

МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ ШТАМПОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТОВ С ДЛИТЕЛЬНЫМ ЗАМАЧИВАНИЕМ

Освещен вопрос штамповых испытаний, проводимых для исследования загипсованных грунтов. Испытания направлены на установление суффозионной осадки с помощью применения тензорезисторных месдоз.

Ключевые слова: штамповые испытания, суффозия, суффозионная осадка, основания и фундаменты, длительное замачивание, тензорезисторные месдозы

В больших массивах грунтов, какими являются основания сооружений, процесс выщелачивания солей является более сложным, чем при компрессионно-фильтрационных испытаниях. Это привело к необходимости проведения полномасштабных штамповых испытаний непосредственно на стройплощадках г. Новый Узень и Тенгизского нефтегазоносного месторождения.

Постановка натуральных экспериментов выполнялась в соответствии с разработанной во ВНИИОСП методикой испытания засоленных грунтов статической нагрузкой, используя схему трех объединенных штампов [1]. Данная схема испытаний позволяет значительно сократить объем земляных работ, уменьшает трудоемкость испытания, обеспечивает устойчивость установки, а также позволяет проводить одновременное испытание одной и той же разновидности грунта при различных величинах действующего давления, которые создаются путем распределения грузов на платформах.

Для испытаний статическими нагрузками использовали железобетонные кубические и круглые металлические штампы площадью 5000 см². Нагружение штампов осуществляли бетонными блоками. Раскладка блоков производилась таким образом, что на крайние штампы приходилось, соответственно, 50 и 100 кН, а на средний 150 или 200 кН.

Груз при нагружении штампов укладывали на металлическую платформу. Конструкция платформы представляет

собой сваренные при помощи ребер жесткости (на расстоянии 0,5 м один от другого) два двутавра длиной 4 м.

При монтаже оборудования между грузовыми платформами и средним штампом укладывали катки, а между платформой и крайними штампами – уголки. Установка катков на среднем штампе исключает взаимное горизонтальное влияние штампов при их неравномерном вертикальном перемещении.

Загружение штампов осуществляли железобетонными блоками, дополнительная роль которых заключалась в том, что они перекрывали практически всю поверхность воды в котловане, закрывая ее от прямого воздействия солнечных лучей. Это в значительной степени препятствовало испарению, особенно интенсивному в летние месяцы. Вертикальные перемещения штампов в процессе длительного замачивания фиксировали высокоточным нивелированием с применением инварной рейки и нивелира II класса. Нивелировка осуществлялась относительно неподвижного репера в двух противоположных точках.

Реперы оборудовали на расстоянии 50 м от котлована вверх по рельефу, за пределами возможных увлажнений и деформаций грунта.

Для установки штампов отрывали котлован длиной 10 м, шириной 3 м и глубиной 0,7-1 м.

Для измерения напряжений в основании под штампами применяли тензорезисторные месдозы с гидравлическим пре-

* - автор, с которым следует вести переписку.

образователем конструкции ЦНИИСК типа ПДМ-70/Ш. Месдоза представляет собой круглый плоский диск диаметром 70 мм и высотой 10,5 мм. В конструкции месдозы ЦНИИСК имеются два чувствительных к давлению элемента – приемный поршень и измерительная мембрана диаметром 11 мм, разделенные прослойкой жидкости, являющейся гидравлическим рычагом. Давление грунта через приемный поршень и тонкий слой жидкости в полости гидравлического преобразователя передается на измерительную мембрану, деформации которой измеряются на основе изменения омического сопротивления с помощью фольговых тензорезисторов.

