

УДК 552. 577

А.Е. Афанасьев, А.С. Ефремов

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ФОРМОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ТЕЛ

Получены характеристики зародышей различных материалов, установлена иерархия структуры торфа на основе предложенной модели рассчитаны значения константы молекулярных сил и пористой структуры слоя фрезерного торфа, практически совпавшие с теоретическими.

Ключевые слова: пористая структура торфа, наноуглеродные структуры, сушка торфа, технология сжигания торфа.

Семинар № 14

**A.E. Afanasyev, A.S. Efremov
THE THEORETICAL ENDURANCE
OF THE FORMED TURF BODIES**

The characteristics of the germ of the different materials are defined; the structure hierarchy of the turf on the base of the proposed model is defined; the constant values of the molecular forces and the porous structure layer of the milled turf that occurred to be almost equal to the theoretical ones are calculated.

Key words: porous structure, nano-carbonic structures, turf drying, turf combustion technology.

В опубликованной работе [1] получены характеристики зародышей различных материалов, установлена иерархия структуры торфа на основе предложенной модели рассчитаны значения константы молекулярных сил и пористой структуры слоя фрезерного торфа, практически совпавшие с теоретическими. Из полученных значений энергии активации процесса разрушения определена вероятная численность наночастичных контактов, доля их участия в процессе структурообразования и теоретическая прочность формованного торфа из предположения, что свойства нанокластеров повторяются в объеме макротела. Но, при этом, в [2, 3]

отмечается, что наноструктурные порошки, пленки, наноуглеродные структуры и др. подобные материалы при создании макротел (например, готовая продукция из торфа, сапропеля, глин и их композиции) в буквальном смысле или не отражают этих свойств, или повторяют их частично. Неясность такой трактовки обусловлена исследованиями, выполняемыми ранее на изолированных кластерах размером от двух до нескольких сотен атомов, а так же на ультрадисперсных порошках [2].

Что касается торфяных систем, то эти особенности проявляются при размельчении (разрушении) макроструктуры на частицы меньших размеров: от нескольких миллиметров до одного микрона (строительные изоляционные материалы, пастообразные удобрения [4-5]; материалы, полученные при гумификации продуктов разложения органических остатков с участием микроорганизмов, влаги и кислорода атмосферы: торф, бурый уголь, почвенный гумус). В процессах структурообразования необходимо учитывать склеивание растений торфообразователей (В.Е. Раковский) гуминовыми и легкогидролизуемыми веществами в единую макросистему,

т.е. от относительной доли грубодисперсных и высокодисперсных наноразмерных фракций зависит устойчивость и целостность формованной продукции. С ростом дисперсности S_0 повышается прочность R_i не только за счёт увеличения числа контактов между частицами, но и вследствие создания, при переработке торфа, равномерной однородной структуры с уменьшением количества и интенсивности дефектов. При этом влага служит фазой, передающей структуре перепады капиллярно-осмотических давлений через цепочку взаимодействий функциональных групп с молекулами воды, которые выступают в роли «залечивающего» фактора дефектов наноразмерной структуры [1]. Подобное свойство использовалось ранее рядом учёных для повышения прочности формованного торфа, по общепринятой технологии, с добавлением мелких частиц (≤ 10 мкм). В то же время из отдельных наноразмерных частиц формованную продукцию не создавали. Приближающейся технологией по производству подобной продукции можно отнести формованный материал из высокораздробленного торфа ($d \geq 5$ мкм) типа «Геокар» [5] и биологически активное удобрение «Экогумус».

В природных условиях к веществам с наноразмерной структурой необходимо отнести гуминовые кислоты (Г.К.), которые представлены сферическими наночастицами $d=3...10$ нм ($30-100\text{Å}^0$) (Орлов Д.С., Кононова М.М., Глебова Г.И.). Г.К. склонны соединяться в цепочки с образованием рыхлых, сетчатых агрегатов. При высоких рН =11-12 Г.К. отождествляются с молекулами. В естественном состоянии (рН<7) Г.К. агрегированы, образуя сетчатые структуры.

При сушке Г.К. образуются глобулы ($d=80-2000$ нм) и хаотически рас-

положенные наночастицы ($d=6-14$ нм). В этой связи при создании материалов на основе наноразмерных частиц заведомо получаем неоднородные дисперсные структуры с организованной дефектностью. Причем, последняя проявляется в образцах больших размеров. Причины изменения физико-механических свойств в макрообъеме тел попытаемся проанализировать на основе микроразмерных, наиболее доступных, пористых органических материалов.

