

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 622.331:622.271

ПРОЦЕССЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ КУСКОВОГО ТОРФА

А.В. КУПОРОВА, ст. препод.

Тверской государственный технический университет,
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: a-kuporova@inbox.ru

© Купорова А.В., 2022

В статье рассмотрены основные виды формованного твердого топлива из торфа, а именно кусковой торф и брикеты. Кусковой торф добывается в полевых условиях с использованием солнечной энергии для сушки, а торфяной брикет – на заводе с использованием искусственной сушки. Самопроизвольно протекающий процесс образования структуры в кусковом торфе энергетически выгоден. Он основан на усадочных деформациях при сушке, приводящих к уменьшению размеров образца торфа. При этом усиливаются межмолекулярные взаимодействия и возникают водородные связи между элементами структуры. В торфяном брикете межмолекулярное взаимодействие обеспечивается за счет первоначальных затрат энергии на прессование дробленого торфа. Изложены основные теории структурообразования, позволяющие объяснить сложный физико-химический механизм этих процессов: роль микро- и макроструктуры; энергетический подход; влияние плотности скелета торфяных систем и комплексная оценка влияния минеральных компонентов. Даны рекомендации по применению этих теорий в технологиях добычи биогенных материалов при управлении структурообразованием в торфяных и сапропелевых системах, а также их композициях с минеральными компонентами.

Ключевые слова: кусковой торф, торфяной брикет, формованное топливо, структурообразование, межмолекулярное взаимодействие, водородная связь.

DOI: 10.46573/2658-5030-2022-4-25-35

ВВЕДЕНИЕ

Кусковой торф представляет собой формованное твердое топливо, используемое в энергетике и коммунально-бытовом секторе. Он также является более качественным сырьем (по сравнению с фрезерным торфом) для термохимической переработки. Метод получения кускового торфа представляет собой экструзионное формование влажной (начальная влажность $w_n = 80...86\%$) пластичной торфяной массы с последующей сушкой до уборочной влажности ($w_{уб} = 35...45\%$) в полевых условиях [1, 2].

Технологический процесс производства кускового торфа включает в себя выполнение ряда операций: экскавации торфомассы из залежи при помощи ковшей

(одноковшового или многоковшового экскаватора) или фрез (дисковых или шнековых); механического диспергирования и перемешивания извлеченного торфа; формования кусков методом выдавливания через формующие насадки (экструзии); стилки кусков на поле сушки; сушки, предусматривающей выполнение двух или трех механических операций (ворочка) для интенсификации процесса удаления влаги; подготовки к уборке (формирования валков); уборки высушенного торфа; укладки готовой продукции в полевые штабеля, где он накапливается и хранится до реализации (штабелирование). В настоящее время кусковой торф добывается двумя основными способами: экскаваторным и фрезформовочным. Они реализуются в полевых условиях с естественной сушкой, т.е. при использовании солнечной энергии [1].

Искусственная сушка применяется в заводских условиях при производстве формованного твердого топлива более высокого качества [3]. К такому топливу относятся полубрикетты, брикетты, термобрикетты и пеллеты, получаемые под высоким давлением в брикетных (или пеллетных) прессах [4]. В качестве сырья в таких технологиях, как правило, используется фрезерный торф с влажностью ~35...45 %, который в специальных сушильных установках высушивается до влажности ~10...16 %.

Технологический процесс брикетирования и (или) пеллетирования торфа состоит из стадий накопления торфа в бункерах в количестве, достаточном для бесперебойной работы технологической линии; механической подготовки торфа (дробления и разделения по классам крупности); искусственной сушки торфа в сушилках различных типов (пневмопароводяной, паровой трубчатой, пневмогазовой и т.п.) [3]; прессования торфа; транспортирования торфяных брикеттов на склад; хранения торфяных брикеттов.

Брикетированное в заводских условиях твердое топливо имеет серьезный недостаток – большие затраты энергии на искусственную сушку и формование. В этой связи (при условии снижения зависимости от погодных факторов при производстве) кусковой торф может составить серьезную конкуренцию брикетированному топливу, или, что более вероятно, дополнять потребности регионов в местном топливе [5–7].

