

Рассчитаем среднегодовую величину постоянной осадки  $\lambda_{\text{год}}$ , выделив четвертый период времени осадки торфа  $t_4$  с 7-го по 12-й месяц со времени прокопки канала и приняв  $\lambda_4 = 0,002 \text{ мес}^{-1} \text{ м}^{-1}$ :

$$\lambda_{\text{год}} = \frac{0,08 \cdot 0,33 + 0,02 \cdot 1,17 + 0,003 \cdot 4,5 + 0,002 \cdot 6,0}{0,33 + 1,17 + 4,5 + 6,0} \cdot 12 \text{ м} \cdot \text{год}^{-1} = 0,0753 \text{ м} \cdot \text{год}^{-1}.$$

Приведем пример использования формулы (6). Пусть глубина торфа до осушения  $H_0 = 3,0$  м, объемный вес скелета торфа  $P = 0,10 \text{ г/см}^3$ . Требуется определить величину осадки поверхности низинного болота вблизи открытого канала глубиной  $h = 2,0$  м за время  $t = 2$  месяца при уровне воды в канале  $h_0 = 1,0$  м. Находим по формуле (9) коэффициент плотности торфа  $A = 1,683$ . Так как уровень воды в канале выше уровня, принятого в формуле (6), то в уравнение (6) следует подставить величину  $h = 2,0 - (1,0 - 0,4) = 1,4$  м. Период времени  $t = 2$  мес. состоит из  $t_1 = 0,33$  мес.,  $t_2 = 1,17$  мес. и  $t_3 = 0,5$  мес. Осадка поверхности болота будет

$$S = 1,683 \cdot 3,0 \cdot 1 - e^{-1,4(0,08 \cdot 0,33 + 0,02 \cdot 1,17 + 0,003 \cdot 0,5)} = 0,35 \text{ м}.$$

#### Л и т е р а т у р а

1. Печкуров. А.Ф. Устойчивость русел рек и каналов. Минск, 1964.
2. Турецкий Р.Я., Петлах Я.С. Механизация работ при осушении и освоении болот и заболоченных земель. М., 1970.
3. Щитников П.И. Рациональная технология строительства осушительных каналов. Минск, 1968.
4. Комиссаров В.Т. Мелиоративные работы зимой. М., 1970.
5. Аксенов Е.А., Пименов М.А. Осушение торфяных месторождений. Минск, 1971.
6. Расчет осадки торфяников после осушения. Минск, 1963.

В.Н. Заяц, М.Я. Вахер

#### ДЕФОРМАЦИИ СЖИМАЕМОГО ОСНОВАНИЯ ПРИ ПОВТОРНЫХ НАГРУЗКАХ НА ПЛАСТИНУ

Эффективное освоение осушаемых торфяных болот возможно при наличии качественных дорог, обеспечивающих проезд сельскохозяйственных машин и транспорта. В последние годы мели-

ораторы республики осваивают метод строительства колеиных дорог на болотах из железобетонных плит, применяемых при устройстве лесовозных трасс, подъездных путей в труднодоступных местах и при строительстве временных дорог.

Устройство колеиных дорог связано с большим расходом металла на армирование плит и при наличии других менее дефицитных строительных материалов может оказаться неэкономичным. Создание таких дорог на осушаемых торфяных массивах не только освобождает строителей от необходимости доставки большого количества минерального грунта, нужного для устройства земляного полотна дорог, но и сокращает сроки строительства, поскольку исключает время процесса стабилизации осадки полотна перед устройством покрытия.

Торфяная залежь представляет собой сильно сжимаемое основание. Уложенные на поверхности залежи колеиные плиты заметно погружаются в торф при наезде колеса транспорта и прогибаются. После прохода транспорта плиты выпрямляются и почти полностью возвращаются в прежнее положение. Доля остаточной деформации основания зависит от многих причин. Основными из них являются: глубина, плотность и состояние водонасыщенности залежи, вид сочленения плит, толщина подсыпки из минерального грунта или торфяной крошки.