Микроструктура и прочность макротела

При сушке торфа удаляется влага различных форм и энергии связи (П.А. Ребиндер, М.П. Волярович, Н.В. Чураев):

- влага механического удерживания (с энергией связи $E = 0,84$ кДж/моль, влагосодержанием $W = 8,8$ кг/кг) и осмотическая ($E \leq 2,1$, $W = 0,71$);

- физико-химическая ($E=2,1...63$, $W=0,49$) с категориями влаги поглотительной ($E \approx 21$, $W=0,33$) и моносорбции ($E < 63$ кДж/моль, $W=0,16$ (кг/кг);

- химически связанная влага ($E=41,9...419$ кДж/моль), которая при полевой и низкотемпературной заводской сушке не удаляется.

Как правило, условная влага W готового продукта из торфа составляет $\omega_y=40$ % ($W=0,67$ кг/кг, фрезторф), $\omega_y=33$ % ($W=0,49$ кг/кг, формованный), $\omega_n=29-30$ % ($W=0,41-0,43$ кг/кг, полубрикеты), $\omega_n=15-18$ % ($W=0,18-0,22$ кг/кг, брикеты), до ($\omega_n=8-12$ %, $W=0,09-0,14$ кг/кг, пеллеты). То есть в готовой продукции оказывается физико-химическая форма связи влаги с энергией $E=2,1 - 63$ кДж/моль соответственно определяемой молекулярными (связи Ван-дер-Ваальса) и водородными Н-связями. Молекулы моно-

сорбционной влаги (преимущественно брикеты, пеллеты) взаимодействуют с активными центрами (COOH, OH, CON, OCH₃) и могут сшивать отдельные наночастицы в агрегаты, изменяя парамагнетизм и структуру материала. Причём, рост парамагнитных центров (ПМЦ) связан с удалением моносорбированной влаги, связанной с функциональными центрами гуминовых веществ, углеводного комплекса и лигнина, целлюлозы, а так же при разрушении структуры по молекулярным водородным и химическим связям при сушке и переработке торфа [7]. Причиной таких разрушений является повышение концентрации напряжений, возникающих из-за микронеоднородностей в структуре наноразмерных материалов под действием капиллярно-осмотических сил, т.е. при возникновении дефектов структуры. Численность последних уменьшается с повышением однородности элементов структуры, т.е. при понижении рейтинга материала в связи с переходом к наноструктурам. В этой связи формирование объёмных видов продукции связано с оптимизацией размеров пористых наночастиц с соответствующей их укладкой. Например, при кубической укладке частиц коэффициент неоднородности пор октаэдрической формы $\xi_D = 1,78$; при гексагональной $\xi_D = 2,67$ (ромбоздрическая) и $\xi_D = 1,86$ (тетраэдрическая) форма пор. Причём меньшему значению ξ_D соответствует большая прочность R_i ; кускового торфа [6].

Следовательно, даже с позиции идеализированной укладки наночастиц невозможно получить однородно-пористую объёмную систему, когда $\xi_D = \frac{r_{\max}}{r_{\min}} \rightarrow 1$ (здесь r_{\max} , r_{\min} - соответственно, максимальный и минималь-

ный радиус пор модели). Поэтому, в зависимости от развиваемого при сушке внутреннего давления P , значение прочности макротела (кусок торфа) определяет не только число связей $N_{св}$ с соседними наночастицами, сколько организация дефектов структуры (неоднородностей пор). Поэтому $R_i \rightarrow \max$ при условии реализации всех контактных взаимодействий (гексагональная упаковка) за счёт высокой подвижности элементов наноструктуры (например, введение ПАВ, электролитов, повышение температуры), при формовании и сушке макротела или за счёт снижения неоднородности пор (кубическая упаковка в нашем примере). Уменьшение других неоднородностей: влагосодержания, температуры тела, внутреннего давления, решается за счёт уменьшения размеров продукции и изменения режима сушки (переход к мягким условиям), т.е. переход к гранулированной продукции с повышенными дисперсностью S_0 частиц, слагающих макротело, и температурой.

