

требованиям. При этом содержание кокса в смеси не должно превышать 30 %. На основании результатов изменения коэффициента уплотнения смеси от содержания кокса установлено, что при использовании прессового оборудования для получения торфяного брикета необходимо в конструкцию прессов внести изменения с целью уменьшения длины камеры прессования и хода штемпеля.

Литература

1. Кислов Н.В., Цыбуленко П.В. Перспективы использования отходов литейного производства коксовой мелочи. / В кн. Процессы и средства добычи и переработки полезных ископаемых.- Мн. БНТУ, 2012, с.17-20.
2. Справочник по торфу. Под ред. Лазарева А.В. и Корчунова С.С. М., Недра, 1982, 753с.
3. Мокршанский Б.В. Халуга А.К. Процесс брикетирования торфяной сушенки в штемпельном прессе с открытой матрицей (опытные данные). М., Гипротопиром, 1957, 203с.

УДК 622.83.023.4:624.121

ИНВАРИАНТЫ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ ГРУНТОВ

Зюзин Б.Ф., Миронов В.А.

Тверской государственной технической университет, Россия

Авторы предлагают свой оригинальный метод выбора обобщенных инвариантов предельных состояний [2, 3]. Формирование положений общей теории предельных состояний являются этапом развития синтетической теории прочности, предложенной академиком РАН Е.И. Шемякиным [4].

В последнее время в научные исследования все шире внедряются соображения и методы, использующие свойства инвариантности математических и физических закономерностей относительно выбора для употребляемых характеристик явлений, единиц измерения и физических масштабов явлений. По утверждению академика Л.И. Седова, «можно говорить о некоторой аналогии между теорией размерности и подобия и геометрической теорией инвариантов относительно преобразований координат - фундаментальной теории для современной математики и физики» [3].

Методы теории размерности и подобия играют особенно большую роль при моделировании различных явлений. Всякое изучение явлений природы начинается с установления простейших опытных фактов, на основе которых можно формулировать законы, управляющие исследуемым явлением, и записать их в виде некоторых математических соотношений.

Различные природные объекты объединяет единство их предельных состояний, как некий физический принцип гармонии развития. Простые геометрические образы могут служить универсальными моделями отражен-

ния структурных преобразований, происходящих в природных объектах под действием внешних факторов.

Положения теории предельных состояний являются этапом развития синтетической теории прочности, предложенной академиком Е.И. Шемякиным [4].

Свое обобщение синтетическая теория прочности начинает с выдающихся экспериментов Треска, который в 1863 году провел свои знаменитые опыты при больших необратимых деформациях. Полученные данные легли в основу первой теории прочности, разработанной Сен-Венаном. Образование линий скольжения наблюдалось на различных материалах, которые, однако, имели две особенности: наличие площадки текучести (сталь, сплавы), или, по Надаи, «слабую внутреннюю структуру» (песчаник, парафин и т.п.).

Основные этапы развития синтетической теории прочности приведены в табл. 1.

Таблица 1. Этапы развития синтетической теории прочности (по Тутурину С.В. [4])

| Год | Исследователь | Материал исследований |
|---------|---------------|---|
| 1854 | Людерс | мягкая сталь |
| 1863 | Треска | платина |
| 1900 | Гест | сталь, железо, медь |
| 1911 | Карман | горные породы, |
| 1914 | Бекер | мрамор, песчаник |
| 1924 | Надаи | парафин |
| 1925/26 | Надаи, Лоде | железо, медь, никель |
| 1931 | Тейлор, Квини | алюминий, медь, свинец, кадмий, мягкая сталь |
| 1970 | Шемякин | эквивалентные материалы |
| 1998 | Лотов | торф, мерзлый грунт |
| 2005 | Тутурин | древесина |

В 70-е годы прошлого века, при проведении работ в Сибирском отделении Академии наук при использовании жесткого режима нагружения, подтвердилась справедливость критерия прочности Треска для эквивалентных материалов, и высказано осторожное предположение: критерий Треска применим для большинства твердых тел, а разрушение материалов с различной внутренней структурой происходит по линиям скольжения. Примененный жесткий режим нагружения является более информативным с точки зрения изучения прочностных свойств и особенностей разрушения

материалов и может быть рекомендован в качестве основного при проведении испытаний не только древесины, но и других природных материалов.

