

деформации торфяного основания под плитой почти не снижаются. Использование более высокого слоя (выше 0,5 ширины) не оправдывает дополнительных затрат на строительство по сравнению с ростом эффективности по снижению упругих прогибов плиты.

Я.М. Шупилов

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОРФА, УКЛАДЫВАЕМОГО В ДАМБУ ОБВАЛОВАНИЯ

В условиях Полесья, где почти все реки имеют заторфованную пойму, наиболее рациональным способом строительства является возведение дамб обвалования из торфа с использованием в качестве несущего основания болотных грунтов. Применение таких конструкций требует решения ряда практических и теоретических вопросов, что является основным препятствием для широкого внедрения этих прогрессивных и экономически целесообразных способов строительства.

Такой грунт, как торф, в обычных условиях считают непригодным для насыпей, так как в естественном состоянии он сильно сжимаем и водонасыщен, имеет низкую прочность, а при укладке в насыпь с изменением влажности изменяет свой объем и плотность.

Однако способность торфа в значительной мере изменять свои свойства при уплотнении, переработке, подсушивании и других воздействиях в сочетании с низкой водопроницаемостью, при небольших затратах на его разработку и укладку говорит о возможности и целесообразности использования его в практике мелиоративного строительства в определенных условиях. Высокая пластичность является положительным качеством торфа при возведении насыпей на болотах, где деформации слабых грунтов основания могут быть значительными по величине и неравномерными по длине и ширине сооружения. Положительным фактором является и то, что сравнительно низкий объемный вес торфа позволяет значительно уменьшить давление на основание водоудерживающего сооружения.

В СНиПах II-И. 3-62 и II-И. 4-62 указывается, что для устройства экранов и верховых противофильтрационных элементов низких и средних по высоте плотин, оградительных дамб, а

также в отдельных случаях для тела низких плотин IV класса допускается применение торфа при степени разложения не менее 50%. Такое ограничение практически исключает возможность применения торфа в качестве строительного материала, так как в условиях Белорусской ССР распространен торф меньшей степени разложения.

Изучение опыта строительства и строительных свойств торфа [1—6] в зависимости от степени разложения, уплотнения, переработки и других факторов показало принципиальную возможность применения в строительстве гидромелиоративных сооружений торфов со степенью разложения меньше 50%.

Торф нарушенной структуры, уложенный в тело дамбы, в редких случаях является полностью водонасыщенным и, следовательно, его необходимо рассматривать, как трехфазную систему. Кроме того, под воздействием внешних факторов состояние его изменяется. Так, при частичном обезвоживании тело дамбы уплотняется и упрочняется, затухает водопроницаемость, но снижается проектная высота и давление на основание. В случае дополнительного увлажнения возникают обратные процессы, которые могут проявляться полностью или частично. Все эти изменения требуют тщательного и правильного учета в процессе проектирования и строительства. В настоящее время в литературе отсутствуют данные об определении ряда расчетных характеристик (сжимаемость, водопроницаемость, сопротивление сдвигу) торфа нарушенной структуры в состоянии трехфазной системы, что в известной мере сдерживает его более широкое применение при строительстве дамб обвалования.

Исследование физико-механических свойств низинного торфа нарушенной структуры (степень разложения 25—50%) позволило установить зависимость основных расчетных характеристик от начального состояния торфа — плотности и влажности. Так, оценка сжимаемости торфа нарушенной структуры в условиях трехфазной системы под статической нагрузкой может быть произведена по логарифмической зависимости

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - a_k \ln \frac{p}{p_0}, \quad (1)$$

где ε — коэффициент пористости торфа, соответствующий нагрузке p ; ε_0 — начальный коэффициент пористости; a_k — коэффициент полной компрессии; p_0 — начальное давление.

Значения параметров уравнения (1), показателя сжимаемости и начального давления можно сопоставить с начальными коэффициентами пористости торфа ε_0 . Так,

$$a_k = 0,175 (\varepsilon_o - 1), \quad (2)$$

$$p_{oI} = p_{oI} e^{k(5,5 - \varepsilon_o)}, \quad (3)$$

где p_{oI} — значения начальных давлений, соответствующие исходному коэффициенту пористости торфа $\varepsilon_o = 5,5$ при различных коэффициентах водонасыщенности I ; k — постоянная, характеризующая относительное изменение начального давления при изменении коэффициента пористости на единицу. Для значений $\varepsilon_o < 5,5$ $k = 0,725$, а для $\varepsilon_o \geq 5,5$ $k = 0,411$.