Подсыпка из минеральных грунтов представляет очень удобный способ планировки поверхности болота перед укладкой колеиных плит и профилирования трассы с продольными и поперечными уклонами. Плиты, уложенные непосредственно на поверхности залежи, частично обжимают ее и создают очаги скопления талых и дождевых вод, которые разжижают основание и способствуют дополнительному погружению плит в залежь. С применением подсыпки плиты возвышаются над поверхностью залежи, отмеченные недостатки исключаются.

Наиболее дешевой подсыпкой могут служить грунты, вынутые из основания при прокладке магистрального канала. Если в качестве подсыпки будут использованы торфяные грунты, то желательно любым доступным способом превратить их в сухую торфяную крошку. Она лучше уплотняется, удерживает меньше влаги после дождей, но легче поддается эрозии. После дождя поверхность плит, уложенных на торфяной крошке, может быть очень скользкой от набухших торфяных частиц. В таких случаях потребуется защитный слой из минерального грунта, который будет ограждать торфяную подсыпку от эрозии и исключать попадание частиц торфа на плиты.

Подсыпка из минеральных грунтов не только создает возвышение для плит, но и снижает упругие деформации под колесом транспорта, поскольку минеральные грунты в несколько раз плотнее торфяных и податливость их значительно ниже. Лучшими из минеральных являются дренирующие грунты, способные быстро и без разрушений отвести дождевые воды. Подстилающие торф минеральные грунты чаще всего связные и слабопроницаемые, но они не требуют больших затрат на доставку, так как могут быть взяты на месте строительства из придорожных карьеров или непосредственно из трассы канала, прокладываемого рядом с дорогой.

Наблюдения за опытными участками колеиных дорог в процессе эксплуатации показывают удовлетворительное состояние их как при укладке плит на песчаной подсыпке, так и на поверхности торфяной залежи. Наиболее уязвимым местом является сочленение плит. В связи с очень большими упругими просадками концов соседних плит при переходе колеса с одной на другую все применяемые на минеральных основаниях виды стыковки оказались непригодными.

Разработка надежного сочленения плит возможна только при известных значениях упругих деформаций сильно сжимаемого основания и плит на нем под колесом транспорта. От величины упругих просадок колеиных плит зависит не только состояние плит на дороге, но и скорость движения транспорта. Опыты по измерению вертикальных упругих перемещений плит под проходящим транспортом позволяют получить численные значения только для исследуемых створов. Эти факты ценны, но единичны.

Для получения возможности накопления большого числа фактов при различных вариантах испытаний создана лабораторная установка. Она позволяет моделировать размеры слоев, чтобы отыскать их влияние на величину упругих перемещений плит, режимы движения колеса по пластине, уложенной на поверхности образца, проводить испытания образцов, вырезанных из залежи любого вида и плотности торфа и др. Металлические пластины модели имеют размеры 30 x 10 см (в плане) и толщину 2; 3; 4; 6 мм. Металлические формы для приготовления образцов размерами 50 x 50 см имеют высоту от 10 до 40 см в зависимости от требуемой высоты образца.

Форма с образцом в разрезе приведена на рис. 1, а. Нижняя часть образца высотой  $H_T$  из торфа, верхняя  $H_P$  — из песка. На поверхности образца уложена пластина, а по кон-