Были предложены основные определяющие инварианты, описывающие напряженное состояние и имеющие четкий физический смысл.

Согласно синтетической теории прочности введено три основных инварианта предельных состояний:

$$I_1 = (\sigma_1 - \sigma_3)/2; I_2 = (\sigma_1 + \sigma_3)/2; I_3 = (\sigma_2 - I_2)/I_1.$$

Первый инвариант описывает действие максимального касательного напряжения на наклонной площадке и, соответственно, скольжения по ней. Второй инвариант – действие нормального напряжения на наклонной площадке, которое оказывает сопротивление проскальзыванию. Третий инвариант – параметр Лоде-Надаи, описывающий не только вид напряженного состояния и влияние второго главного напряжения, но и положение наклонных площадок, по которым происходит скольжение. Достоинством такого подхода является возможность представления напряженно-деформированного состояния для различных материалов на основании обобщенной диаграммы Мора (рис. 1), где $I_1 = r$, $I_2 = R$, $I_3 = (\sigma_2 - R)/r$.

Синтетическая теория прочности объединяет результаты целого ряда исследований прочности твердых материалов, выполненных в широком диапазоне изменения их физико-механических свойств на протяжении более 150 лет (табл. 1).

Введение трех инвариантов позволяет описать возникающую при необратимых деформациях и разрушении анизотропию сопротивления сдвигам по Е.И. Шемякину [4] и тем самым построить математическую модель деформирования твердых тел, адекватную физическим процессам.

В рамках предложенной Е.И. Шемякиным модели можно уверенно проследить важное явление - поведение материала в запредельном состоянии: после достижения касательным напряжением максимального для материала значения фактически образуется новый материал, поведение которого требует иного описания.

Тем не менее, законы механики (сохранение масс, количества движения, энергии) имеют силу. Это и определяет поведение материала в запредельном, послепиковом состоянии. При достижении главным сдвигом предельной для данного тела величины это значение сдвига в элементе среды сохраняется, а рост области необратимых деформаций (и разрушения) происходит только за счет увеличения количества таких элементов. Вступление в работу других экстремальных площадок определяет остаточную прочность материала. По мнению Е.И. Шемякина, этот вопрос нуждается в уточнении [4].

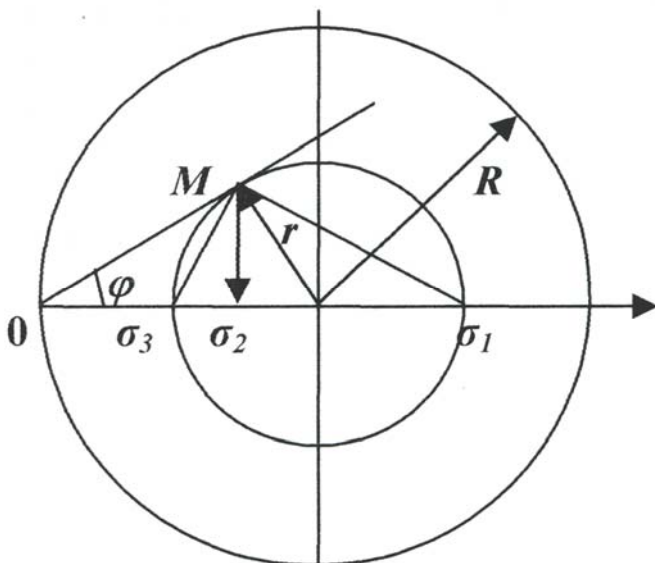


Рис. 1. Геометрическое отображение инвариантов по схеме кругов Мора

На наш взгляд, для качественного анализа структурной прочности материала на различном уровне напряженно-деформированного состояния необходимо учитывать масштабный фактор, т.е. соотношение двух экстремальных напряжений (структурный показатель Π_K).