Рассмотренные условия структурообразования подтверждаются данными рис. 1, 2, где показаны зависимости прочности R_i на сжатие кусков магелланикум торфа различной дисперсности: $R_i = f(S_0, d)$, $R_T = 28\%$ при $W = 0,4 \text{ кг/кг}$. Значения размеров идеализированных сферических частиц d , слагающих кусок, получали пересчётом условной удельной поверхности S_0 ($\text{м}^2/\text{кг}$) при плотности $\gamma_i = 630 \text{ кг/м}^3$ по формуле

$$d = \frac{6}{S_0 \cdot \gamma_i}, \quad (1)$$

где $6 = \text{const}$ уравнения. Зависимость $R_i = f(S_0)$, для $S_0 \leq 600 \text{ м}^2/\text{кг}$, описывается уравнением вида [6]

$$R_i = R_{os} \exp(\lambda_s S_0), \quad (2)$$

W, кг/кг	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0
$\lambda_s, \frac{1}{\text{м}^2/\text{кг}}$	0,0039	0,0049	0,0056	0,0058	0,004	0,003

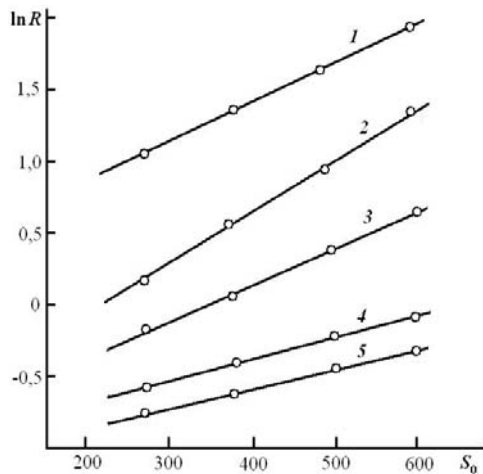


Рис. 1. Зависимость прочности R (МПа) от дисперсности S_0 ($\text{м}^2/\text{кг}$) верхового магелланикум-торфа $R_T = 25\%$ при $W_i = 0,5$ (1), $1,0$ (2), $1,5$ (3), $2,0$ (4), $2,5$ (5) кг/кг

где R_{OS} - начальное значение прочности при $S_0=S_n$, λ_s - коэффициент, характеризующий изменение прочности при колебании дисперсности на $1 \text{ м}^2/\text{кг}$. По данным [8] коэффициент λ_s - принимает значения:

Подставим в формулу (2) S_0 из (1) и окончательно получим, что

$$R_i = R_{OS} \cdot \exp\left(\frac{\lambda_d}{d\gamma_i}\right) \quad (3)$$

растет с уменьшением размера частиц d для $S_0 \leq 600 \text{ м}^2/\text{кг}$. Здесь $\lambda_d = 6\lambda_s = \text{const}$. Причем в логарифмическом виде $\ln R_i = f(S_0)$ выражается линейной зависимостью:

$$\ln R_i = \ln R_{OS} + \lambda_s S_0 \quad (\text{рис. 1}).$$

Следовательно, будет выполняться и уравнение (3), при $(\gamma_i \text{ и } \lambda_d) = \text{const}$, что подтверждает справедливость подхода (1), при этом $R_{OS} = f(W, d, \gamma_i, T)$.

Обработка данных Н.И. Гамаюнова, И.Г. Шишкина и автора этих строк [9], позволила установить зависимость $R_i = f(S_0)$, (рис. 2), которая проходит через максимум при $S_0 = 580 \text{ м}^2/\text{кг}$

($d \approx 16 \text{ мкм}$). С ростом температуры сушки прочность понижается во всем диапазоне измерения d . На существование максимума прочности указывают также зависимости на рис. 2б

($\xi_D = f(d)$) и 2в ($\frac{dP}{dr} = f(d)$), соответ-

ственно отображающих изменение ко-

эффициента неоднородности пор

($\xi_D = \frac{r_{\text{max}}}{r_{\text{вер}}}$), где $r_{\text{вер}}$ - вероятный радиус

пор и градиента давления $\frac{dP}{dr}$ по ра-

диусу цилиндрического куса от диа-

метра частиц, слагающих кусок. Ми-

нимальное значение ξ_D (при

$d = 1.64 \cdot 10^{-5} \text{ м}$) и нулевые значения

$\frac{dP}{dr} = 0$ (при $d \approx 1.45 \cdot 10^{-5} \text{ м}$) подтвер-

ждают оптимум микроразмерных час-

тиц $d_{\text{опт}} = 1.6 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ на рис. 2, а,

обеспечивающих максимум прочности

$R_i = 158 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ($T = 295 \text{ К}$), значи-

тельно отличающейся от теоретиче-

ской ($R_i = 1254 \cdot 10^5 \text{ Па}$) и от прочно-

сти с идеализированной (кубической)

укладкой частиц в куске $R_{\text{куб}} \approx$

$\approx 330 \cdot 10^5 \text{ Па}$ [6].