Для получения надежных и точных результатов измерений все месдозы, предназначенные для полевых исследований, были подвергнуты тщательной проверке. Особое внимание при этом уделялось проверке стабильности нулевых отсчетов и герметичности приборов, а также оценивалась чувствительность. Нестабильность нулевых отсчетов месдоз связана с релаксацией остаточных напряжений в мембране, возникающих в результате механической обработки при изготовлении. Чтобы ускорить эти процессы, все датчики были подвергнуты термостарению (циклическому нагреванию до 80°C и плавному охлаждению в течение суток). Месдозы, у которых разница в нулевых отсчетах после 9 или 10 циклов превышала 2 единицы по шкале прибора, отбраковывались. Проверка герметичности месдоз осуществлялась в специальной камере сжатым воздухом согласно методике [2, 3].

Чувствительность месдоз к давлению оценивалась путем гидростатической тарировки в тарировочном устройстве, изготовленном на базе масляного пресса. Для тарировки месдоза закладывалась в полость кондуктора, сверху укладывалась резиновая прокладка толщиной 2 мм и завинчивался фланец.

Тарировка заключалась в последовательном нагружении месдозы по образ-

цовому манометру давлением ступенями по 0,02 МПа от нуля до максимального расчетного давления. Затем так же ступенчато давление уменьшалось до нуля. После трех циклов нагружения для каждого датчика строили график, по которому определялись нелинейность, гистерезис и чувствительность. Датчики с гистерезисом, превышающим 3 %, и нарушенной чувствительностью, в опытах не использовались.

Существует прямолинейная связь между давлением и деформациями рабочей мембраны, что говорит об их высокой надежности.

Регистрацию показаний месдоз осуществляли с помощью электронного измерителя статических деформаций с автоматическим уравниванием моста, питающегося от источника переменного тока 220 в. Для питания прибора использовали передвижную электростанцию типа АВ –I-0/230.

Одним из важных этапов исследования напряженно-деформированного состояния основания при проведении штамповых испытаний является установка месдоз. Основными требованиями при установке приборов являются минимальное нарушение природного состояния массива, а также обеспечение сплошности контакта рабочей поверхности месдозы с грунтом.

Авторами разработан способ задавливания месдоз, обеспечивающий минимальные нарушения структуры грунта. Этот метод заключается в следующем. Пробуривали под каждый штамп по 2 скважины диаметром 190 мм и глубиной 1,3 м и 0,9 м. Затем в стенки скважины с помощью специального захвата задавливали месдозы под центром штампа, под его краем и на расстоянии 0,25 d от него.

Для предотвращения повреждения приборов при установке в маловлажный грунт месдозы задавливались не в цельный массив, а в щели, проделанные специальной лопаткой, размеры которой были на 2 мм меньше размеров месдоз.

После установки месдоз скважину заполняли грунтом, который был извлечен при бурении, с послойным трамбованием. До приложения первой ступени нагрузки подготовленное к испытанию основание выдерживали в течение 5-7 суток до стабилизации показаний месдоз. Затем осуществляли монтаж штампов и платформ.

Перед установкой штампов поверхность грунта котлована тщательно планировали и зачищали, после чего устраивали дренирующий слой толщиной 2-3 см из чистого песка средней крупности. Кабели месдоз пропускали через отверстия в штампе. Штампы притирали к песку тремя-четырьмя поворотами вокруг вертикальной оси с попеременным изменением направления поворота. Горизонтальность положения штампа проверяли высокоточным нивелированием относительно неподвижных реперов. Затем производили монтаж грузовой платформы.

С целью исключения размыва поверхности при длительной подаче больших масс воды в приямок, после установки штампов дно котлована покрывали дренирующим слоем утрамбованного песка толщиной 10-12 см, а сверху отсыпали слой гравия толщиной 5-7 см.

Перед испытанием на уровне установки штампов отбирали пробы для определения механических, физических и химических свойств грунта в лабораторных условиях (относительная просадочность, относительное суффозионное сжатие, природная плотность, влажность, гранулометрический состав, содержание легкорастворимых солей, гипса и карбонатов, рН среды).

