© А.Е. Афанасьев, Е.А. Демин, В.В. Туровская, 2007

УДК 66.040.262/.263:552.577

А.Е. Афанасьев, Е.А. Демин, В.В. Туровская

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ФОРМОВАННОГО ТОРФА

Семинар № 16

Торф, в своем естественном состоянии представляет многокомпонентную, гетерогенную систему, состоящую из растительных остатков, продуктов их разложения (гумуса) и минеральных включений.

Во влагонасыщенном состоянии дисперсная фаза торфа представлена углеводами, гуминовыми кислотами и их солями, восками, битумами, химический состав которых определяется растениями-торфообразователями. Твердые составляющие торфа представляют собой грубодисперсную (рас-тительные остатки), высокодисперсную (продукты разложения) фракции. Такой сложный и разнообразный состав твердых частиц торфа осложняет интерпретацию физических процессов, протекающих при его сушке.

Частицы торфа можно представить как «рыхлый» с неупорядоченной микроструктурой комплекс. Его молекулы, звенья макромолекул и функциональные группы находятся в движении (диффузное, колебательное, конформационное).

Процесс обезвоживания и усадки частиц торфа определяется размерами пор, изменяющимися в зависимости от внешних и внутренних условий тепломассопереноса. Поэтому в зависимости от того, как будет протекать процесс образования пространственных структур в неоднородных объемнонапряженных, подверженных сушке гетерогенных коллоидных каппилярнопористых телах (ККПТ), можно получить продукцию различного качесва.

Качество готовой кусковой, гранулированной и др. продукции из торфа определяется его физико-механи-ческими и водными свойствами: предельной прочностью структуры на сжатие (изгиб, растяжение), крошимо-стью, плотностью, влагосодержанием и т.д. Способы управления структурообразовательными процессами при сушке ККПТ сводятся как к физико-механическому воздействию на твердую, жидкую, газообразную фазы, так и в целом на всю трехфазную систему с переводом ее в двухфазное состояние.

Изменяя исходные характеристики торфа (размер частиц, дисперсность, условную удельную поверхность, размеры кусков торфа и т.д.) с последующим применением различных технологических схем сушки можно получать продукцию различного качества.

Одним из важных физико-механических свойств кускового торфа является его прочность. Прочность характеризует одно из практических свойств твердых тел. Она определяет способность этих тел сохранять це-лостность под действием внешних ме-ханических нагрузок. Оптимум прочностных характеристик торфа имеет место при определенной влажности. Положение максимума на кривых прочности торфа от его влагосодержания проявляется только при жестких условиях сушки, объясняется развитием неоднородного объем-

но-напряженного состояния и масштабным фактором системы при различном физическом механизме внутреннего тепло- и массопереноса в поверхностных и внутренних слоях формованной продукции из торфа. Следовательно, в таких природных системах необходимо учитывать не только силовые поля и их изменение в процессе сушки пористых тел, но также и физико-химические свойства дисперсионной среды.

Впервые связать физико-механи--ческие свойства торфа с его влагосодержанием удалось С.С. Корчунову. Он показал, что предельную прочность (R_i) структуры на растяжение кускового торфа, при мягких режимах сушки, определяют из эмпирического уравнения вида:

$$R_i = R_0 \exp(-\lambda W), \qquad (1)$$

где $\lambda = \dfrac{\rho \cdot \kappa_v}{c \cdot \gamma_o}$ - коэффициент упрочнения структуры, зависящий от плотности твердой фазы ρ, плотности сухого торфа во влажном состоянии γ_0, коэффициента усадки κ_v и уплотнения с, определяемого по компрессионной кривой. Теоретически это уравнение получено А.Е. Афанасьевым в [1].

Анализ этого уравнения показывает, что по полученной зависимости оценивается прочность торфа только для изотермических условий сушки. При этом остается невыясненным физический смысл коэффициента R_0.