Таким образом, тенденция изме-

нения торфяной массы даже до раз-

столько, насколько можно было предполагать. Причем, наибольший прирост R_i наблюдается в интервале измерения d_2-d_3 по сравнению с d_2-d_1 (рис. 2, а). Это отличие составило 6,38 раза при соответствующих значениях: $d_1=9.52$, $d_2=0.77$, $d_3_{\text{окт}}=0,016$ мм, т.е в микронном диапазоне изменения d . Экстраполяция падающей ветви кривой $R_i=f(d)$ и возрастающей (кривая 1, рис. 2, а) в область наноразмерных структур нецелесообразно из-за возникающей неоднородности, хотя и в меньшей степени, по сравнению с относительно крупными микронными размерами частиц [1].

Таким образом, можно заключить, что создание объемных макротел со свойствами наноразмерных частиц мало вероятно, т.к. даже на микронном уровне, через который обязательно пройдет система при структурообразовании, появляется экстремум на зависимости прочности от размера слагающих частиц. Поэтому возможно создание только тонких пленок, порошков и др. кластеров размером в несколько атомов, молекул, полученных, например, биохимическим методом при разложении органического вещества торфа или другими методами химического восстановления. Получить наноструктурные элементы механическим путем проблематично без сопутствующих активационных процессов. Подобные частицы, например, могут использоваться в качестве добавки в композиционных материалах различного фазового состава (твердой, жидкой, газообразной) и назначения.

Температура и масштабный фактор в процессах структурообразования

Исследование влияния температура на механическую прочность кускового торфа является важным для развития физических представлений о природе структурообразования по-

ристых тел, для оценки ее роли в инженерных методах расчета, прогнозирования качества продукции при различных технологиях использования. Роль температурного фактора в процессах структурообразования влажных пористых систем значительно шире, чем та, которую отводят при изучении, например, кинетической природы прочности твердых тел [10]. Поэтому трактовку результатов исследования зависимости прочности образцов различного диаметра d_k от температура производят с учетом изменения соотношения капиллярных, молекулярных, водородных и др. сил, влияющих на термофлуктуационный механизм разрушения. Последний определяется, в основном, температурой материала.

Таким образом, с позиции механики сплошных сред основным свойством пористого тела является дефектность его структуры. Все дело в том, как управлять дефектностью (пористостью), при получении высококачественной продукции [6,9].

Из статистической теории прочности следует, что в больших по размеру образцах более вероятно наличие опасных дефектов или перенапряжений, чем в малых образцах. Следовательно, чем больше размер d_k (объем V_i) образца, тем меньше может быть его прочность, а особенно с повышением температуры. Эти особенности наблюдаются для полимеров, стекол, формованной продукции из торфа и др. материалов [6, 11]. При этом, физическая сущность протекающих процессов разрушения на наноразмерном уровне от диаметра тела не зависит. [1, 11]. С увеличением d_k влажных пористых тел изменяется только количественная сторона процесса, которая зависит от внешних и внутренних условий тепломассопереноса, не учитывающихся в статистических теориях прочности твердых тел.