В торфяных брикетах прочность обеспечивается за счет межмолекулярных взаимодействий, возникающих между элементами структуры при больших давлениях (искусственном создании условий, при которых частицы сближаются до расстояний, на которых действуют силы Ван-дер-Ваальса и водородные связи).

В торфяных кусках происходит коагуляционное структурообразование в пластичной торфомассе. Оно представляет собой самопроизвольно протекающий процесс сцепления частиц (агрегатов, ассоциатов, макромолекул) при сушке и усадке [8, 9]. При этом возникают коагуляционные структуры. Они образуются за счет сцепления частиц ван-дер-ваальсовыми силами в пространственные сетки, представляющие собой рыхлые каркасы из элементов структуры. Первоначально при формовании пластичной торфомассы (диспергированный торф и вода) частицы контактируют между собой через тонкие прослойки дисперсионной среды (воды). В дальнейшем при сушке и усадке частицы сближаются друг с другом, преодолевают энергетический барьер и попадают в зону действия ван-дер-ваальсовых сил. В торфе также могут действовать электростатические силы отталкивания, которые возникают из-за наличия (или образования) двойного адсорбционного слоя. Для их преодоления также необходима энергия, возникающая в процессе усадки. В формованной торфомассе при сушке создаются основные условия для возникновения усадочных процессов: «структурирующая» роль воды и отсутствие «жесткой» структуры материала [10].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Фундаментальные исследования по изучению сложного механизма процессов структурообразования в торфяных и сапропелевых системах проводились с начала 60-х годов XX века научной школой И.И. Лиштвана [11–13]. В них были выделены понятия макро- и микроструктурного уровня системы. Микроструктура состоит из связанных между собой высокодисперсных частиц – ассоциатов и агрегатов, образованных из продуктов биохимического распада растительной биомассы болот. Ассоциаты образуются из макромолекул посредством химических, молекулярных и водородных связей. Они имеют гелеобразную структуру и зависят от степени биохимической деструкции биомассы, а также количественного и качественного состава обменных катионов. Агрегаты образуются из объединений ассоциатов макромолекул. Агрегаты органического вещества торфа крайне неустойчивы. На их размер и особенности упаковки оказывают влияние влажность (особенно в конкретных локальных зонах), концентрация сухого вещества в объеме влажного материала (плотность скелета γ_0), наличие обменных катионов и других факторов. При этом макроструктура представлена грубодисперсной частью органического вещества торфа. Ее основу составляют неразложившиеся остатки растений-торфообразователей, доступные для идентификации отдельные клетки и их объединения [19].

Количественное и качественное соотношение макро- и микроструктур является определяющим в основных свойствах коагуляционных торфяных систем. И.И. Лиштван также при определении макроструктуры для объяснения особенностей структурообразовательных процессов ввел понятие «структура переплетения» [11]. Они, с одной стороны, придают торфяным системам упругость (например, при формировании кускового торфа), но, с другой стороны, при критических деформациях необратимо разрушаются. Микроструктурные элементы (комбинации макромолекул) обеспечивают высокую эластичность торфяных систем.

Типичным представителем структур переплетения является кусковой торф, получаемый резным способом. Он представляет собой, по сути, часть естественной, механически непереработанной торфяной залежи со своей структурой, поэтому в нем деформационные явления при сушке проявляются достаточно слабо (в отличие от традиционного кускового торфа) [19, 20]. В кусковом торфе преобладают малодеформируемые и нетиксотропные структуры переплетения волокон от слабообразившейся болотной флоры. Коагуляционные же структуры, состоящие из агрегатов, для резного торфа имеют второстепенное значение. По мере механического диспергирования торфомассы, увлажнения и (или) внесения модифицирующих компонентов торфяная система переходит в жидкообразное состояние. В этом состоянии роль коагуляционных структур становится преобладающей. При удалении влаги (сушке) из формованного торфа в нем начинает увеличиваться количество фазовых контактов, и торфяная система из жидкообразного постепенно переходит в твердообразное условно-пластичное состояние [11–13]. Таким образом, при влажности $w = 75...83\%$, соответствующей нижней границе пластичности, торфяные системы из твердообразного состояния переходят в полутвердое, а затем в упругохрупкое с открытой пористостью. Дискуссионным в исследованиях И.И. Лиштвана является роль химических связей в обеспечении структурообразования при сушке вязкопластичных торфяных систем. По всей вероятности, они не оказывают на структурную прочность серьезного влияния, что следует из дальнейших работ по определению прочностных показателей торфяных коллоидных капиллярно-пористых тел.

