

ДЕФОРМАЦИИ ПЕСЧАНОГО СЛОЯ НА ТОРФЕ ПОД ПОВТОРНОЙ ШТАМПОВОЙ НАГРУЗКОЙ

Ежегодный прирост плодородных площадей в нашей стране, осваиваемых мелиораторами, составляет сотни тысяч гектаров. Немалая доля из них приходится на интенсивно осушенные торфяники. Применение современной осушительной техники позволяет вводить в эксплуатацию огромные болотные массивы. Нормальная эксплуатация их неразрывно связана с наличием разветвленной сети дорог.

Строительство дорог на болотах является весьма трудной проблемой, которая в настоящее время не имеет еще достаточно полного решения. Дороги на осушенных торфяниках, как один из вариантов общей проблемы, представляют собой более легкую задачу, хотя и в этих условиях строительства имеется еще немало невыясненных вопросов. Наиболее сложным является разрешение таких противоречивых требований, как надежность и экономичность.

Уже нет сомнений в том, что осушенная торфяная залежь может служить основанием земляных сооружений. Дорожная насыпь из минерального грунта на таком основании должна иметь достаточную высоту (толщину), чтобы оставаться в процессе эксплуатации устойчивой. К дорожному покрытию предъявляются основные требования прочности и износостойкости. Надежная дорога, построенная с учетом всех технических требований, становится для землепользователей очень дорогой.

Самой дешевой дорогой могла бы быть обычная (в лучшем случае профилированная) трасса на осушенном болоте с дерновым покровом. Удельное давление колеса автотранспорта или сельхозмашины обычно невелико, а поверхность хорошо осушенной торфяной залежи становится довольно плотной и прочной, т. е. способной выдержать нагрузку колеса. По такой дороге возможно нерегулярное движение.

Рельефность поверхностей колес транспорта способствует разрушению корневых сплетений дернового покрова, а неизбежные пробуксовки на неровностях превращают верхний слой монолитной залежи в торфяную крошку. Такие явления усиливаются при пересыхании или переувлажнении поверхности, что делает трассу непригодной для эксплуатации (образуются недопустимых размеров колеи, выбоины).

На рис. 1 дана характеристика результатов испытаний торфа повторными и постоянными статическими нагрузками. Это позволяет проследить развитие деформаций в торфе в зависимости от изменений состояния его. Кривыми 1, 2 представлены результаты осадки цилиндрического штампа диаметром 0,05 м при испытании образцов полностью водонасыщенного торфа естественной структуры, а кривыми 3, 4 — нарушенной структуры. Поверхность монолитного образца не имела дернового покрова, т. е. сплетений корней живой растительности. Сцепление отмерших остатков растительности в монолитном торфяном

образце обычно более низкое, чем в дерновом слое, тем не менее вполне достаточное, чтобы погружение штампа под повторной нагрузкой оказалось во много раз меньшим, чем в образце с нарушенной структурой.

Опыты показали, что после 500—600 кратковременных повторных приложений нагрузки $1 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$ погружение штампа в торф естественной структуры (1) достигает величины 0,005 м. В торфе нарушенной структуры (3) такая осадка наблюдалась при давлении $0,15 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$. Величина осадки штампа практически не изменяется при подсыхании и уплотнении торфа нарушенной структуры. Это следует из результатов опытов 5 и 7, хотя в первом из них торфяная крошка была уплотнена вдвое по сравнению с водонасыщенной (3), а во втором — плотность (выраженная содержанием твердого вещества в единице объема) оказалась втрое большей.

Пружинящие свойства монолитного торфа способствуют значительному снижению деформации от действия повторных нагрузок (1) по сравнению с действием постоянных (2).

Результаты опытов позволили установить, что в торфе нарушенной структуры деформация от постоянной нагрузки меньше, чем от повторной. Заметное снижение деформаций от постоянной нагрузки отмечается при подсыхании (уплотнении) торфяной крошки (6, 8). Сухая крошка ведет себя под нагрузками подобно зернистым минеральным грунтам.

Выполненные опыты свидетельствуют о том, что поверхность торфяной залежи может выдержать определенное количество проходов транспорта при сохранении естественной структуры торфа. При закреплении поверхности проходимость может быть повышена. Нарушение естественной структуры даже на небольшую глубину способствует интенсивному образованию колеи, поскольку такой торф не способен сопротивляться колесной нагрузке.