Аналогичным образом установлено, что величина p_{oI} может быть связана с начальными коэффициентами водонасыщенности торфа I (в долях единицы) логарифмической зависимостью

$$p_{oI} = 0,33 + 0,57 \lg I. \quad (4)$$

При расчетах сжимаемости необходимо учитывать, что логарифмическое уравнение (1) описывает только часть экспериментальной кривой в диапазоне характерных для каждого состояния торфа нагрузок, а параметры уравнения получены для определенного интервала значений ε_o и I . Поэтому наиболее достоверными окажутся результаты при нагрузках $p \geq 3p_o$ и начальных коэффициентах пористости $\varepsilon_o = 2-13$, а также при коэффициентах водонасыщенности $I = 0,8-0,4$ для $\varepsilon_o < 5,5$ и $I = 0,4 - 1,0$ для $\varepsilon_o \geq 5,5$.

Для определения сопротивления торфа нарушенной структуры в трехфазном состоянии сдвигающим усилием получена формула

$$\tau = \tau_{oI} e^{C(5,5 - \varepsilon)} \quad (5)$$

где τ_{oI} — сопротивление сдвигу, соответствующее коэффициенту пористости торфа $\varepsilon_o = 5,5$, при различных значениях I ; C — постоянная, характеризующая относительное изменение сопротивления сдвигу при изменении коэффициента пористости. Для торфа нарушенной структуры с коэффициентами пористости $\varepsilon < 5,5$ получено $C = 0,705$, а для торфа с $\varepsilon \geq 5,5$ $C = 0,45$.

Зависимость сопротивления сдвигу τ_{oI} от коэффициента водонасыщенности I может быть представлена в виде

$$\tau_{oI} = 0,46 - 1,25 (1 - I)^3. \quad (6)$$

Полученные эмпирические зависимости могут быть использованы для определения сдвиговой прочности торфа нарушенной структуры при значениях коэффициентов пористости в пределах

от 2 до 11 и коэффициентах водонасыщенности $I = 0,3 - 0,4$ для $\varepsilon < 5,5$ и $I = 0,4 - 1,0$ для $\varepsilon > 5,5$.

Для торфа нарушенной структуры, уложенного в насыпь при влажности w , получена зависимость коэффициента фильтрации k_w от коэффициента пористости ε в виде

$$k_w = k_{ow} e^{-b(\varepsilon_0 - \varepsilon)}, \quad (7)$$

где k_{ow} — начальный коэффициент фильтрации торфа при коэффициенте пористости ε_0 и влажности уложенного торфа w ; b — постоянная, характеризующая относительное изменение водопроницаемости при изменении коэффициента пористости на единицу при влажности уложенного торфа w .

Значения начального коэффициента фильтрации k_{ow} следует определить опытным путем. Параметр b , как показали опыты, связан с начальной влажностью уложенного в насыпь торфа степенной зависимостью

$$b = \frac{4,5}{w^{0,7}}, \quad (8)$$

где w — начальная влажность торфа, г/г.

Зависимость (8) совместно с уравнением (7) позволяет оценить величину коэффициента фильтрации торфа нарушенной структуры при изменении его плотности в процессе уплотнения без проведения трудоемких опытов.

С точки зрения строительных свойств ряд важных характеристик торфа проявляет противоположные тенденции в зависимости от начальной влажности, при которой происходит его уплотнение.

Все это говорит о невозможности установления влажности, удовлетворяющей наиболее желательным экстремальным значениям всех физико-механических характеристик торфа нарушенной структуры, с одной стороны, а с другой, — о необходимости использования понятия оптимальной влажности с точки зрения комплекса физико-механических свойств торфа как строительного материала в целом.

О том, что вопрос назначения оптимальной влажности при укладке торфа в сооружения является актуальным, свидетельствует ряд исследований, имеющихся в этой области.

В настоящее время существуют рекомендации по установлению оптимальной влажности торфа, получившие то или иное применение в практике строительства мелиоративных сооружений. Следует отметить, что в большинстве случаев критерием

при установлении оптимальной влажности торфа служил коэффициент фильтрации.