В этой связи показательными являются результаты исследований научной школы А.Е. Афанасьева. В них была предпринята попытка систематизации знаний о

преобразованиях дисперсной структуры торфяных систем в процессе сушки [8, 9]. Основная роль в образовании структуры и, соответственно, обеспечении прочности отводится межмолекулярным водородным взаимодействиям. В исследованиях в первую очередь проводился анализ влияния содержания влаги в системе [15], температуры [14, 15], капиллярного давления [14], масштабного фактора [8, 9, 14], числа связей, прочности единичного контакта на протекание структурных изменений в торфяных капиллярно-пористых телах. В результате было установлено и научно обосновано наличие двух периодов в формировании структуры при удалении влаги из вязкопластичных торфяных систем в диапазоне от формовочной до равновесной влажности. Система осуществляет переход из жидкообразного состояния в твердообразное условно-пластичное в первом периоде структурообразования. Во втором же наблюдается временная стабилизация коагуляционной структуры, и система переходит из вязкопластичного в твердообразное состояние.

В качестве физического обоснования существования двух периодов структурообразования А.Е. Афанасьев представил результаты, в которых первый период объясняется преобладающим действием между структурными элементами связей Ван-дер-Ваальса, а второй – действием межмолекулярных водородных связей, которые обладают более высокой энергией связи. Такой подход позволил объяснить увеличение интенсивности роста прочности формованного кускового торфа во втором периоде структурообразования.

Зависимость прочности цилиндрических образцов торфа на одноосное сжатие от влагосодержания W и температуры T (по А.Е. Афанасьеву) определяется из соотношения [14, 15]

$$R = R_{0T} \exp\left(\frac{E_0 - \alpha W}{R^* T}\right), \quad (1)$$

где R_{0T} – исходная прочность торфа, когда влагосодержание при данной температуре снижает энергию активации процесса разрушения до нуля, Па; E_0 – максимальная величина энергии активации при влагосодержании $W = 0$, Дж/моль; α – удельная энергия активации процесса разрушения, Дж/моль; R^* – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура, К.

В дальнейшем при расчете энергии активации процесса разрушения E в коллоидных капиллярно-пористых торфяных системах была определена энергия связей, обеспечивающих прочность торфа в первом и втором периодах структурообразования (от 9,9 до 16,2 кДж/моль) [8, 9, 14, 15].

В следующих исследованиях по данному направлению в начале XXI века А.Е. Афанасьев и О.С. Мисников [10] сделали акцент на том, что торфяная система в состоянии полной влагоемкости находится в переувлажненном гетерогенном полидисперсном состоянии. Это граничное состояние является начальным с точки зрения осуществления процесса обезвоживания (сушки), который (в зависимости от вида конечной продукции (полуфабриката)) может осуществляться до конкретных величин конечной влажности ($w \approx 20...45\%$), минимальное значение которой равняется нулю. Согласно классификации М.П. Воларовича и Н.В. Чураева, в торфяных системах существуют четыре категории связи влаги с материалом с градацией по энергии связи: химически, физико-химически, осмотически и механически связанная. После удаления определенной категории влаги высвобождающаяся энергия направляется на межструктурные взаимодействия в торфяной системе, которые приводят к ее упрочнению, т.е. для нее при обезвоживании характерны закономерности поведения гетерогенной коллоидно-дисперсной системы с одновременным проявлением реологических свойств высокомолекулярных соединений [10, 16]. Таким

образом, в зависимости от содержания влаги система находится сначала в текучем (гидромасса), а затем пластичном (торф-сырец), полутвердом и твердом состояниях. Этим состояниям соответствуют определенные параметры структуры с реологическими (η_0 – пластическая вязкость, Θ – предельное напряжение сдвига) и прочностными характеристиками материала (R – прочность на одноосное сжатие или изгиб).

Торфяная система может находиться в одной из четырех основных областей («a», «b», «c», «d»), в которой рассматривается особенность процесса структурообразования и выделяются конкретные обобщенные характеристики [16]. Области «a», «b» характеризуются пластической вязкостью (уравнение Шведова – Бингама) и предельным сопротивлением сдвигу, а области «c», «d» – разрушающей нагрузкой.