В состоянии высокой степени водонасыщенности торф нарушенной структуры вообще не выдерживает давления колеса и сразу продавливается. Сухая торфяная крошка, состоящая из довольно плотных и прочных частиц, обладает заметно повышенной несущей способностью. В этом случае колесо не продавливается сразу, оно уплотняет частички грунта. Под действием многократных проходов транспорта происходит постепенная упаковка крошки. При этом возможно частичное выдавливание в стороны. С увеличением числа проходов развитие колеи продолжается с очень слабым затуханием процесса.

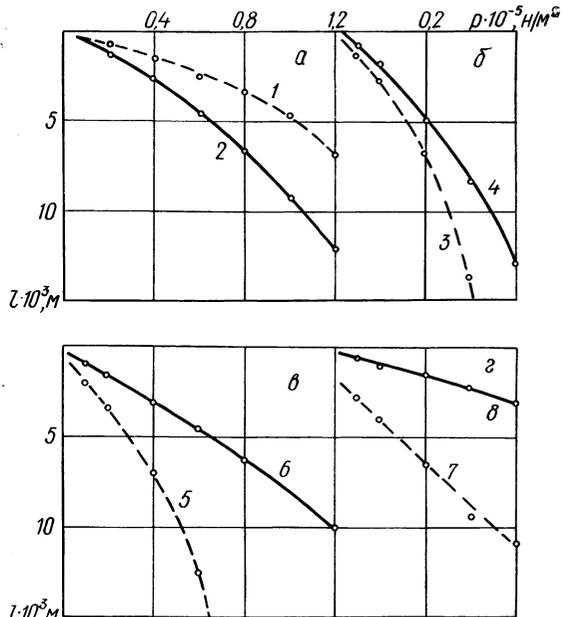


Рис. 1. Деформации торфа естественной (а) и нарушенной (б, г) структуры подштамповой нагрузкой (сплошная линия — постоянной, пунктирная — повторной):

а — $w=570\%$, $\delta=0,144 \text{ т/м}^3$; б — соответственно 372% и $0,115 \text{ т/м}^3$; в — 96% и $0,236 \text{ т/м}^3$, г — 22% и $0,376 \text{ т/м}^3$.

Часто считают дорогой разровненный кавальер из вынутаго при рытье канала грунта. В зависимости от глубины торфяной залежи и размеров выемки такая дорога может оказаться из минерального грунта, торфяного или из торфоминеральной смеси. Незащищенный от внешних воздействий торфяной грунт в насыпи сильно пересыхает и постепенно перетирается транспортом в крошку, поведение которой под нагрузками описано выше. Такой грунт слабо сопротивляется повторным нагрузкам.

Практика показывает, что дорожные насыпи на торфе, имеющие небольшую высоту, не обладают достаточной прочностью и довольно быстро разрушаются при прохождении транспорта. Причиной разрушения является не столько отсутствие защитных покрытий, как иногда полагают, сколько неустойчивая работа слоя песка на торфяном основании, в котором возникают очень большие упругие деформации под колесом транспорта. Только очень жесткий конструктивный слой мог бы снизить давление на основание и уменьшить величину упругих деформаций торфа. Прочность таких малых насыпей при этом может заметно повыситься, но стоимость дороги сильно возрастет.

Чтобы найти оптимальное решение задачи повышения надежности и снижения стоимости дорог с неустойчивой насыпью, необходимы исследования, включающие изучение процессов деформации слоистых систем различной прочности под штамповой нагрузкой. Нами проведена серия таких опытов, при этом давление от штампа на торф передавалось через слой песка без покрытия. Выполнены параллельные испытания под действием постоянных и периодически повторяющихся нагрузок, имитирующих воздействие колеса на дорожную насыпь.

Для выполнения опытов монолиты древесно-осокового торфа со степенью разложения 45% вкладывались в металлические обоймы цилиндрической формы. Высота каждой формы 0,1 м, внутренний диаметр 0,3 м. В таких же формах, только имеющих различную высоту, готовили образцы из мелкозернистого песка, который является наиболее распространенным строительным материалом для дорожных насыпей на полесских болотах. Формование образцов из песка производили с послойным уплотнением. Для каждого вида испытаний готовили по семь вариантов образцов из песка высотой от 0,025 до 0,25 м.

