

деятель науки РФ, заведующий кафедрой  
«Гидротехнические сооружения»  
Тел. 8(499)976-24-60  
E-mail: rummyantsev.rumi@yandex.ru

Нань Фэн, магистр техники и технологий,  
аспирант  
Тел. 8(965)422-71-46  
E-mail: nanfeng@yandex.ru

УДК 502/504:627.82.034.93

**А. М. СИЛКИН, В. Я. ЖАРНИЦКИЙ, А. В. САВЕЛЬЕВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Московский государственный университет природообустройства»

## **ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ГРУНТОВ НА ПРОХОДИМОСТЬ МАШИН**

*Рассматриваются вопросы нарушения проходимости строительной техники по торфяной залежи, оценки несущей способности и возможности работы машин на торфяной залежи. Приводится обоснование результатов штамповых испытаний образцов торфов.*

*Проходимость, движитель, коэффициент динамичности, частота колебаний, угол внутреннего трения грунта, удельное сцепление грунта, критическая нагрузка, тиксотропность, динамическое и вибрационное воздействие, торф, степень разложения, степень зольности, несущая способность, очес, чати.*

*There are considered questions of passability failing of the building machinery on the peat deposit, assessment of the bearing capacity and possibility of the machinery operation on the peat deposit. Substantiation of the stamp tests results of peat patterns is given.*

*Passability, drive, dynamic factor, oscillation frequency, angle of the soil internal friction, soil specific adhesion, critical load, thixotropy, dynamic and vibration impact, peat, degree of decomposition, degree of ash content, bearing capacity, tow, chats.*

Проходимостью машин называют их способность перемещаться из пункта А в пункт Б. Проходимость машины зависит от ее характеристики: гусеничный или колесный движитель; цикличного или непрерывного действия (работы) машина; численное значение статистической нагрузки, передаваемой машиной на грунт, по которому она перемещается; коэффициент динамичности и частота колебаний динамической нагрузки. Проходимость машины зависит и от свойств грунта, по которому она перемещается.

Грунты, подразделяются на три класса: скальные, дисперсные и мерзлые [1]. Рассмотрим влияние дисперсных грунтов на проходимость машин: минеральных – влияние глинистых грунтов и биогенных – влияние торфов.

*Глинистые грунты* – глины, суглинки и супеси – в зависимости от количества воды, содержащейся в них, могут находиться в твердом, пластичном и текучем состоянии.

Все *глинистые грунты, находящиеся в твердом состоянии*, являются хорошим основанием (допустим такой термин) для любых движителей любых машин, а следовательно,

не являются препятствием с точки зрения проходимости машин (влияние рельефа местности здесь и далее не рассматривается).

*Глинистые грунты, находящиеся в текучем состоянии*, с точки зрения проходимости машин непригодны. Они имеют низкую прочность (несущую способность) или совсем ее не имеют.

*Глинистые грунты, находящиеся в пластичном состоянии*, обладают несущей способностью. При этом чем меньше влажность, тем выше несущая способность. Пределом несущей способности минерального грунта является вторая критическая нагрузка [2].

Имея показатель прочности грунта  $\varphi$  (угол внутреннего трения грунта) и  $c$  (удельное сцепление грунта), вторую критическую нагрузку  $P_{2cr}$  можно определить по следующей формуле:

$$P_{2cr} = (c \cdot \operatorname{ctg} \varphi) \cdot \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \cdot e^{\pi \varphi \operatorname{tg} \varphi} - c \cdot \operatorname{ctg} \varphi, \quad (1)$$

где  $c$  – удельное сцепление грунта, кПа;  $\varphi$  – угол внутреннего трения грунта, град;  $e$  – константа ( $e = 2,72$ );  $\pi$  – константа ( $\pi = 3,14$ ).

Если давление  $p$  передаваемое двигателем на грунт, равно или меньше  $p_{2cr}$ , то проходимость машины обеспечена. Но одноковшовый экскаватор, например, разрабатывая грунт, стоит на одном месте и передает на грунт динамическую, в том числе и вибрационную (от работающего двигателя) нагрузку, в результате чего грунт под гусеницей проявляет свои тиксотропные свойства – разжижается – и полностью теряет несущую способность. Экскаватор «тонет» и не может переместиться на следующую стоянку, т. е. теряет проходимость.