В работе [2] авторами предлагается ввести четвертый инвариант или критерий предельного состояния, качественно дополняющий основные инварианты в синтетической теории прочности, равный

$$I_4 = K_p = (I_1 / I_2) / [(I_2 - I_1)].$$

При нормировке $\sigma_1 = 1$ получаем следующее выражение для критерия предельного состояния

$$K_p = \sigma_3(1 - \sigma_3) / (1 + \sigma_3),$$

где: $(1 - \sigma_3) / (1 + \sigma_3) = \sin \varphi$ - синус угла наклона касательной к окружности в т. М.

Предложенный критерий предельного состояния материала качественно дополняет основные инварианты в синтетической теории прочности.

На примере различных видов торфа проведем их анализ прочностных характеристик по результатам исследований Л.С. Амаряна [1].

Таблица 1 - Основные статистические показатели различных видов торфа [1]

| Виды торфа | Сопротивление сдвигу τ , кПа | | | P_K | K_P |
|--|--------------------------------------|------|------|-------|-------|
| | мин | мак | сред | | |
| Сосново-верховой | 5,2 | 20,0 | 11,0 | 0,51 | 0,153 |
| Сосново-пушицевый | 5,0 | 16,4 | 10,9 | 0,55 | 0,162 |
| Сосново-сфагновый верховой | 3,0 | 28,0 | 9,7 | 0,33 | 0,086 |
| Пушицевый верховой | 3,5 | 22,0 | 10,8 | 0,40 | 0,115 |
| Шейхцеревый верховой | 3,0 | 23,0 | 11,5 | 0,36 | 0,100 |
| Пушицево-сфагновый верховой | 3,0 | 18,0 | 9,4 | 0,41 | 0,119 |
| Шейхцеригово-сфагновый верховой | 6,2 | 18,5 | 11,6 | 0,58 | 0,167 |
| Фускум торф верховой | 4,6 | 25,0 | 13,5 | 0,43 | 0,127 |
| Магелланикум торф | 3,7 | 22,0 | 10,2 | 0,41 | 0,120 |
| Комплексный верховой | 6,0 | 15,0 | 9,0 | 0,63 | 0,171 |
| Сфагновый мочажинный верховой | 6,0 | 26,0 | 16,8 | 0,48 | 0,144 |
| Древесно-переходный | 5,0 | 28,0 | 15,0 | 0,42 | 0,125 |
| Древесно-осоковый переходный | 7,7 | 26,0 | 14,3 | 0,54 | 0,156 |
| Древесно-травяной переходный | 5,1 | 24,6 | 12,1 | 0,45 | 0,136 |
| Древесно-сфагновый переходный | 3,0 | 27,0 | 12,7 | 0,33 | 0,089 |
| Шейхцеревый переходный | 4,2 | 24,0 | 13,5 | 0,42 | 0,123 |
| Осоковый переходный | 6,8 | 24,6 | 13,0 | 0,53 | 0,157 |
| Осоковый сфагновый переходный | 4,7 | 27,0 | 12,1 | 0,42 | 0,123 |
| Травяно-сфагновый переходный | 5,0 | 15,0 | 10,0 | 0,58 | 0,167 |
| Шейхцеригово-сфагновый переходный | 7,0 | 17,0 | 10,1 | 0,64 | 0,172 |
| Осоково-гипновый переходный | 6,8 | 14,3 | 10,8 | 0,69 | 0,169 |
| Гипновый переходный | 8,9 | 22,2 | 13,7 | 0,63 | 0,171 |
| Сфагновый переходный | 6,8 | 17,0 | 11,0 | 0,63 | 0,171 |
| Древесный низинный | 9,0 | 33,0 | 19,3 | 0,52 | 0,156 |
| Древесно-осоковый низинный | 7,0 | 36,0 | 17,4 | 0,44 | 0,131 |
| Древесно-сфагновый низинный | 8,0 | 28,0 | 18,4 | 0,53 | 0,159 |
| Осоковый низинный | 6,0 | 36,0 | 17,0 | 0,41 | 0,119 |
| Осоково-гипновый низинный | 5,9 | 24,0 | 13,4 | 0,50 | 0,149 |
| Гипновый низинный | 6,0 | 28,0 | 15,0 | 0,46 | 0,139 |
| Примечание: мин. – минимальное значение, макс. – максимальное значение, сред. – среднее значение, P_K – структурный показатель, K_P – показатель потенциала прочности торфяной структуры | | | | | |