Дальнейшее развитие такого подхода во всем диапазоне влажностей позволило установить пропорциональность связи между Θ и R :

$$R = K\Theta = R_{0T} \exp\left(\frac{E_0 - \alpha W}{R^*T}\right) = R_{0W} \exp\left(-\frac{\alpha W}{R^*T}\right) = R_{0W} \exp(-\lambda W), \quad (2)$$

где $K = \frac{dR}{d\Theta}$ – угловой коэффициент зависимости $R = f(\Theta_i)$, характеризующий увеличение прочности при сушке торфа и изменении предельного сопротивления сдвигу на единицу; R_{0W} – конечная прочность торфа, когда влагосодержание равно нулю, Па; λ – коэффициент структурообразования.

В результате А.Е. Афанасьевым была разработана модель

$$\Theta_i = \Theta_{0W} \exp(-\lambda_{\Theta} W) = \Theta_{0T} \exp\left(\frac{E_0 - \alpha_{\Theta} W_i}{R^*T}\right), \quad (3)$$

которая адекватно описывает процесс при сушке в «мягком» режиме и позволяет оценить основные характеристики структурообразования, равно как и энергию межмолекулярного взаимодействия $E(W)_{\Theta} = E_0 - \alpha_{\Theta} W_i$. Для этого нужно измерить предельное напряжение сдвига при конкретных влагосодержании (влажности) и температуре. Далее необходимо определить состояние материала (течение, пластичное, полутвердое и твердое), т.е. упорядочить периоды структурообразования с представлением их в полулогарифмических координатах $\ln\theta_i = f(W)$ с четырьмя периодами структурообразования. Таким образом, предлагаемая методика отличается достаточно большой трудоемкостью и сложностью, а также требует применения высокоточного аналитического оборудования.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работах С.Н. Гамаюнова и Н.И. Гамаюнова [17, 18], которые проводились примерно в то же время, развивался принципиально другой подход, основанный на анализе зависимости прочности на одноосное сжатие от плотности сухого материала в объеме влажного образца (плотность скелета торфяной системы). В нем торфяное коллоидно-капиллярное пористое тело представляется как совокупность монодисперсных (модельных) частиц. Они связаны между собой силами, не равными в направлении осей координат (коагуляция). Сила разрушения межчастичных связей, направленная по нормали к плоскости скалывания, будет находиться в пропорциональной зависимости от произведения вероятностей разрыва этих связей в направлении осей координат:

$$R \sim (\alpha_x f_x \chi_x)(\alpha_y f_y \chi_y)(\alpha_z f_z \chi_z), \quad (4)$$

где α_i – постоянные, зависящие от вида упаковки частиц; f_i – энергия связи одного контакта; χ_i – количество контактов в направлении конкретной оси координат ($i = x, y, z$).

Допуская для изотропного материала в направлении осей координат равенство величин, входящих в уравнение (4), делаем вывод, что

$$R \sim (\alpha f \chi)^3. \quad (5)$$

Если сумма единичных контактов, отнесенная к единице поверхности разрушения, зависит от количества частиц, которое пропорционально массе сухого вещества в единице объема влажного материала (плотности скелета γ_0), то и прочность пропорциональна этой плотности $R \sim \gamma_0^3$ или $R^{1/3} \sim \gamma_0$. В окончательном виде

$$R^{1/3} = a\gamma_0 + b, \quad (6)$$

где a и b – коэффициенты, определяемые эмпирическим путем.

Характерно, что зависимость (6) не проходит через начало координат (рис. 1), а пересекает ось абсцисс в точке, соответствующей плотности скелета торфа $\gamma_{0п}$ при его полной влагоемкости W_p . Ниже этой плотности прочность R будет иметь отрицательные значения. При условии $\gamma_0 < \gamma_{0п}$ быстро сокращаются взаимодействия между отдельными структурными элементами, а торфяная система переходит в состояние суспензии. Естественно, при этом происходит разрушение образовавшейся ранее коагуляционной структуры материала. Происходит своего рода «растворение» ассоциатов торфа в воде. Максимальное значение оно будет иметь при плотности скелета, стремящейся к нулю ($\gamma_0 \rightarrow 0$). При этом коллоидным раствором это назвать нельзя, поскольку в системе будут присутствовать включения органического вещества торфа с размерами, которые больше, чем диаметр коллоидных частиц.