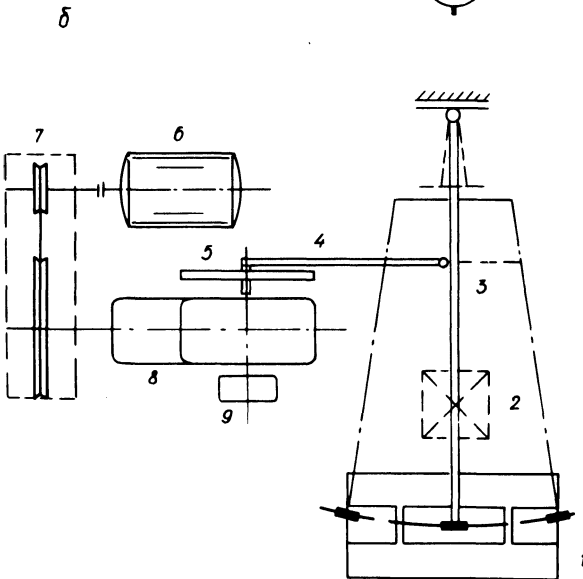
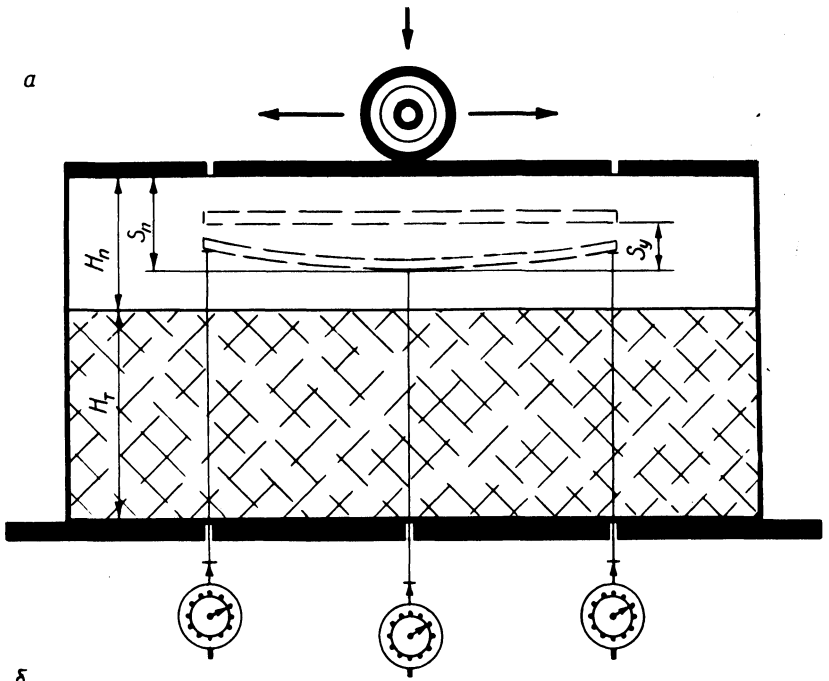


Рис. 1. Схемы испытания (а) и опытной установки (б):  
 1—образец с пластиной; 2—грузы; 3—кулиса с колесом;  
 4—шатун; 5—диск с эксцентриком; 6—электродвигатель;  
 7—механический вариатор скорости; 8—червячный редуктор;  
 9—счетчик оборотов.

цам ее — полупластины, изображающие соседние плиты. Под пластиной вставлены тонкие металлические стержни, пропущенные через днище формы под стол. Вертикальные перемещения стержней вместе с пластиной отмечаются в опытах стрелочными индикаторами, закрепленными под крышкой стола.

В момент прохождения нагруженного колеса пластина погружается в образец на величину  $s_{\text{п}}$ . Это погружение связано с полной деформацией образца. После прохождения колеса пластина выпрямляется, сжатый грунт образца разжимается и стремится принять прежние размеры. Пластина перемещается в обратном направлении на величину упругого перемещения  $s_{\text{у}}$ , связанного с упругой деформацией образца. Поскольку в грунтах деформации не полностью обратимы, то уже после первого прохода колеса появляется остаточная деформация образца  $s_{\text{о}}$ . Пластина в исходное положение не возвращается. Эта величина также отмечается индикатором и записывается в журнал наблюдений.

При последующих проходах нагруженного колеса указанные процессы повторяются. Записи в журнале наблюдений показывают, что полная и остаточная деформации образцов непрерывно нарастают с постепенным затуханием. Величина и характер погружения пластины в образец зависят от вида грунта и размера образца.

Модель колеса представляет собой крупный шарикоподшипник с натянутыми на наружную обойму двумя резиновыми кольцами. Диаметр колеса 14 см. Внутренней обоймой шарикоподшипник прикреплен к стержню, который на резьбе ввертывается в торцовую часть трубы — кулисы и фиксируется на нужном расстоянии. Резьба позволяет регулировать длину кулисы и место колеса в зависимости от положения пластины на поверхности образца.

Схема опытной установки приведена на рис. 1, б. Как видно, кулиса одним концом шарнирно прикреплена к неподвижной опоре. При повороте трубы в горизонтальной плоскости вокруг неподвижного шарнира колесо на другом конце ее описывает дугу радиусом 225 см над образцом. Перемещаясь вдоль пластины, колесо на длине хода по пластине 30 см отклоняется от ее оси на 2,5 мм в обе стороны. При ширине пластины 100 мм эти отклонения можно считать несущественными.

