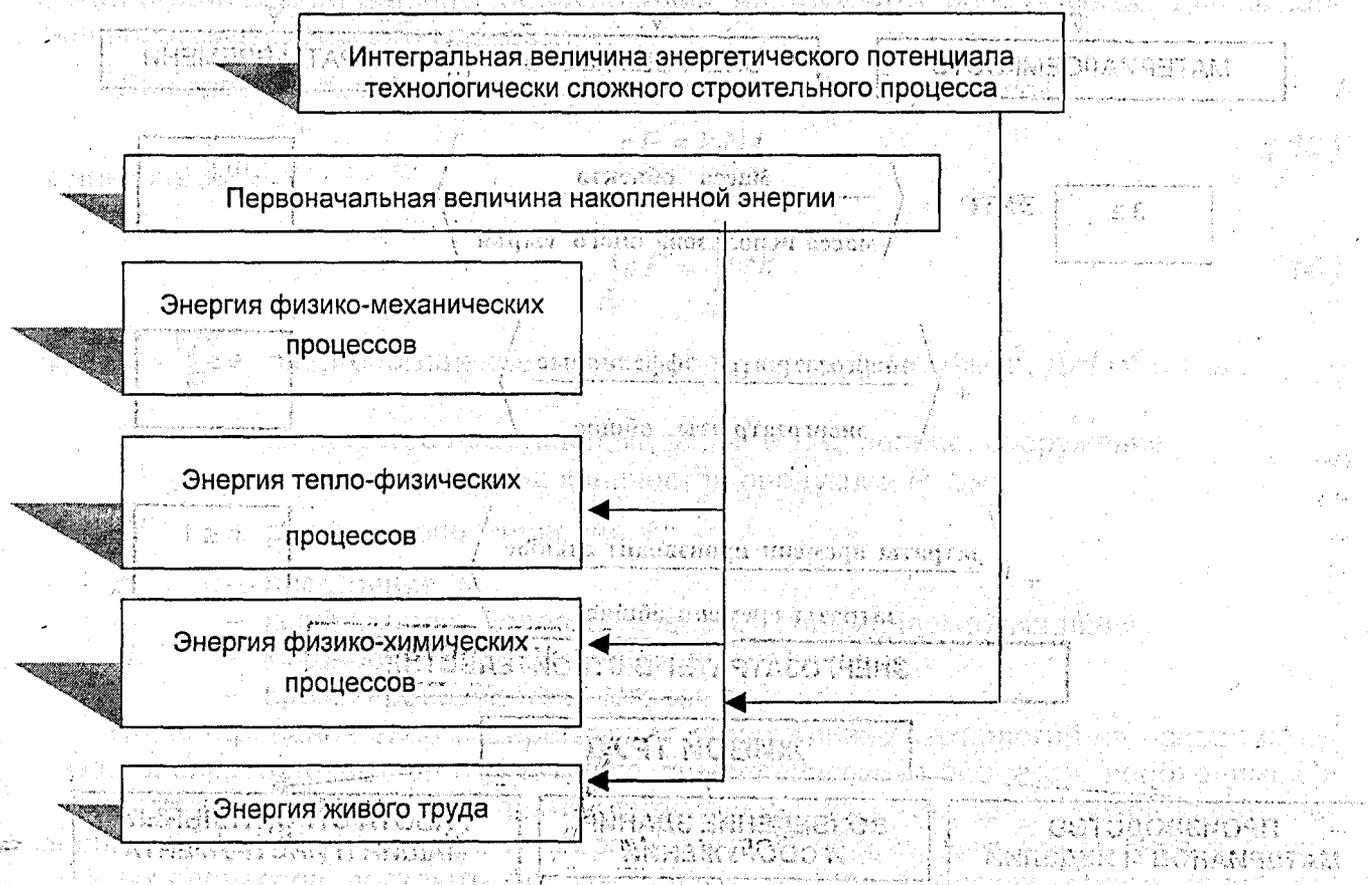
**Полной механической энергией системы** называют сумму потенциальных и кинетических энергий всех тел и частиц, входящих в рассматриваемую систему. Изменение величины механической энергии рассматриваемой системы равняется алгебраической сумме работ внешних сил и всех внутренних диссипативных сил

$$E_2 - E_1 = A + A_D \quad (12)$$

где:  $E_2$  — конечное значение величины энергии рассматриваемой системы, Дж;  
 $E_1$  — начальная величина энергии рассматриваемой системы, Дж;  
 $A$  — количество работы внешних сил системы, Дж;  
 $A_D$  — суммарное количество работы всех внутренних диссипативных сил рассматриваемой системы (величина всегда отрицательная), Дж.

Под общим понятием **энергия** имеется в виду *интегральная количественная величина различных видов энергии (не только механической)*. Закон сохранения энергии является фундаментальным законом природы для всех видов энергии: механической, внутренней, ядерной. Энергия не создается и не уничтожается, она может переходить из одной формы в другую, возможен обмен энергией между различ-

ными частями матери. Технологические процессы следует рассматривать как динамические системы преобразования различных видов энергии. Внутренняя энергия тела (системы тел) есть суммой кинетической энергии хаотического движения частиц, потенциальной энергии их взаимодействия и внутриядерной энергии.