Анализом процессов структурообразования и методами их оценки занимались многие ученые: Н.И. Гамаюнов, Н.В. Чураев, И.И. Лиштван, С.С. Корчунов, Е.П. Семенской, С.Г. Солопов и многие др. [1, 2]. Эти результаты показали, что нет единого подхода, устанавливающего взаимосвязь между структурообразованием, характеристиками ККПТ и процессами тепло- и массообмена.

Работы перечисленных ученых показали, что остаются не раскрытыми характеристики структурообразования в зависимости от температуры сушимой продукции. Этот вопрос рассмотрен в работах А.Е. Афанасьева, который создал энергетическую теорию структурообразования [1, 2]. В частности им показано, что зависимость прочности материала от влагосодержания и температуры выполняется из следующего соотношения:

$$R_i = R_{0T} \exp\left(\frac{E_0 - \alpha \cdot W}{R^* \cdot T}\right) = R_{OT} \exp\left(\frac{E(W)}{R^* \cdot T}\right) \qquad (2)$$

и связь коэффициентов $R_{от}$, E_0, ά с R_{ow} и λ:

$$К_{щц} = К_{от}\ учз(E_0 \,.\, К^* E)б \qquad (3)$$

$$\lambda = \frac{\alpha}{R^* \cdot T} = \frac{dE(W)}{dW} \cdot \frac{1}{R^* \cdot T}, \qquad (4)$$

где R_{OT} – начальная прочность структуры материала при энергии активации процесса разрушения $E(W)=E_0 - \alpha W=0$, т.е. когда потенциальная энергия взаимодействия, E_0 (Дж/моль), равна энергии разрушения α W (Дж/моль) системы; α - удельная энергия разрушения, $\dfrac{Дж}{моль \cdot \frac{кг(в)}{кг(с)}}$; W – влагосодержание торфа, кг(в) / кг(с); λ - коэффициент структурообразования, $\dfrac{1}{кг(в)/кг(с)}$, имеющий смысл относительной удельной энергии активации процесса разрушения (см. формулу (4)), что отличает его от трактовки С.С. Корчунова; R^*T – тепловая энергия системы, Дж/моль; R^* - универсальная газо-

вая постоянная, Дж/моль К; R_{0W} – максимальная прочность (на сжатие), Н/м^2, кусков при $W_i = 0$; Т – температура в К.

Анализ формул (2), (3), (4) показывает, что характеристики (R_{0W}, λ) = f(1/T), а коэффициент α пропорционален Т. Причем эти коэффициенты не зависят от влагосодержания, а R_i является функцией влагосодержания и температуры. Следовательно, чем больше W и Т, тем меньше прочность структуры кусков из-за уменьшения числа связей N, их прочности связи Р (вида связи): молекулярные связи Ван-дер-Ваальса или водородные Н-связи. Причем первые отвечают за первый, а вторые за второй период структурообразования, неодинаково проявляющихся в этих периодах из-за возникающих дефектов структуры (по А.Е. Афанасьеву [1, 2]). Согласно теории Дерягина Б.В., Нерпина С.В., Чураева Н.В. водородные связи исчезают в реальных пористых телах при Т > (338-343) К [3]. Это обстоятельство приводит к однопериодному процессу структурообразования и соответствующему изменению коэффициентов структурообразования: R_{0W}, λ, α, что ранее для торфяных систем не рассматривалось. Поэтому в работе приводится, именно, прочность структуры формованного торфа в зависимости от температуры и плотности сухой части торфа.

Методика проведения исследования

Формуются образцы мелкокускового торфа (тип: верховой, вид: пушицево-сфагновый, степень разложения R = 21 %) в специальном формующем устройстве. Образцы изготавливаются диаметром 40 мм длиной 50 мм из переработанной торфяной массы.