На определенном расстоянии от колеса на кулисе закреплен поддон, в который укладываются грузы, создающие давление на колесо. Величина нагрузки на колесо контролируется динамометром, подвешенным к потолку над колесом.

Для поворота кулисы служит шатун, прикрепленный другим концом к эксцентрику на диске. Каждому обороту диска соответствуют две пробежки колеса по пластине в противоположных направлениях. Число оборотов диска фиксируется счетчиком оборотов, установленным на противоположном конце оси колеса червячного редуктора. Редуктор с электродвигателем соединен через механический вариатор оборотов, который позволяет отрегулировать любой заданный режим движения колеса по пластине.

Приведем некоторые результаты опытов по определению деформаций образцов высотой 10, 20, 30 см из торфа различной плотности, высотой от 2,5 до 30 см из песка мелкозернистого и слоистых образцов из песка на торфе. Получены деформации образцов при проходе колеса по пластине толщиной 6 мм. Опыты выполнены при одинаковом режиме движения колеса 10 — 11 циклов в 1 мин. При этом средняя скорость пробежки колеса по центру пластины составляла 55 см/с, что соответствовало движению колонны автомашин с интервалами 20 м при средней скорости 20 км/ч.

Колесо опытной установки двигалось на уровне оси вращения диска. При погружении пластины во время опыта в образец на несколько миллиметров режим движения не нарушался. На каждой ступени нагружения, т.е. перед каждым опытом, положение пластины под колесом регулировалось поднятием стола с образцом (опорные ноги стола были выполнены на винтовой резьбе с зажимной гайкой). Регулирование высоты стола начиналось с установки образца на столе. После каждого опыта производилась доводка положения образца по отношению к колесу.

Нагрузка на последней ступени опыта не превышала 49 кг. При более высоких нагрузках нарушалась строгость опыта, поскольку деформации нарастали очень интенсивно, а ход ножки индикатора составлял только 10 мм. Кроме того, пластина под нагрузкой получала значительные погружения, требовавшие регулировки высоты стола, что в процессе опыта сделать было невозможно без нарушения режима.

Всего при указанном режиме движения колеса было выполнено 290 опытов. Характеристики грунтов, из которых готовили однородные и слоистые образцы, приведены в табл. 1. Длительность каждого опыта в большинстве случаев составляла 60 мин, что соответствовало 600 двойным проходам нагруженного колеса по пластине. В ряде опытов число двойных про-

Таблица 1

Вид грунта	Характеристика образца				
	степень разложения, %	объемный вес, г/см <sup>3</sup>	абсолютная влажность, %	объемный вес твердой фазы, г/см <sup>3</sup>	степень водонасыщенности, %
Торф гипновый	10--15	1,00	640	0,135	94
осоковый	15--20	0,94	900	0,094	90
осоковый	20--25	0,99	800	0,110	95
осоковый	25--30	1,00	740	0,119	95
тростниково-осоковый	35--40	1,01	790	0,114	97
древесно-тростниковый	35--40	1,04	460	0,185	96
Песок мелкозернистый	-	2,00	5,8--7,4	1,88	38--47

ходов достигало двух тысяч. В каждом опыте записывали показания индикаторов, соответствовавшие полной и остаточной деформациям образцов после определенных, принятых в опытах значений числа проходов колеса по пластине.

С увеличением числа проходов колеса полная и остаточная деформации образцов под пластиной непрерывно нарастали. Высокая начальная скорость роста полной деформации постепенно затухала. Наиболее интенсивно она затухала в образцах из торфа. При испытаниях песчаных и слоистых образцов погружение пластины в грунт происходило с малой интенсивностью затухания, поскольку зернистая структура песка способна к дополнительной упаковке под повторными нагрузками даже после значительного уплотнения. Особенно ошутимое погружение пластины в грунт наблюдалось в опытах со слоистыми образцами, где песчаный слой при сжатии слоя торфа значительно прогибался под пластиной и получал дополнительные возможности к переупаковке зерен.