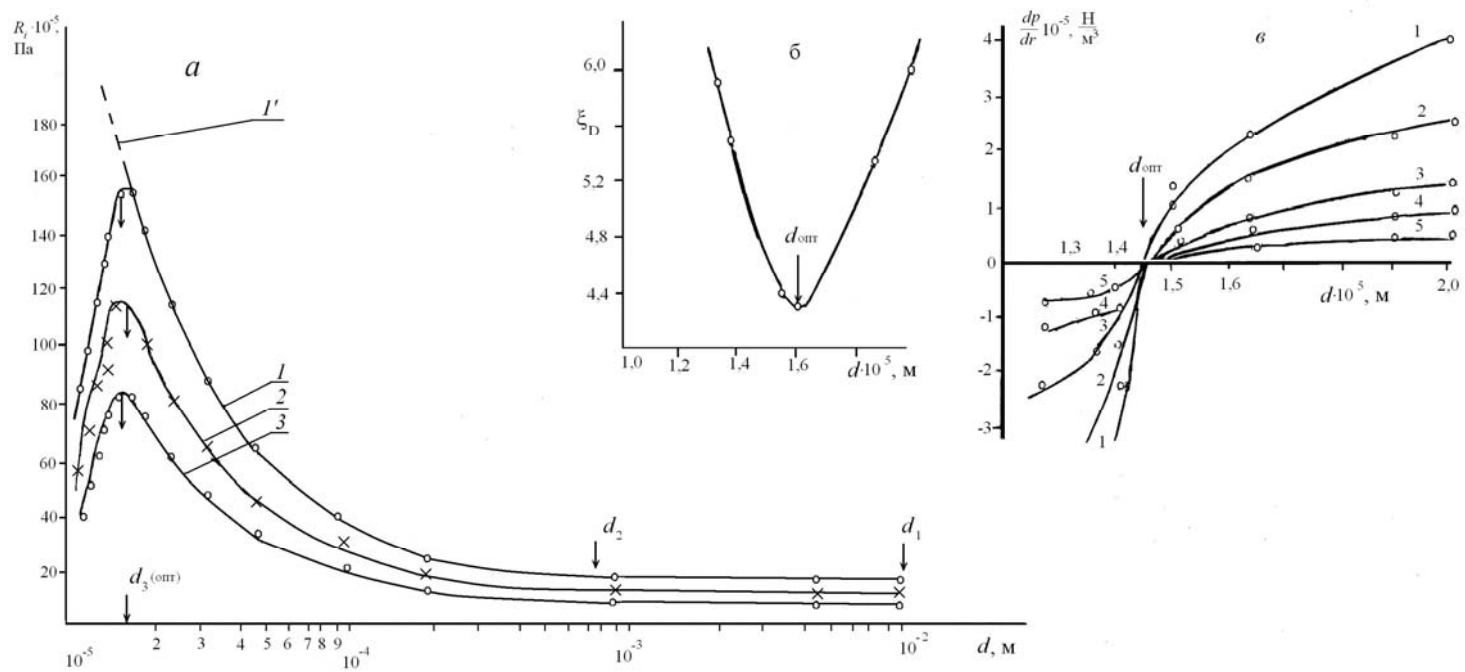


Рис. 2. Зависимость прочности на сжатие R_i (а), неоднородности пор ξ_D (б), градиента давления dp/dr (в) формованного магелланикум-торфа ($R_r = 25\%$, $W = 0,4$ кг/кг) от диаметра d частиц, слагающих кусок при различных температурах сушки: а) 1, $1'$ - $T = 295$, 2 - 313, 3 - 333 К; в) 1 - $T = 295$, 2 - 303, 3 - 313, 4 - 323, 5 - 333 К; $d_1 = 9,52$, $d_2 = 0,77$, $d_3 = 0,016$ мм (обработка данных [6])

Период структуро- образования 1	Влагосо- держание W, кг/кг	ε_d				
		d_n мм				
		60	40	30	20	15
1	2,2	1,79	1,48	1,3	1,21	1,06
2	1,0	2,22	1,60	1,38	1,25	1,18
2	0,5	2,67	1,90	1,63	1,40	1,30
2	0,2	4,73	3,18	2,20	1,67	1,54
2	0,0	10,00*	5,40*	3,33*	2,00*	1,64*

Примечание: получено экстраполяцией

Влияние температуры на образцы торфа разных d_k ранее также не рассматривалось.

Поэтому, представляет интерес оценить потенциальные значения T_0 для каждого из рассматриваемых диаметров d_k образцов, а также температуру T_w , способствующую понижению T_0 при различном влагосодержании W образцов и T_i – характеризующую внешние условия сушки и тепловое движение наноэлементов структуры.

Масштабный фактор оценивается коэффициентом ε_d масштабного эффекта [6.11]

$$\varepsilon_d = \frac{R_{od}}{R_i} \geq 1, \quad (4)$$

где R_{od} , R_i – соответственно максимальная (при $d_k \rightarrow 0$) и текущая прочность кускового торфа.