Сформованные образцы взвешиваются с точностью до 0,1 г, измеряют их диаметр и длину с точностью до 0,1 мм. Образцы укладывают на поддон для сушки. В процессе опыта образец торфа взвешивают и измеряют его геометрические размеры: диаметр (в трех сечениях); длину в наиболее характерных направлениях (2 замера). В каждом сечении диаметр измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Фиксируют температуру и относительную влажность воздуха.

Влагосодержание образца W_i (кг/кг) в процессе сушки определяют расчетным путем по формуле:

$$W_i = \frac{m_i}{m_c} - 1, \qquad (5)$$

где m_i – масса торфа в момент взвешивания, кг; m_c – масса абсолютно сухого вещества, кг.

Массу абсолютно сухого вещества определяют по формуле:

$$m_c = \frac{m_н}{1 + W_н}, \qquad (6)$$

где $m_н$ – масса куска торфа при начальном влагосодержании.

На основании экспериментальных данных строятся зависимости: кривые сушки, кривые скорости и интенсивности сушки.

Опыт проводится при конвективном (φ = 70 %, t = 20 ^{0}С) и радиационно-конвективном теплоподводе (φ = 55 %, t = 30,50,70 ^{0}С в сушильных шкафах). Прочность рассчитывалась по формуле:

$$Ri = \frac{f \cdot n}{S}, \qquad (7)$$

где S – площадь сечения куска; n – число делений индикатора; f = 6,71 Н/дел.

а) б)

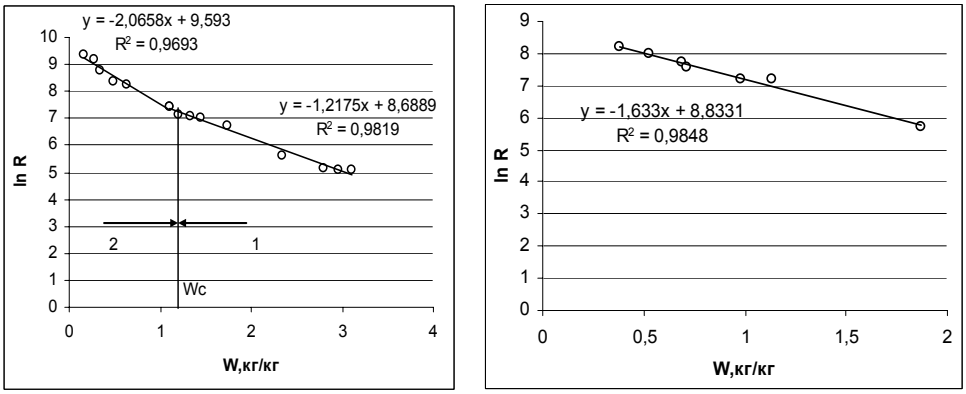

Рис. 1, а, б. Зависимость логарифма прочности от влагосодержания; 1,2 – периоды структурообразования. (T = 303 K (а), T = 343 K (б))

а) б)