Тиксотропные свойства грунта зависят от его влажности и от силы внешнего воздействия. Чем больше влажность, чем больше сила внешнего воздействия (динамического, вибрационного), тем больше грунт разжижается. В проекте производства работ строителям даются рекомендации, обеспечивающие проходимость (перемещение экскаватора с одной стоянки на следующую).

Большое значение при оценке проходимости машин по тому или иному глинистому грунту имеет липкость. Липкость зависит от многих факторов: влажности, дисперсности, минерального состава грунта, прижимающего давления и т. д. Все факторы, влияющие на липкость грунта, так или иначе взаимосвязаны.

Определяющим фактором является влажность. На движители мелиоративных машин, передающих на грунт прижимающее усилие не более 50...100 кПа, глинистые грунты прилипают уже при влажности, близкой к влажности на границе раскатывания  $W_p$  [3].

Торф – грунт органического происхождения, своеобразное, относительно молодое геологическое образование, формирующееся в результате отмирания болотной растительности при избыточном количестве влаги и недостаточном доступе воздуха. Он представляет собой сплетенный из неразложившихся растительных остатков каркас, заполненный водой и каким-то количеством полностью разложившихся (гумусовых) веществ и мелких негумифицированных остатков.

Болотом называют участок территории, характеризующийся обильным застойным или слабопрочным увлажнением, на котором произрастает специфическая болотная растительность, где идет процесс торфонакопления; толщина ранее образовавшегося торфа такова, что живые корни основной массы растения не достигают подстилающего минерального грунта.

Толщина торфов от поверхности до под-

стилающего минерального грунта, называемого дном болота – это торфяная залежь. Для оценки свойств торфяной залежи необходимо иметь основные и производные показатели физических свойств, а также показатели физико-химических свойств, присущих только торфам – степень разложения  $D_{др}$  и степень зольности  $D_{ас}$ , от которых зависят все основные показатели физических и физико-механических свойств. Подавляющее число болот Российской Федерации сложено торфами со степенью разложения до 45...50 %.

В работах С. С. Корчунова и А. М. Силкина доказано, что механизм (картина) деформируемости и разрушения торфов до степени разложения 45 % в неосушаемых болотах и до степени разложения 75 % в осушаемых более одного года совершенно иная, чем картина (механизм) деформируемости минеральных грунтов [4, 5]. Поэтому формула (1) для оценки прочности торфов неприемлема. Анализируя результаты исследования деформируемости торфов, опубликованные в этих работах, и результаты проведенных исследований, авторы пришли к выводу, что наиболее полно физико-механическую сущность потери прочности торфяных залежей отображает формула, обоснованная С. С. Корчуновым [3]:

$$P = A + B (\Pi/F), \quad (2)$$

где  $P$  – несущая способность торфа залежи, кПа;  $A$  – удельное сопротивление торфа сжатию, кПа;  $B$  – удельное сопротивление торфа срезу по периметру штампа, кН/м;  $\Pi$  – периметр штампа, м;  $F$  – площадь подошвы штампа, м (отпечатка опорной поверхности движения, соприкасающейся с грунтом – торфом).

Геологический разрез торфяной залежи представляет собой напластование торфов различного ботанического состава и степени разложения. Верхний слой неосушаемых болот – это очес. Его толщина достигает нескольких десятков сантиметров. Он состоит из «только что» отмерших и практически совсем неразложившихся еще растений торфообразователей.

В гидромелиоративном строительстве обычно используют машины на гусеничном ходу. При одноразовом проходе машины по неосушаемому болоту очес может выполнять роль чати (хворостяного настила) и обеспечивать (при относительно большой скорости движения) ее проходимость.

