

УДК 622.331.002.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ СДВИГА ПО СТАЛИ ПЕРЕРАБОТАННОЙ ТОРФЯНОЙ МАССЫ

Кислов Н.В., Слыш В.М., Лютко Г.И. (УО «Белорусский национальный технический университет», г. Минск, Беларусь)

Предлагается способ определения тангенциального напряжения при сдвиге переработанного торфа и других вязко-пластичных материалов и их коэффициентов трения по шероховатым поверхностям. Установлено, что при значительном содержании влаги в материале ($w \geq 80\%$) сопротивление сдвигу практически равно сцеплению. Выполнена оценка удельных энергозатрат при перемещении вязко-пластичных материалов и торфа в формующих устройствах.

Введение

Формование переработанного торфа в куски и гранулы осуществляется посредством его деформирования, при котором расходуется энергия. В основу метода оценки деформирования вязко-пластичных материалов, предложенного профессором Опейко Ф.А. [1], положено использование двух инвариантов тензора деформаций. При этом переработанный торф принимается как однородная и изотропная система. Допускается также, что при формовании объем торфа в процессе деформирования практически не изменяется, т.е. соблюдается условие неразрывности. Отметим, что деформирование торфа при его добыче, переработке и формовании в подавляющем большинстве случаев осуществляется за счет чистого сдвига (рисунок 1), при котором деформация сдвига $\lambda_{31} = 0,5 \cdot d\gamma_{31}$, где $d\gamma_{31}$ – угол сдвига торфа относительно оси Ox_{22} .

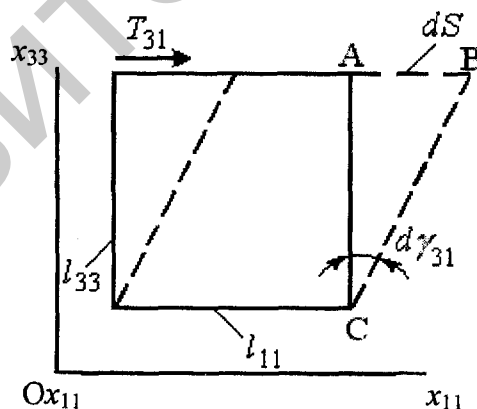


Рисунок 1 – Деформация элементарного параллелепипеда при чистом сдвиге

Чистый сдвиг происходит под действием силы $T_{31} = T$, приложенной на верхней грани выделенного из торфа параллелепипеда со сторонами l_{11} , l_{22} и l_{33} . В результате на этой грани возникает тангенциальное напряжение $\tau = T / dF_{12} = T / (l_{11} \cdot l_{22})$, где dF_{12} – площадь верхней грани параллелепипеда. Работа силы T на пути $dS = l_{33} \cdot d\gamma_{31}$:

$$dA = T \cdot dS = \tau \cdot l_{11} \cdot l_{22} \cdot l_{33} \cdot d\gamma_{31}. \quad (1)$$

При чистом сдвиге элементарная интенсивность деформаций [1]:

$$d\lambda = \sqrt{2} \cdot \lambda_{31}^2 = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot d\gamma_{31}. \quad (2)$$

Элементарная удельная энергия dp деформации чистого сдвига представляет собой работу dA , отнесенную к единице деформируемого объема dV , то есть

$$dp = \frac{dA}{dV} = \sqrt{2} \cdot \tau \cdot d\lambda. \quad (3)$$

Тогда полная удельная энергия при формовании переработанного торфа:

$$p = \sqrt{2} \cdot \tau \cdot \int_0^\lambda d\lambda = \sqrt{2} \cdot \tau \cdot \lambda. \quad (4)$$

Отсюда напряжение сдвига τ торфа по элементам формующего устройства:

$$\tau = \frac{p}{\sqrt{2} \cdot \lambda}. \quad (5)$$

Это напряжение зависит от нормального давления σ и определяется по формуле:

$$\tau = \tau_0 + f \cdot \sigma, \quad (6)$$

где τ_0 – напряжение сдвига торфа относительно стенок формующего устройства в состоянии покоя (сцепление);

f – коэффициент трения.