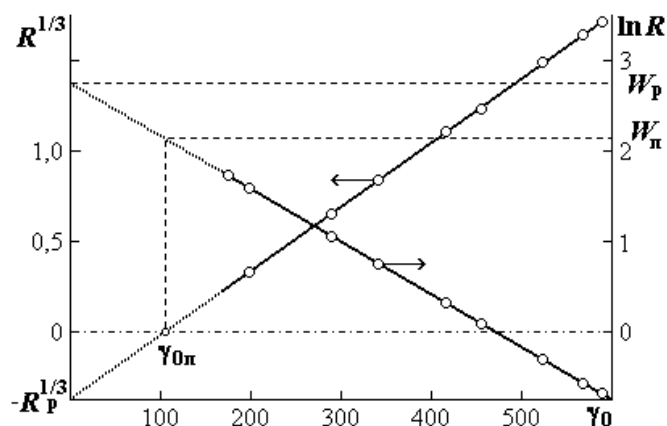


Рис. 1. Зависимости изменения прочности R , МПа, и влагосодержания W от плотности скелета γ_0 , кг/м³, кускового торфа (по С.Н. Гамаюнову)

Между элементами структуры торфа практически полностью отсутствует межмолекулярное взаимодействие. По данным источников [17, 18], численные значения свободной энергии при «растворении» торфа будут находиться в диапазоне 0,3...2,5 кДж/кг. Эти значения соответствуют пределам теплот растворения, характерным для высокомолекулярных материалов.

Таким образом, если влагосодержание торфяной системы ниже, чем состояние полной влагоемкости, в ней начинают образовываться структурные связи, которые приводят к повышению прочности: чем ниже влажность, тем выше прочностные

показатели. Они оцениваются по предельному сопротивлению сдвига и прочности на изгиб и (или) одноосное сжатие.

Более удобно для понимания и дальнейших расчетов записать уравнение (6) в виде

$$R^{1/3} = \eta(\gamma_0 - \gamma_{0п}), \quad (7)$$

где $\eta = \Delta(R^{1/3}) / \Delta\gamma_0$ – угловой коэффициент в линейной зависимости $R^{1/3} = f(\gamma_0)$.

Важным выводом в данных исследованиях явилось то, что угловые коэффициенты η зависимости (7) оставались постоянными для кусков торфа с различными исходными размерами (рис. 2). По крайней мере, это относится к промышленно выпускаемой формованной продукции и ее перспективным видам, сделанным на основе торфа (начальные диаметры $d_n = 14, 20, 30, 40, 60$ мм и длина $l_n = 1,5d_n$).

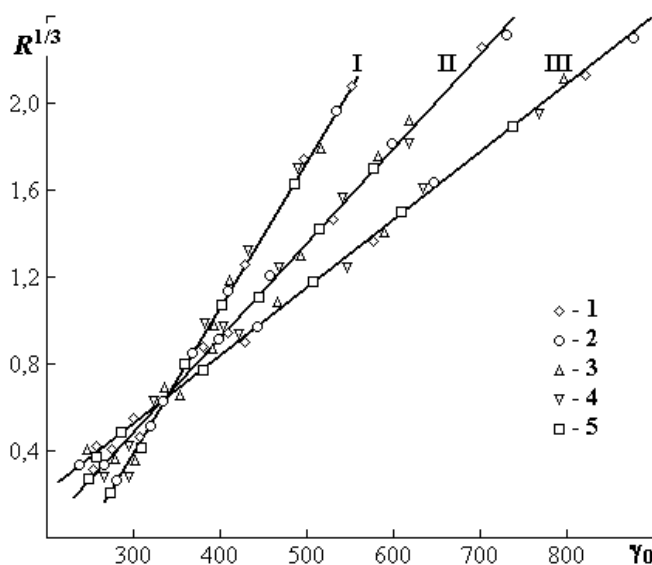


Рис. 2. Изменение прочности R , МПа, кусков из верхового (I), переходного (II), низинного (III) торфа со степенью разложения 20 % от плотности скелета γ_0 , кг/м³, с различным начальным диаметром d_n : 14 (1), 20 (2), 30 (3), 40 (4), 60 (5) мм (по С.Н. Гамаюнову)