Землеройные машины непрерывного действия имеют небольшую скорость движения, но в некоторых случаях она может быть достаточной для обеспечения их проходимости. Машины циклического действия

(одноковшовые экскаваторы), работая, стоят на одном месте. Очес, сильно сжимаемый слой, под стоящей (тем более работающей) машиной роль чати уже не выполняет, так как его толщина вместо десятков сантиметров, быстро уменьшаясь, становится равной всего лишь нескольким сантиметрам. Вся нагрузка вследствие этого полностью передается на нижележащий, уже разложившийся до какой-то степени торф. Очес из анализа несущей способности торфяной залежи должен быть исключен.

В гидромелиоративном строительстве используют обычно машины на гусеничном ходу, ширина гусениц (ширина отпечатка опорной поверхности движителя) составляет 50...100 см. Согласно закону распределения напряжений, в торфяной залежи (как и в минеральном грунте) наиболее нагруженными являются верхние слои, расположенные непосредственно под опорной поверхностью движителя [5]. На глубине, равной ширине отпечатка опорной поверхности движителя, вертикальное нормальное напряжение под ее центром составляет уже менее половины среднеконтактного (опорная поверхность движителя – торф), т. е. 25...50 кПа. Если же верхние слои торфяной залежи не выдерживают этого давления, то движитель машины погружается (проваливается) в нее. Для нарушения проходимости машины достаточно, как показала практика, провала движителя на 15...30 см. Следовательно, для оценки прохождения машины по той или иной залежи по трассе движения машины необходимо знать показатели прочности торфов *A* и *B*, входящих в формулу (2). Их определяют по результатам лабораторных штамповых испытаний образцов торфов залежи в приборе, разработанном на кафедре оснований и фундаментов ФГБОУ ВПО МГУП (авторское свидетельство № 153 388. СССР. 1963 год).

Чтобы избежать (свести к минимуму) влияния жестких стенок грунтоотборочного кольца и поддона прибора в результате «проб и ошибок», остановились на следующих размерах: диаметр образца, а следовательно, и диаметр грунтоотборочного кольца – 36 см; диаметр штампа – 8,74 см; высота образца (кольцо) – 20 см. Штамп передает нагрузку на испытуемый образец по его центру.

Из залежи отбирают не менее двенадцати образцов «близнецов». Шесть из них испытывают по схеме 1, другие – по схеме 2 (рис. 1).

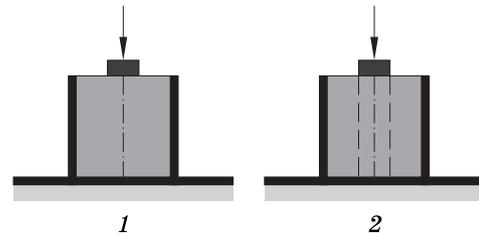


Рис.1. Схема испытаний образцов торфа при определении показателей прочности *A* и *B*: 1 – образец торфа ненарушенной структуры; 2 – образец торфа ненарушенной структуры, но с предварительным срезом (показано пунктиром) волокон каркаса по периметру штампа

Результаты испытаний выражают графически в виде зависимостей  $S = f(P)$ , где *S* – осадка штампа, *P* – нагрузка, передаваемая штампом на испытуемый образец. В качестве примера на рис. 2 приведены зависимости  $S = f(P)$  для образцов осокового торфа со степенью разложения  $D_{др} = 30\%$  и влажностью  $W = 800\%$ . На этом рисунке  $P_2$  предел несущей способности торфа, у которого предварительно сделан срез волокон по периметру штампа – это не что иное, как удельное сопротивление сжатию, т. е.  $P_2 = A$ . Разность между пределом несущей способности  $P_1$  торфа ненарушенной структуры и пределом несущей способности  $P_2$  торфа, у которого предварительно сделан срез, показывает общее сопротивление торфа по периметру штампа  $\Pi$  площадью *F*. Тогда, согласно формуле (2), удельное сопротивление торфа срезу  $B = (P_1 - P_2) (F/\Pi)$ . (3)