Сцепление и коэффициент трения зависят от скорости деформации, а также от общетехнических и физико-механических свойств торфа. В расчетах затрат энергии на переработку и формование торфа значения τ_0 и f можно принимать постоянными, если иметь ввиду при этом их средние значения для узкого диапазона свойств торфа и скорости его движения в формующем устройстве. Эта рекомендация профессора Опейко Ф.А. [1] существенно упрощает расчеты при оценке затрат энергии различных перерабатывающих и формующих устройств на стадии их проектирования. Во время переработки и формования материалов в дробилках и других механизмах всегда имеют место полости, заполненные воздухом. Это уменьшает площадь соприкосновения материала с элементами перерабатывающего и формующего устройств, что снижает тангенциальные усилия в местах, где происходит сдвиг. Поэтому действительные напряжения сдвига всегда будут меньше расчетных.

При обосновании параметров и режимов работы формующих устройств необходимо знать возникающее в них противодействие. Определим это давление на примере цилиндрического мундштука. Пусть σ – нормальное давление в сечении мундштука и τ – тангенциальное напряжение на его внутренней поверхности. Тогда для состояния равновесия:

$$\sigma \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \pi \cdot d \cdot l \cdot \tau,$$

где d – диаметр мундштука;

l – его длина.

Отсюда:

$$\sigma = 4 \cdot \tau \cdot l/d. \quad (7)$$

Известно [1], что для цилиндрического мундштука интенсивность деформаций $\lambda = 2\sqrt{2} l/d$. Подставив это выражение в формулу (4), получим, что удельная затрата энергии на формование вязко-пластичного торфа:

$$p = \sqrt{2} \cdot \tau \cdot \lambda = 4 \cdot \tau \cdot l/d. \quad (8)$$

Следовательно, противодействие σ в мундштуке равно по величине удельной затрате энергии p на формование торфа при чистом сдвиге. Это положение относится к различным устройствам, применяемым для переработки и формования вязко-пластичных материалов [1].

Результаты исследования

Экспериментальное определение удельного расхода энергии при формовании переработанного вязко-пластичного торфа проводится на установке (рисунок 2) [2], которая состоит из рабочего цилиндра 4 с передвижным поршнем 3. Для перемещения поршня служит гидравлический цилиндр 1. Поршень рабочего цилиндра шарнирно связан со штоком гидравлического цилиндра, а рабочий цилиндр также шарнирно соединен с рамой установки. Такая конструкция позволяет путем поворота вокруг шарнира 2 установить рабочий цилиндр в вертикальное положение для заполнения его торфом. На рабочем цилиндре при помощи специального замка 5 закреплен конический мундштук 6.

Для привода установки используется гидравлическая система. Подача масла в гидросистему осуществляется шестеренным насосом, который приводится в работу электродвигателем. Для регулирования скорости подачи масла в гидросистему и его давления используется дроссель с предохранительным клапаном. Управление установкой осуществляется распределительным клапаном, рукоятка которого вынесена на лабораторный стол. Для визуальной регистрации давления в цилиндре 1 гидросистемы используется образцовый манометр. С помощью этого манометра фиксируется давление p_u для случая, когда рабочая поверхность поршня 3 окажется в сечении Б-Б (рисунок 2).

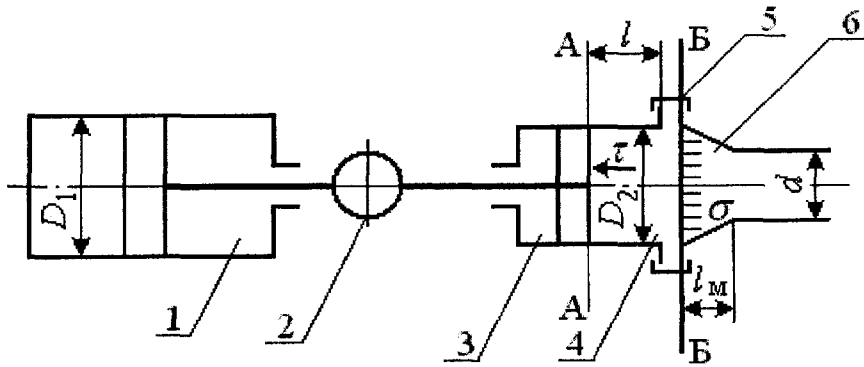
Применительно к рассматриваемому случаю (рисунок 2) нормальное давление σ в сечении Б-Б конического мундштука, численно равное удельному расходу энергии p на формование вязко-пластичного торфа, определяется из выражения:

$$\sigma = p = p_u \cdot D_1^2 / D_2^2, \quad (9)$$

где p_u – давление в гидросистеме;

D_1 – диаметр поршня гидроцилиндра;

D_2 – диаметр рабочего цилиндра и входного отверстия конического мундштука.