Слоистые системы (рис. 2) составляли из двух образцов: верхнего — песчаного и нижнего — торфяного. Образцы снабжались мессурами для измерения осадки штампа и перемещения контактной плоскости, куда предварительно укладывали маленькую металлическую площадку с выведенным от нее вниз (через торфяной образец) тонким стержнем. На период испытаний образцы защищали от потерь влаги. После испытаний отбирали пробы, анализ которых показал, что образцы из торфа имели влажность 521—572% при степени водонасыщенности 0,89—0,94, а образцы из песка соответственно 7,60—9,05 и 0,35—0,42%.

В исследованиях выбран режим повторных приложений нагрузки, наиболее точно отвечающий условиям работы под колесной нагрузкой песчаной дорожной насыпи на торфяном основании: длительность цикла 5 сек, длительность действия нагрузки в цикле составляла 1 сек. Этот режим соответствует воздействию на основание дорожной насыпи колонны автомашин, движущихся с интервалом в 50 м и со скоростью 10 м/сек. Каждый опыт продолжался 50 мин. За это время делали 8—12 отсчетов по мессурам, а нагрузка на образец составляла 600 повторностей.

Слоистые системы в опытах составляли из грунтов совершенно различных не только по происхождению, но и по своему строению. Верхний слой представлял собой довольно однородный естественно отсортированный мелкозернистый песок. Содержание частиц размером 0,05—0,5 мм составляло более 90%, а размером 0,1—0,3 мм — свыше 60%. Количество пылеватых частиц не превышало 1%. Зерна песка плотно заполняли объем. Коэффициент пористости во всех образцах оставался меньше 0,65. Твердые песчаные частички под сравнительно небольшой штамповой нагрузкой не деформировались. Осадка штампа происходила в результате сближения и лучшей упаковки частиц.

Торфяные монолиты отличались наличием неплотных и непрочных частичек органического происхождения, беспорядочно переплетенных между собой таким образом, что между ними (а также внутри их) оставалось большое пространство, заполненное водой. Количество пустот в 10 раз превышало объем твердого вещества частиц. Деформации таких образцов под штамповой нагрузкой происходили в результате изгиба, смятия и сближения частиц.

В отличие от песчаных зерен, которые после переупаковки занимали новое положение, частицы торфа естественного состояния после снятия кратковременной нагрузки перемещались в обратном направлении. Происходила восстанавливающаяся деформация, которая даже в короткие сроки (в промежутках между приложениями нагрузки) успевала достигнуть величины, составляющей 60—80% от полной осадки штампа, полученной после первого приложения нагрузки. В песке она не превышала 10%.

Некоторые отличительные особенности деформаций песка от деформаций торфа видны из данных, представленных на рис. 3. Верхние графики (рис. 3, а) характеризуют влияние кратковременных повторных нагрузок на деформации песка. Из сравнения этих двух графиков следует, что полная деформация под повторной нагрузкой $0,5 \cdot 10^5$ н/м² после 5 000 приложений нагрузки достигла 1,5 мм, что в шесть раз выше, чем деформация от постоянной нагрузки той же величины. Причем интенсивность возрастания деформации в момент прекращения опыта с повторными нагрузками оставалась также во много раз большей, т. е. видимой стабилизации не наблюдалось.

Постоянная нагрузка $1 \cdot 10^5$ н/м², приложенная к штампу после повторной, равной $0,5 \cdot 10^5$ н/м², не вызвала дополнительной деформации. Только под нагрузкой $1,5 \cdot 10^5$ н/м² осадка штампа несколько увеличилась. Это означает, что повторная штамповая нагрузка производит уплотняющее действие в песке под штампом. Спротивляемость деформированию уплотненной таким образом зоны соответствует более высокой постоянной нагрузке. Дальнейший ход осадки штампа песка при следующих ступенях постоянной нагрузки как в опытах без уплотнения, так и с уплотнением повторной нагрузкой протекал без особых качественных различий. Разрушение образцов произошло в обоих случаях после нагрузки $2,5 \cdot 10^5$ н/м².