При возрастании полной и остаточной деформаций образцов упругая деформация в каждом опыте оставалась неизменной. На рис. 2, а приведены зависимости, построенные по результатам опытов с образцами из торфа (1) и из песка на торфе (2). Прямые размещаются под углом 45°, что указывает на равные приращения полной и остаточной деформаций. Такие зависимости полной и остаточной деформаций построены для всех выполненных опытов и для каждого получены значения

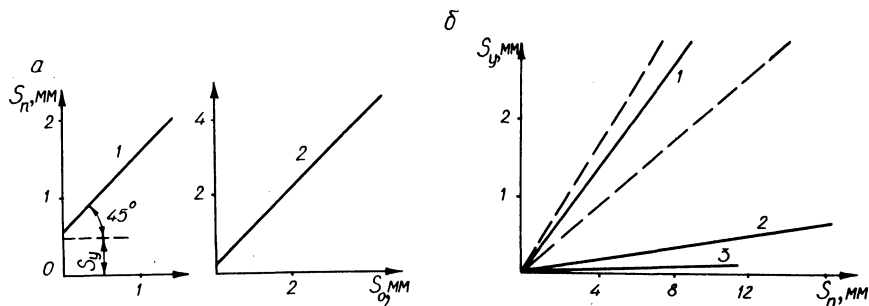


Рис. 2. Связь полной деформации с остаточной (а) и упругой (б):

1—торф; 2—песок на торфе; 3—песок.

упругих деформаций образцов под нагруженными пластинами. Они оказались при равных условиях эксперимента наиболее высокими у торфа и самыми низкими у песка.

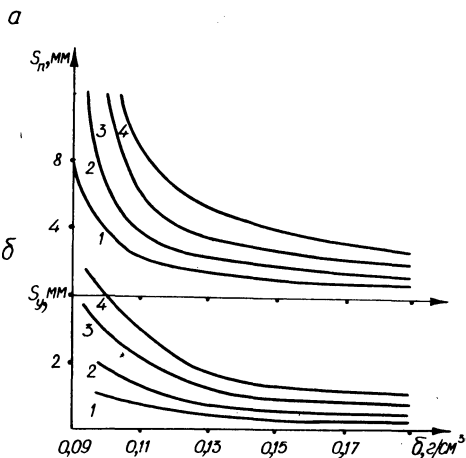
На рис. 2, б приведено графическое сопоставление упругих и полных деформаций в каждом опыте. Линия 1 проведена через точки, нанесенные на график по результатам испытаний образцов высотой 30 см из торфа различных плотностей. При этом точки, характеризующие более плотные образцы, располагаются выше, а менее плотные — ниже (пунктирные линии). График показывает, что к концу опыта, т.е. через 600 двойных проходов колеса, упругая деформация под пластиной составляла у торфа примерно треть от полной. У сильно податливого торфа эта доля не превышала одной пятой. Доля упругой деформации от полной не зависела в опытах от величины нагрузки на колесо.

Линия 3 на рис. 2, б показывает, что упругая деформация под пластиной в песчаных образцах высотой 7,5 см составляла от полной к концу опыта не более половины процента, что в десятки раз меньше, чем в торфе. В слоистых образцах, составленных из слоя торфа под слоем песка, доля упругой деформации от полной снижалась по сравнению с таковой в однородных торфяных образцах, но значительно превышала долю упругой деформации в песке. Линией 2 представлены результаты опытов с образцами толщиной 30 см из различных торфов под слоем песка в 7,5 см. Отношение упругой деформации от полной в этих опытах оказалось в 8 раз ниже, чем в опытах с торфом и во столько же раз выше, чем в опытах с песком.

Следует добавить, что в опытах со слоистыми образцами доля упругой деформации от полной под пластиной получена прак-



Рис. 3. Зависимость полной (а) и упругой (б) деформаций от плотности торфа: 1,2,3,4 — соответственно  $P=17; 27; 38; 49$  кг.



тически одинаковой независимо от плотности торфяного слоя. В однородных же образцах из торфа плотность заметно влияла на величину отношения деформаций. Опыты показали, что в слоистых образцах наибольшее влияние на величину отношения упругой деформации к полной оказывают размеры слоев, а не их плотность. Влияние слоев оказалось довольно сложным, поскольку характер нарастания упругой и полной деформаций у торфа и песка под нагрузкой, особенно во времени, совершенно различный.