1 – гидравлический цилиндр; 2 – шарнир; 3 – поршень; 4 – рабочий цилиндр с диаметром D_2 ; 5 – замок; 6 – конический мундштук длиной l и с диаметрами входного и выходного сечения D_2 и d соответственно

Рисунок 2 – Схема лабораторной установки формирования торфа

По величине p удельного расхода энергии на переработку и формирование вязкопластичных материалов определяют затраты мощности.

Недостаток методики определения давления p_u в гидроцилиндре 1 (рисунок 2), по которому вычисляется нормальное давление $\sigma = p$ во входном сечении конического мундштука, заключается в том, что оно фиксируется визуально по образцовому манометру. В итоге точность замеров снижается из-за разброса данных, полученных в нескольких повторностях определения σ . С целью устранения этого недостатка установка была дооборудована системой непрерывной фиксации процесса формирования вязкопластичного торфа с выводом показаний на дисплей компьютера и распечаткой зависимости $p = \sigma = f(l_i)$, где l_i – путь, проходимый поршнем 3 в рабочей камере формователя (рисунок 3).

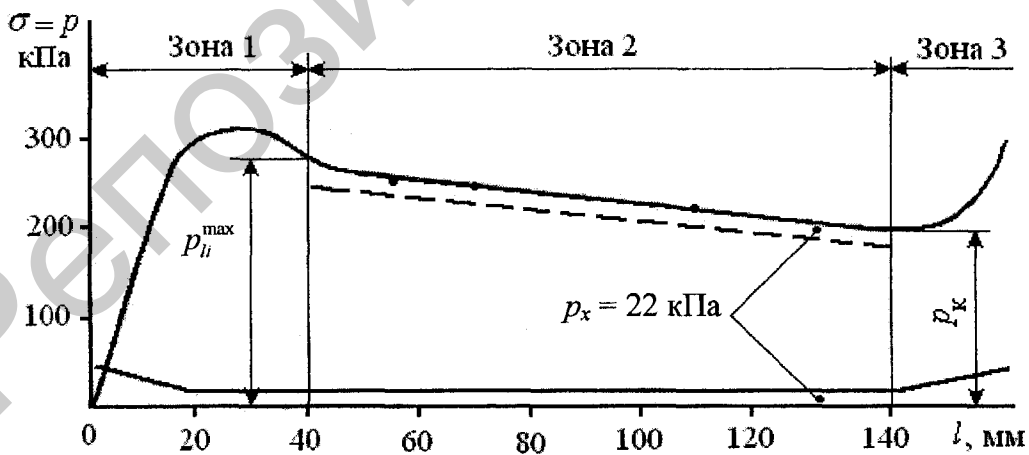


Рисунок 3 – Зависимость удельной затраты энергии $p = \sigma$ при формировании торфа в конусном мундштуке от длины l пути, проходимого поршнем в цилиндрической части формователя

В зоне 1 происходит уплотнение торфа, зона 2 является рабочей, а зона 3 характеризует путь, который проходит поршень с момента отключения его подачи до полной

остановки в сечении Б-Б (рисунок 2). Удельные энергозатраты p_x при холостом ходе поршня в рабочей зоне 2 длиной $l = 0,1$ м составляют 22 кПа. На расстоянии $l = 0,14$ м нормальное давление $\sigma = p$ складывается из двух составляющих $\sigma = p = p_t + p_k$, где p_t – удельные энергозатраты на перемещение торфа в цилиндрической части формователя и p_k – то же в коническом мундштуке. На расстоянии $l = 0,14$ м, т.е. в сечении Б-Б (рисунок 2), $p = p_k$, так как в этом случае $p_t = 0$. Следовательно, в рабочей зоне 2 (цилиндрическая труба), длина которой $l = 0,1$ м, удельные затраты энергии:

$$p_{тi} = (p_{li}^{\max} - p_x) - (p_k - p_x) = p_{li}^{\max} - p_k, \quad (10)$$

где $p_{li} = \sigma_{тi}$ – общие удельные затраты, соответствующие сечениям цилиндра, расположенным в пределах его длины $l = 40 \div 140$ мм;

$p_k = \text{const}$ – то же в коническом мундштуке;

$p_x = 22$ кПа – то же холостого хода поршня.

Согласно формуле (7) с учетом (10), диаметр рабочего цилиндра $D_2 = d = 0,1$ м, при текущем значении тангенциального напряжения τ сдвига торфа относительно внутренней поверхности рабочего цилиндра.