Таким образом, текущему значению прочности структурированной торфяной системы во влажностном состоянии ниже полной влагоемкости соответствует конкретная плотность скелета. При дальнейшем уменьшении влажности γ_0 увеличивается и растет число частиц торфа в единице объема образца. При этом одновременно возрастает число контактов и энергия (количественно и качественно) взаимодействия между ними. Здесь имеется в виду количественный рост энергии связи сил Ван-дер-Ваальса, которая обратно пропорциональна расстоянию в шестой степени между центрами молекул и качественному изменению вида связей, обеспечивающих структурообразование в системе (водородные взаимодействия). Естественно, что для разрушения таких связей нужно затрачивать большую энергию. При определении величины прочности учитывается влияние масштабного фактора, поэтому размер образцов не влияет на величину угла наклона графиков, а зависит только от энергии взаимодействия между частицами торфа.

Кроме всего прочего, связность макро- и микроскопических структур торфяной системы (при схожести ряда природных факторов) предопределяется и индивидуальными особенностями растений-торфообразователей, а также групповым химическим составом органического вещества и минеральных компонентов (в основном привнесного характера), присутствующих в торфе.

В то же время при критическом увеличении содержания минеральных компонентов зависимость кубического корня из прочности от плотности скелета будет отклоняться от линейного характера. Это отклонение тем больше, чем выше зольность материала, что, например, характерно для сапропелевых систем [21].

Комплексная оценка влияния минеральных компонентов на структурообразование в органоминеральных биогенных материалах (торфе, торфяных композициях, сапропеле и т.п.) была выполнена в ряде работ под руководством О.С. Мисникова [10, 19, 21]. Основываясь на том, что содержание минеральных примесей в органоминеральных отложениях составляет до 70 % по отношению к общему количеству зольных компонентов, а также на том, что они представляют собой слабосвязанные с органической частью минеральные вещества, которые легко отделяются простейшими физическими методами, ученые выдвинули гипотезу о том, что минеральная составляющая не оказывает существенного влияния на структурообразование органоминеральных систем. Причем это относится как к естественным, так и к искусственно создаваемым композиционным материалам. Фундаментальным свойством органических (торфа, органического сапропеля) и минеральных глинистых материалов является то, что потенциал влаги (энергия, которую необходимо затратить для перевода единицы массы воды из связанного в свободное состояние) в первых примерно на два порядка выше, чем во вторых. Такая же закономерность соблюдается и при оценке величины полной влагоемкости: W_p в глине составляет около 0,5 кг/кг, органическом сапропеле – примерно 12 кг/кг, торфе – от 10 до 30 кг/кг (в зависимости от природных и технологических факторов).

На основе вышеуказанного был сделан вывод о том, что подавляющая часть всей находящейся в системе массы воды в органоминеральных материалах связана с органическим веществом. В результате этого энергия, затрачиваемая на структурные изменения в системе, зависит от количества функциональных групп OH , $COOH$ и других, обуславливающих наличие большого количества водородных связей в системе. Это, в принципе, не противоречит данным И.И. Лиштвана, Н.И. Гамаюнова, А.Е. Афанасьева, С.Н. Гамаюнова, но позволяет обосновать резкое (скачкообразное) увеличение энергии активации процесса разрушения системы «торф – вода» в точке (области), соответствующей влажности органического вещества 50 % [10] (влагосодержание органического вещества $W_o = 1$ кг/кг). Ранее в работах А.Е. Афанасьева изменение (увеличение) энергии активации процесса разрушения коллоидных капиллярно-пористых тел в зависимости от влагосодержания описывалось линейной моделью.