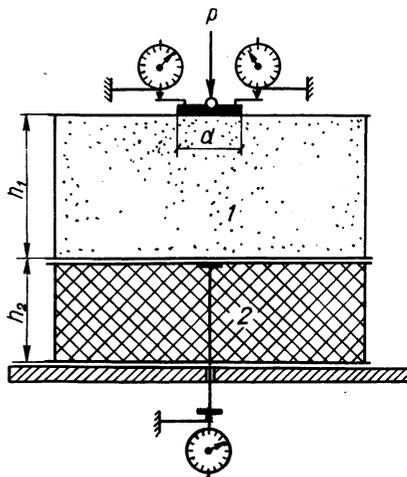


Рис. 2. Схема слоистой системы песок—торф:

1 — песок; 2 — торф.

Для торфа характерна другая картина. Как видно из рис. 3, б, под постоянной нагрузкой $0,8 \cdot 10^5$ н/м² осадка штампа продолжала заметно возрастать после 2400 повторных приложений нагрузки той же величины. Под действием повторной нагрузки несколько не увеличилась сопротивляемость торфяного монолита. Высокая степень восстановления деформаций торфа в промежутках между повторными

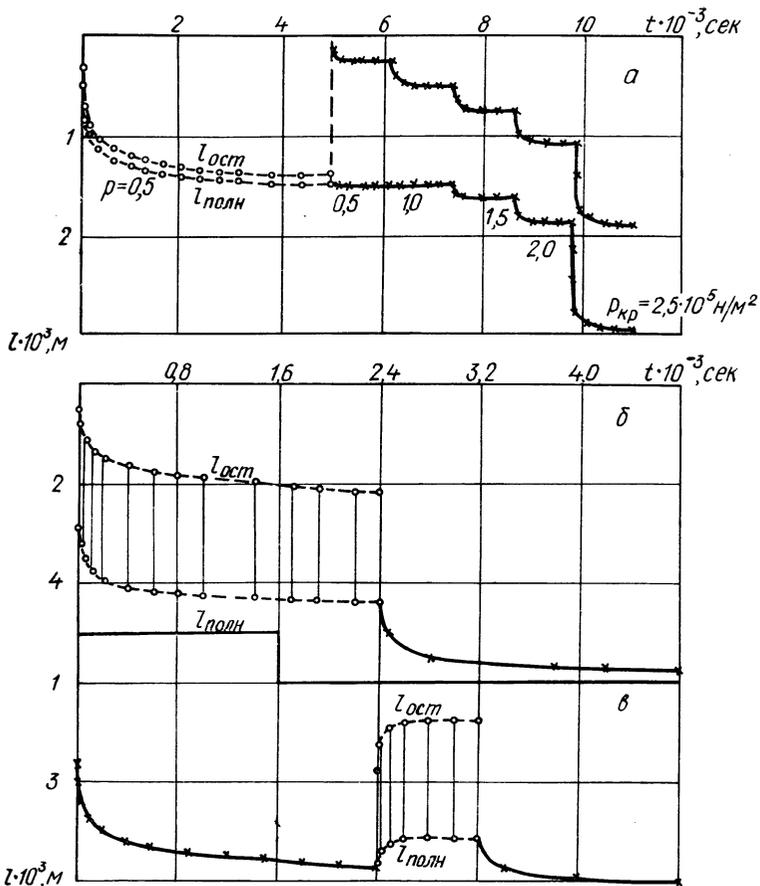


Рис. 3. Деформация песка (а) и торфа (б, в) под штамповой нагрузкой:
а — $p = (0,5 - 2,5) 10^5$; б, в — $0,8 \cdot 10^5$ н/м².

действиями нагрузки способствует повышению сопротивляемости торфа в начальный момент приложения нагрузки, когда развивается в подштамповой зоне гидродинамическое давление. Разгрузка начинается раньше, чем достигается равновесное состояние между давлением штампа и сопротивлением грунтового скелета. Характерно, что при повторных нагрузках, прикладываемых после действия постоянной, вместо роста деформации сначала наблюдается восстановление (рис. 3, в). Только спустя длительное время, после большого количества повторения нагрузки, деформация начинает снова возрастать. Это означает, что каждой величине повторной нагрузки соответствует определенная деформация независимо от предварительных воздействий на образец, если в структуре торфа не произошло никаких изменений.