Эксперименты были выполнены в трехкратной повторности с переработанным в конусном растирателе низинным торфом со степенью разложения $R = 35\%$ и содержанием влаги $w = 82,2\%$.

Давление в поршневой камере формователя:

$$\sigma = p = p_{ц} \cdot D_1^2 / D_2^2 = p_{ц} \cdot 0,075^2 / 0,1^2 = 0,5625 \cdot p_{ц},$$

где $p_{ц}$ – давление в гидросистеме.

Длина хода поршня при установившемся перемещении составляет 0,1 м. Примем за нулевой отсчет точку, соответствующую сечению Б-Б (рисунок 2), т.е. когда давление $\sigma = \sigma_k = p_k$. Тогда при длине шкалы в 0,1 м точка отсчета наибольшего давления σ_{\max} будет соответствовать $l = 0,04$ м. В этом случае, в момент начала устойчивой работы системы, давление будет наибольшим и в гидросистеме составит:

$$\sigma_{ц} = (\sigma_{\max} - \sigma_x) - (\sigma_k - \sigma_x) = \sigma_{\max} - \sigma_k = 280 - 195 = 85,$$

где σ_{\max} – наибольшее давление в начале установившегося движения поршня;

σ_k – давление при входе в конический мундштук (сечение Б-Б).

Тогда удельные энергозатраты в цилиндрической части формователя $p = \sigma_{ц} = 0,5625 \cdot p_{ц} = 0,5625 \cdot 85 = 47,81$ кПа, а удельное сопротивление сдвигу торфа относительно внутренней поверхности цилиндрической трубы диаметром $d = 0,1$ м:

$$\tau = 0,025 \cdot \sigma / l = 0,025 \cdot 47,81 / 0,1 = 11,953 \text{ кПа.}$$

Результаты определения τ в функции $\sigma_{ц}$ сведены в таблицу.

Таблица – Оценка удельного сопротивления сдвигу торфа в цилиндрической трубе поршневого нагнетателя

№	l , м	p_n , кПа	$p = \sigma_n = 0,5625 \cdot p_n$, кПа	$\tau = \frac{1}{4} \sigma_n \frac{1}{d}$, кПа	τ_0 , кПа	f
1	0,100	85	47,81	11,953	11,81	0,0031
2	0,080	68	38,25	11,935		
3	0,065	55	30,94	11,899		
4	0,045	38	21,38	11,875		

В результате математической обработки данных таблицы установлено, что зависимость $\tau = f(\sigma_n)$ подчиняется закономерности Кулона-Амонтона:

$$\tau = \tau_0 + f(\sigma_n) = 11,81 + 0,0031 \cdot \sigma_n, \text{ кПа}, \quad (12)$$

где τ_0 – сцепление;

f – коэффициент трения вязко-пластичного торфа по стали;

$\sigma_n = p$ – удельный расход энергии при движении торфа в цилиндрической части поршневого нагнетателя (нормальное давление).

По данным профессора Опейко Ф.А. [1] при влажности низинного торфа $w \geq 80\%$ и интенсивной его предварительной переработке ($\lambda = 800 - 980$) значение коэффициента трения f можно принимать равным нулю. Тогда $\tau = \tau_0$. В общем случае значения τ_0 и f зависят от общетехнических свойств торфа, интенсивности его переработки и скорости деформации.

Таким образом, в результате выполненной работы предлагается методика определения тангенциальных напряжений при сдвиге торфа и других вязко-пластичных материалов и коэффициентов трения их по шероховатой поверхности. Проведена оценка удельного расхода энергии при формировании вязко-пластичного торфа.

Список использованных источников

1. Опейко, Ф.А. Торфяные машины / Ф.А. Опейко. – Минск: Вышэйшая школа, 1968. – 408 с.
2. Кислов, Н.В. Физико-механические свойства и разрушение горных пород / Н.В. Кислов. – Минск: БНТУ, 2001. – 68 с.

Kislov N.V., Slysh V.M., Lyutko G.I.

Calculation of processed peat stress when shifting on steel

Proposed the method of tangential stress calculation when shifting processed peat and other viscous materials as well as calculation of their friction coefficient on rough surfaces. It is determined when the moisture content in the material is substantial ($w \geq 80\%$) the slip resistance is practically equal to adhesion. Carried out the estimation of specific energy consumption by moving viscous materials and peat in the forming devices.

Поступила в редакцию 13.01.2012 г.