Для дамб обвалования с учетом их специфических условий работы водопроницаемость не является единственным критерием при установлении оптимальной влажности уплотняемого торфа. Поэтому возникает необходимость совместно проанализировать строительные свойства торфа в процессе его укладки и эксплуатации дамбы.

Уплотняющий эффект от действия транспортных и уплотняющих средств при укладке грунта в насыпь зависит от величины удельного давления, передаваемого на грунт ходовыми частями механизмов, площади передачи уплотняющего давления и количества проходов механизмов по одному следу. Вместе с тем эффект уплотнения в значительной степени обусловлен правильным выбором влажности уплотняемого торфа.

При уплотнении влажного торфа вода, находящаяся в нем, препятствует сближению частиц и снижает трение и сцепление между частицами, при этом создается опасность местных провалов уплотняющих механизмов. Уплотнение торфа трактором Т-100 М становится практически невозможным при влажности более 500%, хотя наиболее высокая интенсивность уплотнения торфа имеет место при влажности даже до 550%. Об этом свидетельствует максимум значений коэффициентов, характеризующих интенсивность уплотнения торфа трамбовкой (рис. 1). Величины же объемных весов и коэффициентов водонасыщенности торфа с влажностями менее 400% резко снижаются (рис. 1). Поэтому при возведении дамбы следует стремиться к тому, чтобы не допускать попадания переувлажненного и пересохшего торфа в насыпь.

Торф, уложенный в дамбу обвалования, постепенно уплотняется под действием собственного веса насыпи и внутренних сил, возникающих в процессе попеременного увлажнения и подсыхания. Величина и характер осадки тела дамбы зависят от ее высоты и состояния торфа (плотности и влажности). Увеличение плотности укладываемого торфа всегда обеспечивает снижение деформации дамбы, поскольку сжимаемость торфа, как показывают результаты компрессионных испытаний, в первую очередь зависит от его начальной плотности (коэффициента пористости). Осадка тела дамбы из влажного торфа больше и продолжается она дольше, чем дамб из менее влажного.

В табл. 1 приведены значения осадки торфяного ядра дамбы в процентах от его высоты в зависимости от толщины слоя минеральной пригрузки и влажности уложенного торфа.

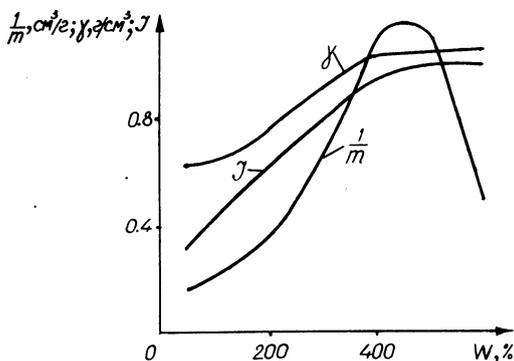


Рис. 1. Зависимость коэффициента, характеризующего интенсивность уплотнения ($\frac{1}{m}$), коэффициента водонасыщенности I , объемного веса γ от влажности торфа (w), уплотненного 90 ударами груза.

Таблица 1

| Толщина слоя минеральной пригрузки, см | Осадка, %, от высоты при следующих влажностях торфа | | | | |
|--|---|-----|-----|------|------|
| | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 |
| 100 | - | - | - | 4,4 | 13,6 |
| 150 | 2,1 | 2,5 | 3,2 | 9,9 | 19,2 |
| 200 | 5,6 | 6,1 | 6,9 | 13,8 | 23,1 |

Вычисленная величина ожидаемой осадки торфяного ядра является ориентировочной. Ее фактическая величина может отличаться от приведенных значений, так как будет зависеть от конкретных условий строительства и условий работы самой дамбы. С большей достоверностью она может быть определена при учете всех факторов, влияющих на осадку дамбы, по приводимым зависимостям.

Рис. 2. Зависимость начального давления (p_0), коэффициента полной компрессии (a_k) от влажности торфа (w), уплотненного 90 ударами груза.