Исследованиями [6.11] установлено, что при сушке пушицево - сфагнового торфа степень разложения $R_T=30\%$ с начальным $d_n=15...60$ мм, увеличение степени дефектности структуры ε_d с ростом d_n и уменьшением W (табл. 1) происходит в большей степени во втором (W_c-W_k) периоде структурообразования ($W_c=1,1$ кг/кг – точка перегиба графика зависимости $\ln R_i=f(w)$, W_k – конечное влагосодержание.). Установлено, что снижение влагосодержания формирования W^* торфа будет тем больше, чем выше температура T_i , согласно зависимости [6]:

$$W_1^* T_1 \cdot \lambda_1 = W_2^* T_2 \lambda_2 = \dots = W_i^* T_i \lambda_i = T_0,$$

(5)

где $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$ – коэффициенты структурообразования, $\frac{1}{k_2(\theta)/k_2(c)}$;

$$T_0 = \frac{E_0}{R^*} = const, \quad E_0\text{-потенциальная}$$

энергия взаимодействия между наноэлементами структуры, Дж/моль; R^* – универсальная газовая постоянная, Дж/моль·К. Например, при $T_1=293K$,

$$\lambda_1 = 1,07 \frac{1}{k_2(\theta)/k_2(c)}, \quad W_1^* = 5,73 \text{ кг/кг, а}$$

$$\text{при } T_2=343K, \quad \lambda_2 = 1,07 \frac{1}{k_2(\theta)/k_2(c)},$$

$$W_2^* = 4,89 \text{ кг/кг.}$$

Рассматриваемые особенности изменения ε_d подтверждаются оценкой вероятности f_i отсутствия дефектов, значения которых оказались большими в первом ($i=1, f_1=0,19...0,32$ при $d_n=60...40$ мм при $W \approx 0$ кг/кг) по сравнению со вторым ($i=2, f_2=0.038...0.098$, при тех же d_n и W) периодом структурообразования для образцов меньших размеров [6].

Влияние температуры на прочность образцов разных начальных диаметров оценим из уравнения вида:

$$R_i = R_{OT} \exp\left(\frac{T_0 - T_w}{T_i}\right) = R_{OW} \exp\left(-\frac{T_w}{T_i}\right), \quad (6)$$

$$\text{где } R_{OW} = R_{OT} \exp\left(\frac{T_0}{T_i}\right), \quad (7)$$

- максимальная прочность образцов, Па;