На рис. 3 дана характеристика снижения полной и упругой деформаций, которые наблюдались при испытании образцов более плотного торфа. Каждая кривая получена при одинаковых нагрузках на образец. При испытаниях образцов, в которых плотность торфа была вдвое большей, упругая деформация снижалась вчетверо. При этих же условиях полная деформация снижалась в четыре раза только при сравнительно малых нагрузках на колесо (10—15 кг). С ростом нагрузки влияние уплотнения на величину полной деформации становилось более ощутимым.

В опытах использованы образцы торфа высотой 30 см из неосушенной залежи (вес твердой фазы  $\delta=0,10$  г/см<sup>3</sup>), слабо осушенной ( $\delta=0,11-0,12$  г/см<sup>3</sup>) и хорошо осушенной ( $\delta=0,15$  г/см<sup>3</sup>). Рис. 3 характеризует работу kolejных плит на торфяном основании без подсыпки. Уже в первые годы осушения плотность торфяной залежи повышается, что ведет к значительному (в 2—3 раза) снижению упругих просадок kolejных плит под колесом транспорта. В еще большей степени это благоприятно сказывается на общем погружении плит в залежь.

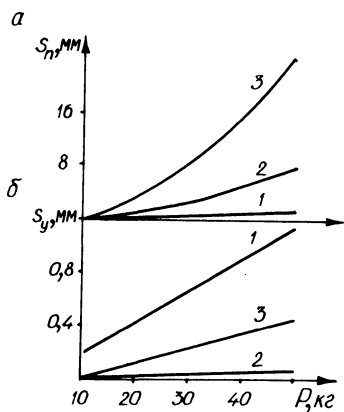


Рис. 4. Зависимость полной (а) и упругой (б) деформаций от нагрузки: 1—торф; 2—песок; 3—песок на торфе.

На рис. 4 показано влияние повторной нагрузки на характер нарастания и величину полной (а) и упругой (б) деформаций образцов под пластинами (линии 1 — результаты испытания образцов высотой 10 см из плотного торфа, линии 2 — образцов высотой 7,5 см из мелкозернистого песка, линии 3 — слоистых образцов, составленных из слоев торфа и песка указанных видов и размеров).

Из рис. 4 следует, что упругая деформация под пластиной находится в линейной зависимости от величины нагрузки на колесо. Полная деформация нарастает более интенсивно, чем нагрузка, особенно у песчаных и слоистых образцов. Следует обратить внимание на чередование линий на графиках. При самой низкой полной деформации, которая наблюдалась в образцах плотного торфа под равными повторными нагрузками, упругая по сравнению с ней была самой высокой. В образцах с малой плотностью торфа полная деформация была заметно выше, чем у песка, не говоря об упругой.

В образцах из песка наблюдались самые низкие упругие деформации под пластиной. При переходе от модели к натуре можно сказать, что колеиные плиты на плотном торфяном основании по сравнению с плитами на минеральном должны иметь примерно одинаковую величину полного погружения в основание, но в десятки раз большие упругие просадки при проходе колеса. Это приведет к снижению скорости движения транспорта и расстройству стыковых сочленений плит.

Песчаная подсыпка под колеиные плиты способствует увеличению общего погружения плит в основание, поскольку сжимаемый торфяной слой создает благоприятные условия для смещения частиц песка. Если учесть, что полное погружение, хотя