**Схема 1:** Источники формирования заданной величины интегрального энергетического потенциала технологических процессов

Передача энергий от одного тела другому при производстве строительных процессов возможна тремя способами: первый способ – при помощи механического взаимодействия тел в процессе производства, когда работу выполняют механические силы (транспортные процессы, укладка строительных материалов в элементы строительных конструкций, монтаж изделий и строительных конструкций) или электромагнитные силы; второй способ – при помощи теплового воздействия тогда, когда энергия передается при помощи хаотического движения молекул: теплопроводности, конвекции, теплового излучения (процессы выдерживания бетона при пониженных температурах наружного воздуха, процессы твердения раствора и бетона в каменной кладке в нормальных условиях, твердения раствора при выполнении стяжек, штукатурки и др.); третий способ – смешанный: механическое и тепловое взаимодействие тел, наиболее часто встречающийся в строительном производстве при выполнении сложных строительных процессов (монтаж железобетонных конструкций с заделкой стыков, выполнение всех видов так называемых «мокрых процессов»). Формирование энергоемкости строительных технологий представлено на схеме 2. Количество энергии, передаваемое в результате теплового взаимодействия между мате-

**ФАКТОРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА (ЭХТС)**

МАТЕРИАЛОЕМКОСТЬ    
 ЭНЕРГОЕМКОСТЬ    
 ЗАТРАТЫ ВРЕМЕНИ

$$\begin{aligned}
 \text{ЭХТС} &= \left( \frac{\text{масса объекта}}{\text{масса использованного сырья}} \right) + \left( \frac{\text{энергозатраты эффективные}}{\text{энергозатраты общие}} \right) + \left( \frac{\text{затраты времени производительные}}{\text{затраты времени общие}} \right) \\
 &\geq 3 \qquad \qquad \qquad m \leq 1 \qquad \qquad \qquad e \leq 1 \qquad \qquad \qquad h \leq 1
 \end{aligned}$$

**ЭНЕРГОЗАТРАТЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**ЖИВОЙ ТРУД**

ПРОИЗВОДСТВО МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ    
 ВОЗВЕДЕНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ    
 РАБОТА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН И ИНСТРУМЕНТА



риалами и конструктивными элементами в процессе строительства называют количеством тепла и измеряют в джоулях.

Основы энергетической оценки строительных процессов, реализуемых при помощи механических сил базируются на гипотезе равенства величины энергопотребления физической единицы строительной продукции величине полезной мощности строительной машины, оборудования, инструмента, используемых для выполнения рассматриваемого процесса.

Для простых процессов это равенство выражается формулой

$$\varepsilon \cdot P = k \cdot N \cdot t \quad (13)$$

а для сложных

$$\int \varepsilon \cdot P \cdot dt = \int k \cdot N \cdot dt \quad (14)$$

где:  $\varepsilon = \frac{Ws}{P}$  — энергопоглощение единицы прдукции, Дж/кг, Дж/м<sup>3</sup>, Дж/ м<sup>2</sup> и т. д.;

$P$  — количество продукции, кг, м<sup>3</sup>, м<sup>2</sup> и т. д, здание, сооружение;

$\varepsilon \cdot P$  — энергопоглощение количества продукции  $P$ , Дж;

$W$  — реакция сопротивления,  $N$  — сила,  $t$  — время,  $s$  — секунды;

$s$  — расстояние, м,  $k$  — коэффициент полезного действия применяемой машины;

$N$  — мощность двигателя машины, Вт;

$t$  — время производственного цикла, сек.

Проектирование энергосберегающих строительных технологий на основе оптимизации энергетического потенциала технологического процесса, необходимой и достаточной и, вместе стем, близкий к оптимальной величине энергопотребления, позволяет в два-три раза снизить энергозатраты в абсолютном болбшинстве строительных процессов, поставить под контроль науки процесс совершенствования технического уровня строительного машиностроения, с инженерной точки зрения оценить эффективность строительного производства и не всегда верить экономическим оценкам, учитывая условность цены строительной продукции, гипертрофированной гиперинфляцией и не только у нас, но и во всем мире там, где с инфляцией справиться не могут.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ярошев Д. М.: « Проблемы комплексной механизации и энергетический метод» М. 1964.
2. Ярошев Д. М., Базарбаев Н.: « Энергетика технологических процессов в строительном производстве». Ташкент. 1980.
3. Bobko T. F., Optymalizacja potencjału energetycznego tężenia mieszanki w aspekcie zapewnienia wymaganej mrozoodporności betonů i elementów konstrukcyjnych. Wyniki badań. Podstawy modelowania i prognozowania. Monografia 47. Politechnika Częstochowska. Częstochowa, 1997.