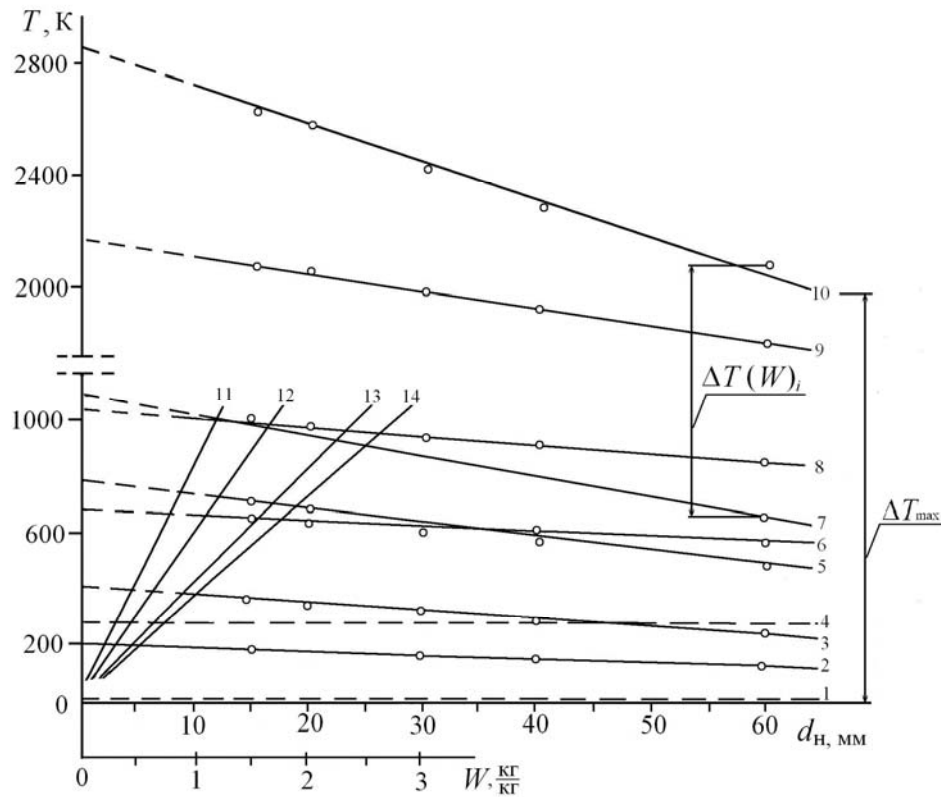


Рис. 3. Зависимость температуры T от начального диаметра d_n кусков (1-10) и влагосодержания (11-14) магелланикум-торфа $R_r = 25\%$, $\Delta T_{max} = T_0 - T_w$, К; T_0 (9-10), T_w (1-8); 1_2 ($W = 0,0$), 2_2 ($W = 0,2$), 3_2 ($0,4$), 4 - $T = T_i$ (см. формулу (4)); 5_2 ($W = 0,8$), 6_1 ($W = 1,5$), 7_2 ($W = 1,1$), 8_1 ($2,3$), 9 ($W = 0,0$), 10 ($W = 0,0$ кг/кг); **графики:** 1, 2, 3, 5, 7 - второй период, графики 6, 8 - первый период структурообразования; графики 12_2 , 14_1 (при $d_n = 60$ мм); 11_2 , 13_1 (при $d_n = 20$ мм)

$R_{от}$ - начальная прочность при $\Delta T(W) = T_0 - T_w \rightarrow 0$, т.е.

$$R_i = R_{от} \exp\left(\frac{\Delta T(W)}{T_i}\right), \quad (8)$$

Соотношения (6)-(8) получены из энергетической теории прочности твердых пористых тел [6,9], позволяющие оценить величины T_0 , T_w , T_i из уравнений

$$T_0 = \frac{E_0}{R^*} = T_i \cdot \ln \frac{R_{от}}{R_{от}}; \quad (9)$$

$$T_w = \frac{\alpha_i \cdot W}{R^*} = T_i \left[\left(\ln \frac{R_{от}}{R_{от}} \right) - 1 \right]. \quad (10)$$

Значение T_i задается режимом сушки.

Анализ уравнений (6), (7), (8) показывает, что прочность наноструктуры торфа зависит от перепада температуры $\Delta T(W)$, определяющего запасы потенциальной энергии системы, $\Delta T(W) \rightarrow T_0$ при $T_w \rightarrow 0$ и $W \rightarrow 0$, с уменьшением температуры T_i сушки.

При $W \rightarrow \max$, $T_W \rightarrow T_0$, $\Delta T(W) \rightarrow 0$. Следовательно, за прочность R_i отвечает температура T_W при $T_i = \text{const}$ (см. уравнение (6)). С уменьшением T_W R_i растет. Причем, T_W снижается с уменьшением W (рис. 3, графики 11-14), что следует из соотношения (10) при $(\alpha, R^*) = \text{const}$.

Расчеты выполнены для T_0 и T_W по уравнениям (9), (10) для магелланикум торфа $R_T = 25\%$ с начальным диаметром образцов $d_n = 15 \dots 60$ мм при $T_i = 293\text{K}$, $E_{od} = 15.3$ кДж/моль ($d_n = 60$ мм, $i=1$), $E_{od} = 17.53$ кДж/моль ($i=2$); $E_{od} = 16.2$ ($d_n = 40$ мм, $i=1$), $E_{od} = 19.04$ ($i=2$). Значения $E_0 = 23.7$ кДж/моль при $d_n \rightarrow 0$ (обработка данных [6]), характеризующие энергию водородных связей.

Из данных рис. 3 следует, что $T_0 = f(d_n)$ (графики 9,10) растет с уменьшением d_n для обоих периодов структурообразования ($i=1,2$). Причем, разность $\Delta T(W)$, определяющая, в конечном счете, прочность связей нанозаэментов структуры в макротеле, уменьшается с ростом W согласно формуле (8), т.к. $\Delta T(W)_i < \Delta T_{\max}$, несмотря на увеличение прочности с уменьшением размеров образцов.

Экстраполяция графика 10 на ось ординат T дает значение $T_0 = 2851\text{K}$, что позволяет по формуле (4) оценить теоретическую прочность макротела при известном значении $R_{ог} = 0.67 \cdot 10^4$ Па, определенной из формулы (7) для $R_{ов} = 55 \cdot 10^6$ Па при $d_n = 15$ мм, $T_i = 293\text{K}$. Прочность R_{Ti} составила $1133 \cdot 10^5$ Па, которая мало отличается от теоретической $1254 \cdot 10^5$ Па, полученной для магелланикум кускового торфа в [1] на основе другого подхода с использованием наноразмерных элементов структуры. Это обстоятельство свидетельствует о достоверности изложен-