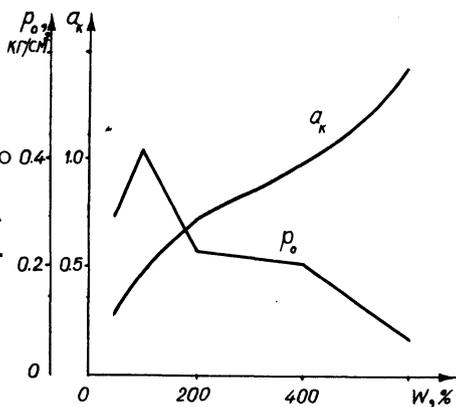
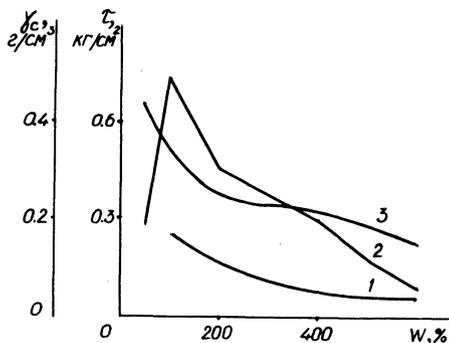


Рис. 3. Зависимость предельного сопротивления сдвигу (1,2) при 1 и 90 ударах груза соответственно (τ), объемного веса скелета (3) при 90 ударах груза (γ_c) от влажности торфа (w).



Учитывая возможность изменения плотности в процессе эксплуатации дамбы, торф следует укладывать с влажностью, при которой это изменение будет минимальным. Для исследованных видов торфа, как видно из характера зависимости параметров сжимаемости торфа a_k и p_0 от его влажности (рис. 2), этому условию будет удовлетворять влажность, равная примерно 400%. Подсыхание торфа в насыпи при этих влажностях будет мало сказываться на изменении высоты дамбы, так как в диапазоне влажностей 200—400% величина параметров сжимаемости изменяется незначительно.

Если в процессе эксплуатации влажность уложенного в насыпь торфа не изменится или снизится в результате уплотнения торфа минеральной пригрузкой, то при устройстве дамбы можно использовать торф с более высокими влажностями.

Целью уплотнения грунтов является не только достижение высокой плотности, но и получение высокопрочной структуры, способной противостоять воздействиям внешней нагрузки, влаги и т.п. В диапазоне влажностей с повышенной плотностью торфа имеют место также и большие величины сопротивляемости его внешним нагрузкам (рис. 3). Увеличение прочности уложенного в насыпь торфа в процессе уплотнения при постоянной влажности различна. Так, повышение числа ударов груза от 1 до 90 при уплотнении торфа ведет к увеличению прочности торфа в 3 раза при влажности 400% и только в 2 раза при влажности 500%. При влажности 600% прочность практически не изменяется.

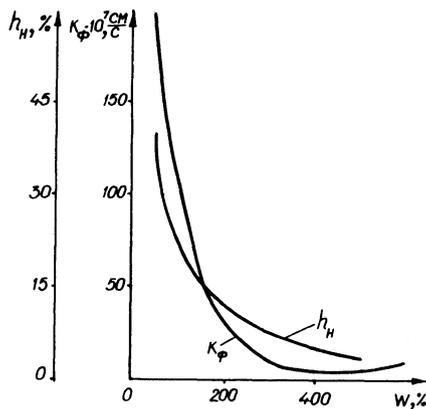
Вместе с тем нельзя считать, что один и тот же торф, уложенный в дамбу и имеющий одинаковую прочность, но характеризующийся различным состоянием, будет и в дальнейшем оказывать одинаковое сопротивление, например внешней нагрузке в процессе подсыхания. Обезвоживание влажного торфа, который может быть отнесен к коагуляционной структуре, приводит к значительному упрочнению, что связано с его перерождением в конденсационную структуру, характеризующуюся как высокой прочностью, так и повышенной хрупкостью с необратимым разрушением. Обезвоживание же подсушенного торфа в виде крошки, не имеющей связности, не приведет к заметному изменению прочностных свойств.

Таким образом, для получения прочной структуры торфа в дамбах влажность его при укладке должна быть выше нижнего предела пластичности. Важно, чтобы максимальное значение влажности торфа, укладываемого в насыпь, соответствовало такому его состоянию, при котором обеспечивается нормальная работа разравнивающих и уплотняющих механизмов.