Экстремальное значение критерия K_{Pmax} разделяет условия создаваемого напряженно-деформированного состояния в локальной области различных материалов на две качественные зоны (рис. 2):

- *A* – до предельное состояние (зона устойчивости),
- *B* – за предельное состояние (зона риска).

Показатель потенциала прочности торфяной структуры

$$K_p = (\tau_{\min} / \tau_{\max}) [(\tau_{\max} - \tau_{\min}) / (\tau_{\max} + \tau_{\min})].$$

Структурный показатель (параметр состояния материала)

$$P_k = \sqrt{\tau_{\min} / \tau_{\max}}.$$

Пластические деформации грунта (в области между пределом упругости и пределом прочности) образуются в основном в результате нарушения существующих и возникновения новых связей в структуре грунта.

Пока этот процесс способен повышать сопротивляемость структуры, грунт может найти новые формы равновесия между внешними и внутренними силами.

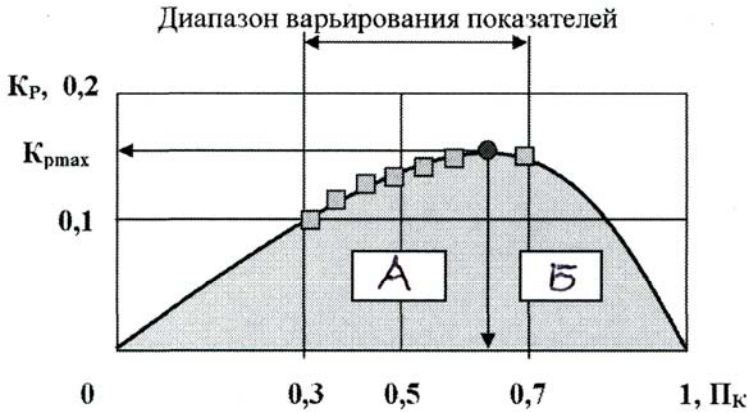


Рис. 2. Предельный потенциал прочности для торфяных структур

При этом напряженно-деформированное состояние изучается и определяется для области упрочнения грунта, находящегося в условно равновесном состоянии для каждого нагружения. Здесь мы можем говорить об устойчивости сопротивлению грунта, находящимся за пределом его прочности.

Исчерпав резервы прочности структурного сложения в заданных условиях своего сопротивления возрастающим силам, грунт разрушается под их действием. Для рассматриваемой разновидности грунтов с преоб-

ладающей пластической деформацией наступает предел прочного сопротивления, характеризуемый течением грунта с прогрессирующими скоростями. Этот предел является заключительным состоянием процесса деформации в области упрочнения.

Данное представление устанавливает прямую функциональную связь между пластической деформацией структуры и прочностью отдельных элементов структурной решетки.

Многие исследователи предполагают, что разрушение структуры, определяющее пластическую деформацию во всей области упрочнения (включая и предельное по прочности состояние), подчиняется единому закону прочности.

Для грунтовой среды большое распространение получила теория прочности Мора, удовлетворительно решающая ряд задач механики грунтов. По теории прочности Мора разрушение грунта наступит при некотором соотношении между главными напряжениями σ_1 и σ_3 , определяемом выражением $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2 = F[(\sigma_1 + \sigma_3) / 2]$.