В этом и заключаются основные отличительные особенности деформации связного торфа естественной структуры под повторными

нагрузками от деформации сыпучего песка. Следует еще добавить, что образцы песка при достижении определенной величины нагрузки разрушались с мгновенным погружением штампа и выпором песка вокруг него. Такого явления в торфе не наблюдали. Под большими нагрузками штамп погружался в монолит, срезая по периметру верхний слой. Торф в напряженной зоне под штампом уплотнялся. С ростом деформации уплотненная зона занимала все большую часть монолита и препятствовала чрезмерному погружению штампа, именуемому мгновенным провалом. На поверхности образца торфа вокруг штампа никаких изменений не отмечалось.

Некоторые результаты опытов со слоистыми системами, составленными из образцов песка и торфа, приведены на рис. 4. Характер кривых на графиках позволяет проследить поведение системы в целом под нагрузками и степень сопротивляемости каждого слоя в отдельности с учетом его особенностей и размеров. Кривые на рис. 4, а построены по результатам испытаний систем под постоянными нагрузками. Каждой кривой соответствует определенное соотношение размеров слоев. Высоту торфяных образцов во всех опытах оставляли одинаковой, равной 0,1 м, а песчаных изменяли от 0,025 до 0,25 м.

При высоте песчаного слоя 0,025 м напряженная зона под штампом $d=0,25$ м охватывала оба слоя системы. Хоть в слое торфа возникали более низкие напряжения, деформации в нем были в десятки раз большими, чем в песчаных (кривая 1 на рис. 4, а). Штамп вместе со слоем песка должен был перемещаться на величину деформации торфа. Поскольку величина перемещений поверхности торфа превышала размеры частиц песка, то штамп прорезал песчаный слой и вместе с отрезанной частью песка опускался вниз по мере деформации торфа. Отрезанная часть песка деформировалась слабо, поскольку нагрузки на штамп были очень малыми для сжатия, хотя, как оказалось, вполне достаточными для среза песчаного слоя по периметру.

При увеличении высоты песчаного слоя напряженная зона в торфяном заметно снижалась. Несмотря на это, деформации торфяного слоя были еще достаточными, чтобы произошел срез песчаного слоя по контуру штампа. Такие системы выдерживали более высокие нагруз-

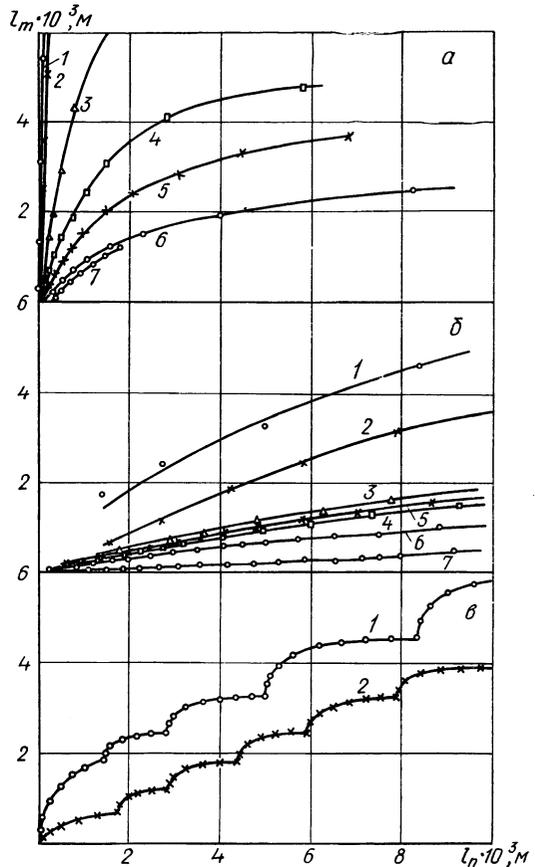


Рис. 4. Сопоставление деформаций в слоях системы под штамповой нагрузкой постоянной (а) и повторной (б, в):

1 — $h_1 = 0,25$; 2 — 0,50; 3 — 0,75; 4 — 1,0; 5 — 1,5; 6 — 2,0; 7 — 2,5.