ных результатов, раскрывающих также связи прочности макротела с перепадом $\Delta T(W)_i$ и T_W температурой разрыва наноразмерной структуры, приближающейся по величине (см. рис. 3, графики 5-8 при $W > 0$) к температуре горения торфа $T_r = 683 \dots \dots 873\text{K}$ [12]. В то время как стандартом по определению зольности в лабораторной пробе методом нагревания образец выдерживают в муфельной печи в течении 1 часа при $t = 800 \pm 25^\circ\text{C}$ ($T = 1073\text{K}$), при которой органика торфа превращается в золу. Причем, T_r зависит от влагосодержания, ботсостава, плотности и зольности торфа. По данным [12] энергия зажигания торфа определяется его ботсоставом. Скорость горения зависит от плотности γ_i и влагосодержания W . Так, незначительное увеличение влагосодержания ($W = 0 \dots 0.15$ кг/кг, $\omega = 0 \dots 13\%$) повышает скорость горения на 30%, за счет роста эффективного коэффициента теплопроводности. Дальнейший рост W приводит к повышению затрат тепла на испарение влаги и снижению скорости горения из-за уменьшения скорости подвода окислителя (воздуха), т.к в нейтральной среде, заполненной инертным газом, процесс возгорания не происходит.

В этой связи выбор технологии сжигания торфа сводится к выбору продукции (крошкообразная, формованная, гранулированная) и ее подготовки по размеру частиц, влагосодержанию, предельной T_0 , способу подвода окислителя и др. общеизвестных требований (тип и вид торфа, γ_i , ботсостав, зольность), определяющих элементный состав торфа и его теплоту сгорания.

Обобщая исследования [1] и выполненные разработки во 2-й статье можно заключить, что создание нанотехнологии органических материалов

(на основе торфа) представляет определенный физико-технологический процесс, определяющий получение материалов на основе торфа (сорбенты, различные порошки, тонкие пленки, продукцию для коммунально-бытовых и энергетических целей, сельскохозяйственное направление –

пастообразные и гранулированные удобрения, строительное производство – изоляционные и строительные материалы, связующие на основе клеящей способности наноразмерных частиц и др. ныне неизвестные материалы) с новыми физико-химическими свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев А.Е.* Наноструктура и ее влияние на физико-технологические свойства торфяных систем. // Торф и бизнес. 2008. № 1(11).
2. *Гусев А.И.* Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: Физматлит, 2005. 416с.
3. *Елецкий А.В.* Механические свойства углеродных наноструктур и материалов на их основе// Успехи физических наук/Обзор актуальных проблем, 2007.Т.177.№3. С.233-274.
4. *Справочник по торфу* (Под ред. А.В. Лазарева, С.С. Корчунова. М.: Недра, 1982. 760с.
5. *Теплоизоляционные блоки «Геокар» на основе местного сырья-торфа.* //Строительные материалы XXI века. ОАО «Бежецкий опытно – экспериментальный завод», Бежецк: 2007. 4с.
6. *Афанасьев А.Е.* Структурообразование коллоидных капиллярно-пористых тел при сушке. Монография. Тверь: ТГТУ, 2003, 189 с.
7. *Исследование торфов методом ЭПР в связи с процессами саморазогревания.* / И.И. Лиштван, С.А. Лучкина, Т.М. Григорьева, Б.Б. Боровков//Коллоид. журн., 1973. Т.35. №6. С. 1172-1174.
8. *Афанасьев А.Е., Пухова О.В.* Энергетическая характеристика прочности структуры торфа.//Технол. и компл. механ. торф. произ-ва. Сб. научн. тр. Вып.11/Под ред. А.Е. Афанасьева Тверь: ТГТУ, 2000. С.89-94.
9. *Афанасьев А.Е., Чураев Н.В.* Оптимизация процессов сушки т структурообразования в технологии торфяного производства. М.: Недра, 1992. 288с.
10. *Регель В.Р., Слудкий А.И., Томашевский Э.Е.* Кинетическая природа прочности твердых тел. М.: Недра, 1974. 560с.
11. *Афанасьев А.Е., Болтушкин А.Н.* Изучение структурообразования при сушке коллоидных капиллярно-пористых тел различных размеров.//Коллоидн. журн. 1982. Т.49.№6.С. 1043-1050.
12. *Экспериментальное исследование процессов зажигания и горения торфа.*/А.М.Гришин, А.Н. Голованов, Я.В. Суков, Ю.И. Прейс// ИФЖ.,2006.Т.79.№3. С. 137-142. **ТАБ**

Коротко об авторах

Афанасьев А.Е. – доктор технических наук, профессор,
Ефремов А.С. – студент,
Тверской государственной технической университет, common@tstu.tver.ru