Для природных органоминеральных систем (сапропелей) в отличие от торфа из-за большего диапазона содержания минеральных компонентов (0...85 %) приращение энергии активации процесса разрушения ΔE более заметно для органических сапропелей. Например, в работе [14] для органического сапропеля ΔE достигла 4,2 кДж/моль. Это несколько меньше, чем расчетное максимально возможное ΔE (8 кДж/моль). Увеличение зольности сапропелей приводит к уменьшению ΔE и

смещению границы перехода от первого ко второму периоду структурообразования в область более низких влагосодержаний ($W_c \rightarrow 0$), т.е. с ростом зольности системы при формировании структуры происходит изменение функций наполнителя и матрицы. Однако в то же время для сапропелей значения E были, как и в торфе, сопоставимы с энергией межмолекулярных водородных связей. Таким образом, при обезвоживании системы до значения W_c значение энергии активации процесса разрушения сопоставимо с энергией межмолекулярных взаимодействий Ван-дер-Ваальса, а при меньших W_c – с энергией межмолекулярных водородных взаимодействий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные выше принципы и подходы позволяют осуществлять управление структурообразованием в торфяных и родственных с ними сапропелевых системах, а также их композициях с биомассой минеральными компонентами. В отношении формованного твердого топлива в виде кускового торфа наиболее целесообразно использовать физический механизм формирования структуры А.Е. Афанасьева и И.И. Лиштвана. Для резного торфа, объемы производства которого в последние 10 лет имеют стойкую тенденцию к росту, рекомендуется применять учение о микро- и макроструктурах И.И. Лиштвана. Прикладные аспекты, связанные с прогнозированием прочности формованного торфа из сырья различного типового и видового состава, разработаны С.Н. Гамаюновым. Например, в лабораторных условиях достаточно провести серию экспериментов по определению прочности на одноосное сжатие при сушке формованных образцов торфа, и можно сразу (по углу наклона зависимости $R^{1/3} = f(\gamma_0)$) выдать рекомендации по эффективности применения того или иного сырья для получения формованного твердого топлива. Для получения структур более высокого уровня прочности (например, строительных материалов на основе органических вяжущих и наполнителей, составов для борьбы с гололедицей) необходимо физико-химическое обоснование И.И. Лиштвана, А.Е. Афанасьева, Н.И. Гамаюнова. Наконец, если в системе используются минеральные глинистые компоненты (природные каталитические системы, минеральные сорбенты, органо-глинистые комплексы и т.п.), рекомендуется применять комплексную оценку их воздействия на структурообразование композиционных органоминеральных биогенных материалов. В этом случае определяемая величина скачкообразного увеличения энергии активации процесса разрушения может служить своеобразным параметром чувствительности системы к структурным преобразованиям. Этот тезис справедлив как для положительных, так и для отрицательных величин ΔE [10].

ЛИТЕРАТУРА

1. Панов В.В., Мисников О.С., Купорова А.В. Проблемы и перспективы развития торфяного производства в Российской Федерации // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2017. № 5. С. 105–117.
2. Кремчеев Э.А., Михайлов А.В., Афанасьев А.Е. К вопросу оценки интенсивности удаления влаги при полевом обогащении торфа // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 1. С. 255.
3. Горячев В.И., Зюзин Б.Ф., Михеев И.И., Казичев И.Н. Технологический комплекс производства кускового топливного торфа с комбинированной сушкой // *Труды Инсторфа*. 2016. № 13 (66). С. 28–32.
4. Михайлов А.В., Большунов А.В., Кремчеев Э.А., Епифанцев К.В. Требования к торфяному сырью для производства окускованного топлива // *Горный*

информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № 4. С. 59–63.

5. Афанасьев А.Е., Демин Е.А., Туровская В.В. Влияние температуры на структурообразование формованного торфа // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2007. № 3. С. 249–253.

6. Яблонев А.Л., Мисников О.С., Гусева А.М. Обоснование рациональных параметров и режимов работы перерабатывающего и формующего пресса машин для добычи кускового торфа // *Горный журнал*. 2021. № 8. С. 51–56.

7. Яблонев А.Л., Гусева А.М. Определение энергоемкости процесса формования кускового торфа // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки*. 2019. № 1 (1). С. 36–45.

8. Зюзин Б.Ф., Фомин Д.С. О влиянии физико-механических свойств исходного торфа на процесс механического диспергирования // *Труды Инсторфа*. 2013. № 7 (60). С. 49–52.

9. Афанасьев А.Е., Гамаюнов С.Н., Мисников О.С. Структурообразование при сушке сапропелей различной зольности // *Коллоидный журнал*. 1999. Т. 61. № 3. С. 303–308.

10. Афанасьев А.Е., Мисников О.С. Оценка структурных характеристик при сушке формованных органических и органоминеральных биогенных материалов // *Теоретические основы химической технологии*. 2003. Т. 37. № 6. С. 620–628.