При замачивании грунта в основании штампа воду подавали рассредоточенной струей с небольшой скоростью. Режим замачивания обеспечивал поддержание уровня воды на 5 см выше дренирующего слоя. Воду в основание штампа подавали водовозками. Положение уровня воды контролировали водомерными рейками. Определяли общий расход воды. В качестве замачивающей жидкости применяли

водопроводную воду с величиной плотного остатка 0,5 г/л.

После окончания испытаний (как и перед началом опыта) определяли физико-химические свойства грунтов.

Статические испытания грунтов с длительным замачиванием проводили в следующей последовательности. Вначале выполняли обычное штамповое испытание при естественной влажности с нагружением ступенями по 0,1 МПа до расчетной величины P_o .

После стабилизации осадки, при заданном давлении P_o , производили замачивание грунтовой толщи и определяли просадочность грунта.

Отсчеты осадок штампов при замачивании в первые сутки замеряли через 1 или 2 часа, в зависимости от скорости просадки, далее 1 раз в сутки. Наблюдение за просадкой вели до ее условной стабилизации (приращения, не превышающего 0,1 мм за 2 часа наблюдений), при промачивании на глубину не менее $2d$ штампа и заливки в грунт воды в количестве не менее расчетного значения Q (в м), определяемого по формуле

$$Q = \rho_d \cdot (W_{sat} - W_o) \cdot F \cdot h_{min} / \rho_w, \quad (1)$$

где ρ_d – плотность сухого грунта, т/м³;

ρ_w – плотность воды, т/м³; W_{sat} – влажность грунта, соответствующая его полному водонасыщению при степени влажности $S_r = 0,8$, доли единицы; W_o – среднее значение естественной влажности испытываемого грунта, доли единицы; F – приведенная площадь замачиваемого котлована, м², равная

$$F = (a + h_{min} / 2) \cdot (b + h_{min} / 2), \quad (2)$$

где h_{min} – минимально необходимая глубина замачивания, равная $2d$, м; a и b – ширина и длина замачиваемого котлована, м.

После условной стабилизации просадки продолжали дальнейшее замачивание грунтовой толщи, что дало возможность определить величину суффозионной осадки S_{sf} .

Периодичность замеров выбирали в зависимости от скорости суффозионной осадки – от одного раза в неделю до одного раза в месяц. За условную стабилизацию суффозионной осадки принимали деформацию, не превышающую 1 мм в течение недели при степени выщелачивания солей в пределах деформируемой зоны $\beta = 0,95$, определяемой по количеству профильтровавшейся воды Q_{sf} .

Величину Q_{sf} определяют по формуле

$$Q_{sf} = K \cdot F \cdot h \cdot \beta \cdot d_o \cdot \rho_{sq} \cdot \rho_w / (C_m - C_o) \cdot \rho_d, \quad (3)$$

где K – эмпирический коэффициент (для загипсованных пылеватых песков $K = 3$); β – степень рассоления грунта, доли единицы; d_o – начальное содержание гипса в грунте, доли единицы; ρ_d – плотность частиц гипса, т/м; C_m – концентрация насыщения фильтрующей воды гипсом, т/м; C_o – концентрация гипса в заливаемой воде, т/м; F – приведенная площадь замачиваемого прямока, м:

$$F = (a + h / 2) \cdot (b + h / 2), \quad (4)$$

здесь h – глубина деформируемой зоны; a, b – ширина и длина прямока.

Параллельно с измерением осадки штампов производили замер напряжений в массиве грунта под штампами. Было проведено 9 штамповых испытаний (3 установки по 3 штампа).

По результатам статических испытаний строили графики, включающие кривую зависимости осадки штампа от давления при естественной влажности, величину просадки при кратковременном замачивании и кривую зависимости $S_{sf} = f(t)$.

Приводятся также данные об изменении физических свойств и солевого состава грунтов по глубине в деформируемой зоне во времени.

По результатам испытаний засоленных грунтов вычисляли модуль деформации грунтов E_{zp} при естественной влажно-

сти, среднюю относительную просадочность ϵ_{sl} согласно ГОСТ 20276-85 «Грунты. Методы полевого определения характеристик деформируемости» и среднее относительное суффозионное сжатие ϵ_{sf} .