Водопроницаемость торфа в дамбе также определяется состоянием его при укладке. Наличие комков и агрегатов при низкой влажности укладываемого в насыпь торфа вследствие подсыхания их до влажности ниже предела пластичности приводит к росту активной пористости и, как следствие, к увеличению его фильтрационной способности. Влажная торфяная масса с частицами в предельно набухшем состоянии имеет меньшую фильтрационную способность за счет уменьшения гидравлического радиуса водопроводящих ходов. Об этом свидетельствуют и результаты экспериментов по изучению водопроницаемости уплотненных 90 ударами груза образцов торфа нарушен-

ной структуры различной влажности. Минимальные значения водопроницаемости торфа, соответствующие установившемуся процессу фильтрации, получены при влажностях выше 300% (рис. 4).

Рис. 4. Зависимость коэффициента фильтрации (k_f) и деформации набухания (h_n) от влажности торфа (w), уплотненного 90 ударами груза.



Под действием обезвоживания изменяются пористость, т.е. плотность укладки частиц, и структура торфа. Это ведет к изменению его водопроницаемости. Так, по данным К.П. Лундина [7], водопроницаемость низинных торфяников уменьшается в 10—70 раз в зависимости от состояния торфа до осушения и степени осушения. Такое явление, очевидно, будет наблюдаться и при снижении влажности торфа в насыпи, где в процессе усадки частицы торфа нарушенной структуры могут иметь меньше препятствий к сближению и образовывать более плотные структуры, чем в залежах с естественными структурными связями. Под слоем минеральной пригрузки усадка влажного торфа при равномерном распределении влаги и температуры не вызывает каких-либо разрывов сплошности.

В процессе увлажнения не только увеличивается объем торфа, но и уменьшается связность благодаря значительному ослаблению сцепления между отдельными частицами торфа. Существенное влияние на величину набухания оказывает начальная влажность торфа (рис. 4). В образцах с более высокой начальной влажностью набухание и давление набухания уменьшаются. Так, образцы торфа нарушенной структуры, уплотненные 90 ударами груза, с начальной влажностью 100% при испытании имели деформацию набухания 22% и давление набухания $0,25 \text{ кг/см}^2$.

а образцы при влажности 500% — соответственно 3% и $0,03 \text{ кг/см}^2$. Деформация и давление набухания резко возрастают при влажностях торфа, превышающих нижний предел пластичности.

Таким образом, результаты анализа опытных данных показывают, что наиболее подходящей влажностью при укладке торфа в тело дамбы с точки зрения обеспечения оптимальных значений перечисленных факторов для исследованных торфов является влажность, равная 400—450%, которая может быть принята в качестве оптимальной.

Полученную оптимальную влажность выразим через пределы пластичности. Для исследованных торфов пределы пластичности характеризовались следующими данными: границы текучести и раскатывания при степени разложения торфа $R=25\%$ составляли $w_f = 550\%$ и $w_p = 350\%$, при $R=50\%$ — $w_f = 500\%$ и $w_p = 300\%$. Тогда значения оптимальной влажности торфа через пределы пластичности будут выражаться примерно как $w_o = 0,8 w_f$ или $w_o = 1,3 w_p$. (9)

Проведенные исследования показывают, что при назначении влажности торфа, укладываемого в дамбу обвалования, следует учитывать ряд факторов, определяющих его строительные свойства, а именно: водопроницаемость, набухание, уплотняемость, сжимаемость, прочность, обеспечивающую устойчивость насыпи и нормальную проходимость разравнивающих и уплотняющих механизмов и т.д. В каждом конкретном случае можно подобрать такую конструкцию дамбы, при которой обеспечивается достаточная стабильность и устойчивость ее тела.

Л и т е р а т у р а

1. Амарян Л.С. К вопросу о физико-химической природе прочности торфяных грунтов. Торф и его переработка. — "Труды Калининск, политехн. ин-та", 1968, вып. 2. (XV). 2. Амарян Л.С. Структурно-механические свойства торфяных залежей. Калинин, 1967. 3. Винокуров Ф.П., Тетеркин А.Е. Питерман М.А. Строительные свойства торфяных грунтов. Минск, 1962. 4. Вихляев И.И. Торф в гидротехническом строительстве. М.—Л., 1965. 5. Дрозд П.А. Некоторые свойства торфопесчаных смесей как материала для строительства местных дорог и сооружений на осушительной сети. — "Труды БелНИИМВХ", 1962, т. 10. 6. Федоров И.С. О применении торфа в экранах и понурах земляных плотин. — "Гидротехническое строительство", 1960, №5. 7. Лундин К.П. Водные свойства торфяной залежи. Минск, 1964.