11. Лиштван И.И. Современные представления о некоторых физико-химических свойствах торфа // *Химия твердого топлива*. 1977. Т. 11. № 3. С. 35–39.

12. Абрамец А.М., Лиштван И.И., Чураев Н.В. Использование макромолекулярных соединений для контроля внутреннего массопереноса в гранулированном материале // *Журнал инженерной физики*. 1982. Т. 43. № 6. С. 1389–1394.

13. Лиштван И.И. Проблемы теплопереноса и строения в легкодеформируемых природных дисперсных системах // *Журнал инженерной физики и теплофизики*. 1993. Т. 64. № 6. С. 606–614.

14. Афанасьев А.Е., Болтушкин А.Н. Изучение структурообразования при сушке коллоидных капиллярно-пористых тел различных размеров // *Коллоидный журнал*. 1987. Т. 49. № 6. С. 1043.

15. Афанасьев А.Е. Максимальная прочность формованной продукции из торфа // *Горный журнал*. 1991. № 1. С. 13.

16. Афанасьев А.Е., Ефремов А.С. Взаимосвязь структурообразования с плотностью жидкости капиллярно-пористых тел при сушке // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2010. № 7. С. 307–314.

17. Гамаюнов Н.И., Гамаюнов С.Н. Массоперенос в торфах // *Почвоведение*. 2005. № 3. С. 337–344.

18. Гамаюнов Н.И., Гамаюнов С.Н. Теплоперенос в открытых системах. Тверь: ТГТУ. 2009. 255 с.

19. Мисников О.С. Изменения водно-физических свойств торфа и торфяных залежей при техногенном воздействии // *Техника и технология горного дела*. 2019. № 2 (5). С. 19–32.

20. Мисников О.С., Тимофеев А.Е., Пухова О.В. Получение формованных сорбционных материалов на основе торфоминеральных композиций // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2014. № 4. С. 2–13.

21. Афанасьев А.Е., Гамаюнов С.Н., Мисников О.С., Пухова О.В. Физические процессы в технологии торфяного и сапропелевого производства // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 1999. № 3. С. 146–149.

Для цитирования: Купорова А.В. Процессы структурообразования в технологии добычи кускового торфа // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2022. № 4 (16). С. 25–35.

STRUCTURING PROCESSES IN LUMP PEAT PRODUCTION TECHNOLOGY

A.V. KUPOROVA, Senior Lecturer

Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver,
Russian Federation, e-mail: a-kuporova@inbox.ru

The lump peat and peat briquettes are the main types of molded solid peat fuel. The lump peat is mined in the field using solar energy for drying, and peat briquette is produced at the plant using artificial drying. The spontaneous process of forming a structure in lump peat is energetically beneficial. It is based on shrinkage deformations during drying, leading to a decrease in the size of the peat sample. At the same time, intermolecular interactions are strengthened and hydrogen bonds arise between the elements of the structure. In peat briquette intermolecular interaction is provided due to initial energy consumption for crushed peat pressing. The article discusses the main theories of structure formation, which make it possible to explain the complex physicochemical mechanism of these processes: the role of micro- and macrostructure; an energy approach; impact of the skeleton density of peat systems and a comprehensive assessment of the impact of mineral components. Recommendations are given on the application of these theories in technologies for the extraction of biogenic materials in the management of structure formation in peat and spropel systems, as well as their compositions with mineral components.

Keywords: lump peat, peat briquette, molded fuel, structure formation, intermolecular interaction, hydrogen bond.

Поступила в редакцию/received: 07.07.2022; после рецензирования/revised: 09.08.2022;
принята/accepted: 02.09.2022

УДК 622.23.05:622.7

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ (НА ПРИМЕРЕ МАШИНЫ ДЛЯ ДОБЫЧИ КУСКОВОГО ТОРФА МТК-16)

К.В. ФОМИН, д-р техн. наук

Тверской государственный технический университет,
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: fomin_tver@mail.ru

© Фомин К.В., 2022

В процессе эксплуатации на режцы рабочих органов торфяных фрезерующих агрегатов действуют значительные нагрузки, что приводит к их деформации или разрушению. В связи с этим растут затраты мощности, нарушаются технологические требования к получаемой продукции, снижаются производительность и надежность