ки, под действием которых наблюдались ощутимые деформации и в песчаном слое, т. е. в отрезанной его части. Только при высоте слоя песка 0,25 м деформации в торфе стали настолько малыми, что продавливания не произошло, а разрушился образец с выпором песка вокруг штампа, как и в опытах с однослойными образцами из песка.

Отметим, что исследованию работы двухслойных систем под постоянной штамповой нагрузкой и необходимых условий их устойчивости посвящены статьи [1, 2]. Известны [3] рекомендации по определению упругих деформаций устойчивой системы под воздействием кратковременных повторных нагрузок.

Более сложной оказалась работа неустойчивых двухслойных систем под повторными нагрузками. Результаты опытов представлены на рис. 4, б. В этом случае песчаный слой деформировался в большей степени. Даже при очень малой толщине слоя песка (кривые 1, 2) деформации его были большими, чем торфяного слоя. Причем первые циклы повторных нагрузок способствовали интенсивному накоплению полной деформации в торфе (рис. 4, в). Затем преобладающей становилась упругая деформация, которая в промежутках между нагрузками стремилась разуплотнить лежащий выше песчаный слой. Последующие приложения повторной нагрузки на частично разуплотненный песок вызвали дополнительные деформации в нем. Отмеченный характер поочередного роста деформаций в слоях не изменялся с увеличением нагрузки (в опытах принимали $\Delta p = 0,1 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$).

С увеличением высоты песчаного слоя характер сопротивляемости системы не изменялся. Снижалась интенсивность роста деформаций в связи с уменьшением упругого восстановления в торфе. Повышалась несущая способность системы. Те же деформации могли быть вызваны только намного большими нагрузками. Но особенность, присущая поведению систем под повторными нагрузками, оставалась во всех опытах. Заключалась она в том, что рост полной деформации торфа быстро затухал, в то время как процесс деформирования песчаного слоя был практически незатухаем. Это вызвано тем, что упругая деформация в торфе оставалась постоянной. Величина ее соответствовала величине действующей нагрузки.

Таким образом, при проходах колесного транспорта по низким (неустойчивым) песчаным насыпям на торфяном основании возникают большие упругие деформации, песок в насыпи под действием упругого восстановления основания разуплотняется, колеса легко погружаются в ослабленную насыпь. Проезд по таким насыпям затрудняется. Защитные покрытия на насыпях не выдерживают больших упругих деформаций и ломаются. Более высокие устойчивые насыпи уплотняют своим весом торфяную залежь в основании и способствуют передаче более низких давлений от колеса на основание. Оба фактора приводят к снижению упругих деформаций торфяного основания и улучшают условия проезда. Тем не менее образование колеи на незащищенной поверхности насыпи в этих случаях происходит достаточно интенсивно.

Отсюда следует, что при устройстве дорог на торфяном основании инженерные мероприятия следует направлять на снижение упругих деформаций и защиту поверхности. При выполнении насыпи достаточной толщины, когда она становится вполне устойчивой, требуются защитные покрытия, предохраняющие от разрушения верхнюю часть песчаной насыпи. Работа насыпи малой толщины, когда она недостаточно прочна, возможна только при наличии на ее поверхности конструктивного слоя, снижающего упругие деформации основания. Такую роль могут выполнять армированные колеиные плиты.

Для решения задачи о роли и степени эффективности таких плиг, уложенных непосредственно на поверхности осушенной торфяной залежи, а также на поверхности песчаной или торфяной подсыпки, необходимы дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования.

Литература

1. Дрозд П. А. Оптимальная толщина песчаных насыпей для сельскохозяйственных дорог. — В сб.: Мелиорация и использование осушенных земель. Т. 14. Минск, 1966.
2. Сельченко В. П. Песчаные насыпи на торфяном основании. В сб.: Мелиорация и использование осушенных земель. Т. 14. Минск, 1966.
3. Заяц В. Н. Дорожные насыпи на торфяном основании. — В сб.: Мелиорация и использование осушенных земель. Т. 14. Минск, 1966.