В общем случае огибающая кругов Мора для предельного состояния по прочности представляет собой кривую линию, графически представляющую зависимость касательных напряжений τ от нормальных σ_n в предельном по прочности состоянии для некоторой плоскости, нормальной к плоскости главных напряжений $\tau_{пред} = \psi(\sigma_n)$.

Данная зависимость во многих случаях в некотором диапазоне изменения напряжений является линейной или может быть принята линейной с достаточной степенью точности $\tau_{пред} = m\sigma_n + c$. Для пространственного напряженного состояния условно и произвольно принимается, что при достижении предела прочности наступает состояние предельного напряженного состояния по некоторым площадкам, наклоненным под углом $\pi/4 - \theta_{\max}/2$ к направлению главного максимального нормального напряжения, причем в этом предельном случае θ_{\max} равняется некоторому углу φ , тангенс которого равен угловому коэффициенту m .

Формальное сопоставление условия предельной прочности по Мору с законом Кулона приводит к физическому толкованию коэффициентов m и c , как тангенс угла внутреннего трения φ и удельного сцепления c . Однако такое толкование, как известно, в общем случае следует рассматривать лишь как математическое отображение, что, и принято в механике грунтов.

В основе рассмотрения широкого класса физических явлений в переходных процессах лежит научная гипотеза, которая исходя из особенностей причинно-следственных связей, определяет наличие вне пространст-

венно-временной закономерности функционирования различных структурных систем в критических ситуациях.

Литература

1. Амарян Л.С. Свойства слабых грунтов и методы их изучения. М.: Недра, 1990.- 220 с.
2. Миронов В.А., Зюзин Б.Ф., Епишев А.И. Инварианты предельных состояний в задачах геомеханики. Тенденции и современные подходы // Горный информационно-аналитический бюллетень.- 2006.- №12.- 39 с.
3. Прогнозирование предельных состояний в нелинейной геомеханике / Б.А. Богатов, В.А. Миронов, Б.Ф. Зюзин, В.Н. Лотов. Мн.: Изд-во ОО БГА, 2000. 340 с.
4. Шемякин Е.Н., Тутурин С.В., Короткина М.Р. Разрушение древесины при сжатию // Вестник Московского государственного университета леса.– М.: 2005.- №3 (39).- С. 56-71.

УДК 662.641.033

КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА СЫРЬЯ В ТЕХНОЛОГИЯХ РАЗРАБОТКИ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Иванов В.А., Королев И.О., Пухова О.В.

Тверской государственный технический университет

Дана характеристика критериев качества формованного топлива из торфяного сырья. Проведены исследования и описан механизм влияния механической переработки торфяного сырья на прочностные свойства готовой продукции, построены графики зависимости и выведено уравнение зависимости прочности формованного топлива от степени переработки при различных значениях влагосодержания.

При производстве [1] формованного топлива из торфяного сырья необходимо получение прочного продукта, так как прочность куска косвенно определяет его крошимость, которая влияет на потери при сушке, уборке и транспортировке. Малопрочные куски при одинаковых механических воздействиях дают большее количество мелочи, чем более прочные куски. Поэтому зная только прочностные показатели конечного продукта, можно воспользоваться ими для контроля крошимости [2]. Причем, за крошимость ответственна не столько прочность куска, сколько неоднородность в распределении пор, влаги, плотности.

Наиболее важным критерием качества формованного топлива из торфяного сырья является влажность. Он считается качественным, если имеет влажность менее 45 % [3].

К технологическим факторам, влияющим на прочность, относятся дисперсность и начальное влагосодержание при формировании торфяного сырья. Дисперсность – степень измельченности вещества на частицы, выраженная в процентах, которую порой отождествляют с условной удельной поверхностью частиц S ($\text{м}^2/\text{кг}$). Определение степени дисперсности необходимо для характеристики торфа как сырья для промышленности,