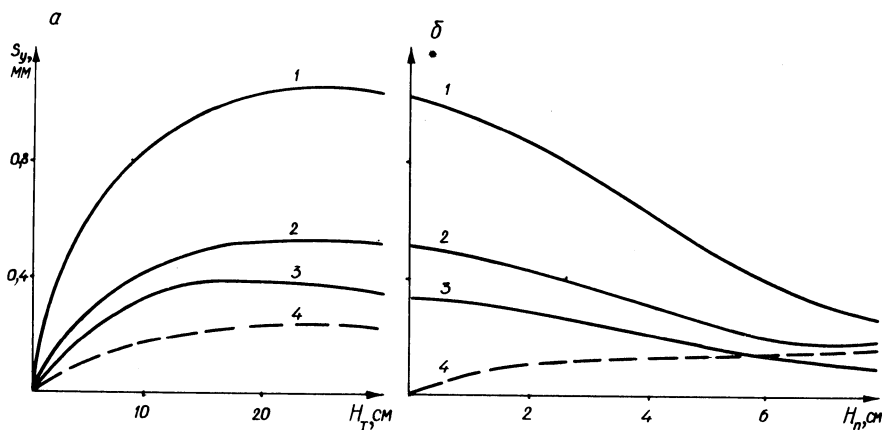


Рис. 5. Зависимость упругой деформации от толщины слоя из торфа (а) и песка (б):  
 1,2,3,4— соответственно  $\delta = 0,094; 0,110; 0,185, 1,88$  г/см<sup>3</sup>.

и медленно, но затухает, то можно считать песчаную подсыжку положительным мероприятием, поскольку величина упругой деформации слоистого основания по сравнению с деформациями торфяного значительно снижается. Если учесть, что упругая деформация в слоистых образцах в 10 и более раз выше, чем в минеральных, то необходимость изыскания и проведения мероприятий по качественному сочленению плит не отпадает.

Наиболее опасными с точки зрения совместной работы kolejных плит являются упругие деформации основания. Величина их зависит как от плотности торфа, так и от размеров слоев системы. Из рис. 5 виден характер нарастания упругих деформаций с увеличением толщины  $H$  торфяных и песчаных слоев при испытании однородных образцов (а) и снижение их с увеличением толщины песчаного слоя в слоистых образцах (б). Кривые показывают результаты испытаний образцов торфа малой плотности (линии 1), средней (2) и большой (3), характеризующие состояние неосушенной, слабо осушенной и хорошо осушенной торфяной залежи. Линии 4 построены по результатам испытаний образцов песка. Поскольку упругие деформации песка под пластиной оказались очень малыми, для удобства сравнения характера кривых ординаты точек, через которые проходят линии 4, увеличены в 10 раз.

С увеличением толщины слоя однородных образцов упругая деформация под пластиной при проходах колеса возрастает по

закону кривой с затуханием скорости роста. Деформации у образцов высотой 20 и 30 см практически не отличались. У слоистых образцов, результаты которых представлены на рис. 5, 6, толщина торфяного слоя оставалась 30 см, а толщину песчаного слоя увеличивали. При слое песка 7,5 см упругие деформации снизились по сравнению с деформациями в торфе в 3—4 раза. Наиболее интенсивное снижение наблюдалось при значениях толщины от 2,5 до 5 см.

Характерно, что с увеличением толщины песчаного слоя однородных образцов, когда песок опирался на жесткое основание, упругая деформация под пластиной при проходах колеса возрастала, а при тех же значениях толщины песчаного слоя слоистых образцов, когда песок опирался на податливый торфяной слой, упругая деформация снижалась. Из этого следует, что практически существует такая толщина песчаного слоя, когда нижний торфяной слой независимо от его размеров не будет оказывать существенного влияния на величину упругой деформации под колесной плитой.

При выборе методов стыковки плит необходимо учесть, что все приведенные закономерности упругих просадок пластин в зависимости от различных факторов относятся к значениям, замеренным под центром пластины при прохождении нагруженного колеса над этим местом. Опыты на модели выполнялись без стыковки пластин. Упругие просадки концов пластины при положении колеса над ними были в полтора — два раза выше, чем под центром.

Анализ результатов выполненной серии испытаний однородных и слоистых образцов из торфа и песка на специальной установке с движущимся колесом по пластине, моделирующей колесную плиту, позволяет сделать некоторые выводы. Упругие просадки колесных плит на торфе в десятки раз выше, чем плит, уложенных на песчаных грунтах. В торфе осушенной залежи упругие деформации в 3—4 раза ниже, чем в неосушенной. Упругие деформации под колесом пропорциональны нагрузке на колесо и остаются неизменными независимо от количества проходов колеса.

Песчаный слой на торфе значительно снижает величину упругих погружений колесных плит в основание под колесом транспорта, улучшает условия планировки и профилирования трассы дороги, повышает эксплуатационные скорости движения транспорта. Наиболее эффективным является слой песка, составляющий 0,3—0,5 от ширины плиты. При меньшем слое упругие

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 просядок 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