Модуль деформации грунта E_{zp} вычисляли для линейного участка графика $S = f(P)$ по формуле

$$E_{zp} = K \cdot (1 - \nu^2) \cdot D \cdot \Delta P / \Delta S, \quad (5)$$

где ν – коэффициент Пуассона, принимаемый равным 0,3 – для песков и супесей; K – коэффициент, принимаемый равным 0,79 для круглых и 0,88 для квадратных штампов; D – диаметр штампа, см; ΔP – приращение давления на штамп, МПа; ΔS – приращение осадки штампа, соответствующее P , см.

Величину средней относительной просадочности ϵ_{sl} , устанавливаемой по данным статических испытаний, определяли по формуле:

$$\epsilon_{sl} = S_{sl} / h_{sl}, \quad (6)$$

где S_{sl} – осадка штампа при кратковременном замачивании под заданным неизменным давлением P , см; h_{sl} – глубина деформируемой зоны, равная 0,7; 1,2; 1,7 и 2 диаметра штампа соответственно при давлениях $P = 0,1; 0,2; 0,3$ и 0,4 МПа, см.

Величину среднего относительного суффозионного сжатия определяли по формуле:

$$\epsilon_{sf} = S_{sf} / h_{sf}, \quad (7)$$

где S_{sf} – суффозионная осадка штампа, определяемая в процессе непрерывного замачивания основания под заданным неизменным давлением P , см; h_{sf} – глубина деформируемой зоны, принимаемая аналогично h_{sl} , см.

Литература

1. Рекомендации по определению деформационных свойств засоленных грунтов в полевых и лабораторных условиях /

НИИОСП им. Н. М. Герсевича. – М. – 1980. – 44 с.

2. Полищук, А.И. Экспериментальные исследования в натуральных условиях напряженно-деформированного состояния оснований под жесткими штампами: Автореферат диссертации на соиск. уч. степени канд. техн. наук. / А. И. Полищук. – М. – 1979. – 24 с.

3. Сидорчук, В.Ф. Основные метрологические требования при аттестации преобразователей давления грунта (ИДГ) / В. Ф. Сидорчук // «Исследования по строительным конструкциям и строительной механике». Труды у-та / ТГУ. – Томск, 1982. – С. 195-199.

УДК 624.139.2

С.И. Васильев, С.П. Ереско*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЗОННО-МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ СИБИРИ И СЕВЕРА

Приводятся результаты экспериментальных исследований прочностных характеристик сезонно-мерзлых и вечно-мерзлых грунтов Сибири и Севера. Получены количественные характеристики грунтовых условий эксплуатации машин для всех административных единиц региона, что позволяет прогнозировать сопротивляемость грунтов разработке и оптимизировать состав технологических машин для разработки грунтов в зависимости от региона и климатических условий эксплуатации.

Ключевые слова: грунт, прочность, гранулометрический состав, глубина залегания, промерзание, регион.

В зонах распространения сезонно-мерзлых и вечно-мерзлых грунтов планируется выполнить 13,7÷14,8 % региональных объемов земляных работ в период до 2020 года. В зоне Севера эти цифры равны 27,5÷30,2 %, в макроклиматическом районе «ХЛ» 28,2÷31,0 %.

На прочностные характеристики, определяющие сопротивляемость мерзлых грунтов разработке, влияют температура, гранулометрический состав и влажность. Исследования позволили получить коли-

чественные характеристики грунтовых условий эксплуатации машин для всех административных единиц региона. Результатом обработки массива экспериментальных исследований грунтов с каменными включениями [1] за период с 1984 по 1995 гг. явились уравнения аппроксимации распределения отрицательных температур и прочности грунта в зависимости от глубины залегания и режима промерзания (T_i) в Красноярском крае, Республике Саха, Иркутской области и Республики Бурятия.

* - автор, с которым следует вести переписку.