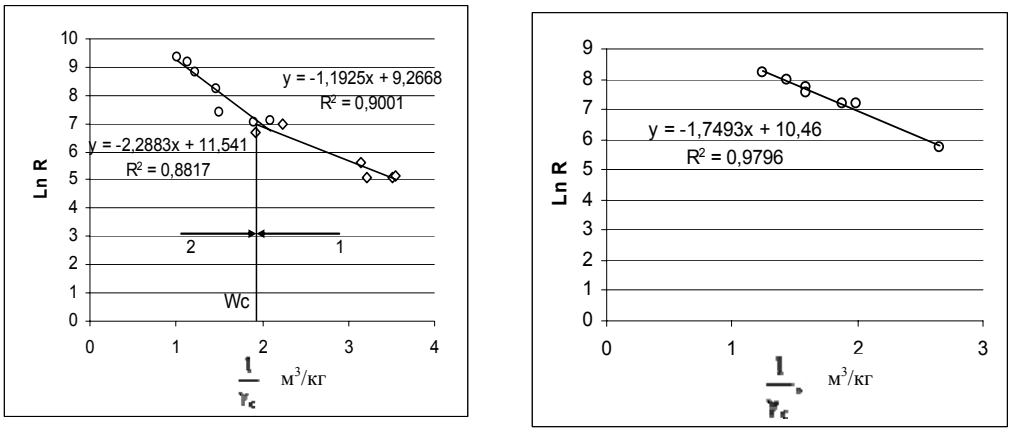

Рис. 2, а, б. Зависимость $R_i = f\left(\frac{1}{\gamma_c}\right)$ ***при T = 303 K (а) и T = 343K (б); 1,2 – периоды структурообразования***

Образцы торфа вырезались из средней части кусков длиной l = =1,5$d_н$. Относительная погрешность составила около 5 %.

Для установления взаимосвязи структурообразования и процесса сушки строят зависимости R_i = =f(T, W).

Анализ графиков подтверждает исследования [1, 2] с соответствующим периодом структурообразования: 1 – преобладают связи Ван-дер-Ваальса, 2 – проявляются водородные связи. Причем второй период вырождается с ростом T ≥ 343 K (рис. 1, *б*).

а) б)

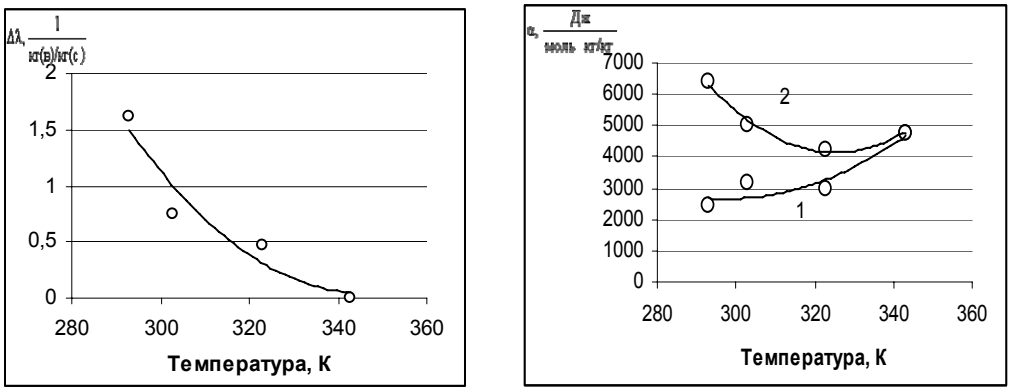

Рис. 3. Изменение Δλ= f (T) (а) и α = f (T) (б); 1 – α_1; 2 – α_2.

Вырождение второго периода следует из анализа графиков $R_i = f\left(\frac{1}{\gamma_c}\right)$, показанных на рис. 2, *а, б*.

С увеличением T точка перегиба несколько смещается в сторону W или $\frac{1}{\gamma_c}$. При этом коэффициенты структурообразования λ и α также зависят от T (рис. 3, *а, б*). При этом разность ($\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$) стремиться к нулю при T = 343 К, а коэффициенты α_1 и α_2 практически сходятся в одной точке ($T_к$ = 343 К). Эти обстоятельства подтверждают исследования [3] и показывают на изменение процесса структурообразования с ростом T.

Поэтому использование зависимостей (2) возможно и при более высоких T ($T > T_к$) с учетом однопериодного процесса структурообразования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев А.Е., Чураев Н.В.* Оптимизация процессов сушки и структурообразования в технологии торфяного производства. - М.: Недра, 1992. – 288 с.

2. *Афанасьев А.Е.* Структурообразование коллоидных и капиллярно-пористых тел при сушке: Монография. - Тверь: ТГТУ, 2003. – 189 с.

3. *Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Муклер В.М.* Поверхностные силы. – М.: Наука, 1985. – 398 с.

Коротко об авторах

Афанасьев А.Е., Демин Е.А., Туровская В.В. – Тверской ГТУ.