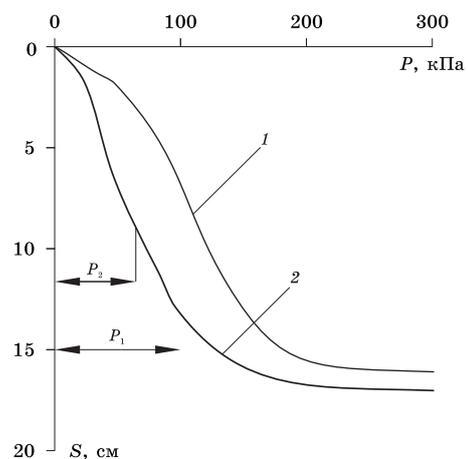


Рис.2. Зависимость осадок *S* штампа от постепенно возрастающей нагрузки *P*, передаваемой на образец осокового торфа с  $D_{др} = 35\%$  и  $W = 800\%$ : 1 – образец ненарушенной структуры; 2 – образец с предварительным срезом по периметру штампа

Определив таким образом показатели прочности  $A$  и  $B$ , по формуле (2) можно найти несущую способность залежи при различных размерах отпечатка опорной поверхности движителя машины, а сравнив ее с удельным давлением, передаваемым машиной на грунт, оценить возможность нормальной работы машины на данной залежи. При этом необходимо учитывать не только статическое удельное давление, но и коэффициент динамичности работающей машины.

Следует отметить, что предельную нагрузку, вызывающую потерю торфом несущей способности, точно определить невозможно – на кривой  $S = f(P)$  нет резких изломов; ее определяют, как и для минеральных грунтов, экстраполяцией опытной кривой.

1. ГОСТ 25100–2011. Грунты. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2013. – 38 с.

2. Цытович Н. А. Механика грунтов: Краткий курс: учебник. – Изд. 5-е. – М.: книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 272 с.

3. Сергеев Е. М. Грунтоведение. – М.: Изд-во МГУ, 1971. – 595 с.

4. Корчунов С. С. Исследование физико-механических свойств торфа: Труды ВНИИТП. – М.: Госэнергоиздат, 1953. – Вып. XII. – 232 с.

5. Силкин А. М. Сооружения мелиоративных систем в торфяных грунтах. – М.: Агропромиздат, 1986. – 137 с.

Материал поступил в редакцию 01.10.13.

**Жарницкий Валерий Яковлевич**, доктор технических наук, профессор кафедры «Экспертиза и управление недвижимостью»  
Тел. 8-905-720-30-72

E-mail: Zharnitskiy@msuee.ru

**Силкин Александр Михайлович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Основания и фундаменты»  
Тел. 8-916-510-43-64

**Савельев Александр Валентинович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Основания и фундаменты»  
Тел. 8-499-976-09-37

УДК 502/504:627.82.034.93

**В. Я. ЖАРНИЦКИЙ, Е. В. АНДРЕЕВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

**Н. Ф. ЖАРНИЦКАЯ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ивановский государственный химико-технологический университет»

## МЕТОДЫ ОПЕРАТИВНОГО УСТАНОВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ, УЛОЖЕННЫХ В ТЕЛО НИЗКОНАПОРНЫХ ПЛОТИН

*Рассматриваются методы установления закономерностей оперативного определения строительных показателей грунтов на основе корреляционно-регрессивного анализа экспериментальных данных, позволяющие учитывать межфакторные связи в грунтах.*

*Корреляционно-регрессивный анализ, зерновой состав грунта, плотность грунта, плотность частиц грунта, показатели пластичности грунта, квалификационный показатель (модуль), коэффициент детерминации, показатели стандартного уплотнения грунта, показатели прочности грунта, показатель водопроницаемости грунта.*

*There are considered methods of regularities establishment of efficient determination of soil building indicators on the basis of the correlative-regressive analysis of the experimental data which allow take into consideration inter-factor connections in soils.*

*Correlative-regressive analysis, grain composition of soil, density of soil, density of soil granules, indicators of soil plasticity, qualification indicator (module), coefficient of determination, indices of soil standard consolidation, indices of soil strength, indicator of soil water permeability.*