

УДК 624.13;626/627

Галинский А.М., к.т.н., с.н.с., НИИСП, г. Киев

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕСС УСТРОЙСТВА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО ЭКРАНА В ГРУНТЕ

АННОТАЦИЯ

Рассмотрена задача создания новой технологии устройства горизонтального противофильтрационного экрана под сооружением с целью защиты грунтов от загрязнения техногенными стоками. Проведены экспериментальные исследования по определению влияния технологических факторов на показатели процесса устройства горизонтального экрана под воздействием вертикального давления. Подобран состав твердеющего глино-цементно-песчаного раствора, позволяющий получить наименьшую водопроницаемость экрана. На основе полученных зависимостей обоснован выбор основного комплекта машин и оборудования для новой технологии устройства горизонтального экрана.

Ключевые слова: горизонтальный противофильтрационный экран; эксперимент; технологические факторы; раствор.

Среди множества проблем, связанных с защитой окружающей среды, следует выделить проблему защиты подземного пространства от загрязне-

ния техногенными стоками, а территорий от подтопления. Предотвращение распространения в грунте загрязненных стоков промышленных предприятий возможно путем устройства по периметру источника загрязнения вертикальных противофильтрационных диафрагм (экранов) и сопутствующих им дренажных систем.

Эффективность вертикального экрана зависит от наличия естественного водоупорного слоя грунта. В случае отсутствия водоупора на достигаемой глубине возможно устройство искусственного водоупора — горизонтального противофильтрационного экрана (ГПЭ) (рис.1), который может быть построен под существующим источником загрязнения (хранилищем токсичных отходов).

Такой горизонтальный экран вместе с вертикальным противофильтрационным экраном, возводимым, например, способом "стена в грунте", составляют замкнутую противофильтрационную конструкцию, которая препятствует распространению загрязненных стоков в грунте и подтоплению территорий.

В последнее время на вооружении строителей во всем мире, и в Украине в частности, широко применяются буровые комплексы, которые осуществляют проходку горизонтальных скважин с дневной поверхности методом горизонтально-направленного бурения (ГНБ).

Управляемый буровой инструмент забуривается под углом примерно 15° к горизонту, затем на определенной глубине принимает горизонтальное

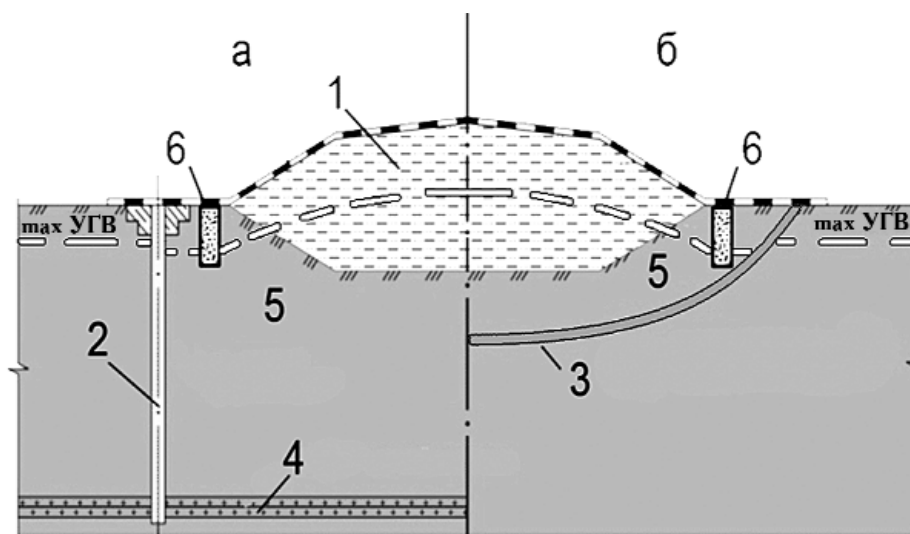


Рис. 1. Варианты локализации источника загрязнения

а — при наличии водоупора; б — при отсутствии водоупора

1 — хранилище; 2 — вертикальный экран; 3 — горизонтальный экран — искусственный водоупор; 4 — естественный водоупор; 5 — загрязненный грунт; 6 — дренаж

положение, и при дальнейшей проходке способен огибать различные препятствия, в том числе и подземную часть сооружения. Дистанционное управление такой проходкой может осуществляться на глубине до 15 м. При этом отклонение скважины составляет не более 5% от заданного направления. Длина таких скважин, выполняемых методом ГНБ, может достигать 1,5 км, а максимальный диаметр после уширения более 1м. Тяговое усилие установок ГНБ достигает 150т.

Для удержания стенок направляющих скважин от обрушения применяют глинистый раствор, аналогичный тому, который используется при строительстве сооружений способом "стена в грунте". Это технологически сближает оба способа и позволяет применять их в сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях.

В НИИ строительного производства (НИИСП) уже много лет разрабатывается и внедряется технология устройства вертикальных стен и противофильтрационных экранов способом "стена в грунте" вокруг сооружений, в том числе и устройство вертикальных "стен в грунте" между предварительно пробуренными вертикальными скважинами. Возможность создания горизонтальных скважин методом ГНБ позволила обосновать новую технологию по созданию аналогичного противофильтрационного экрана (диафрагмы) под сооружением, в горизонтальной плоскости или плоскости аутентичной подошвы сооружения (рис.2).

Технология устройства экрана под сооружением включает в себя бурение направляющих гори-

зонтальных скважин методом ГНБ, разработку грунта между скважинами специальным рабочим органом и заполнение образовавшейся горизонтальной полости противофильтрационным материалом (ПФМ) [1].

В лабораториях института на протяжении нескольких лет проводятся исследования технологических параметров устройства горизонтальных противофильтрационных экранов (ГПЭ) под сооружениями. Эти исследования направлены на изучение влияния вертикального давления на усилие перемещения рабочего органа в песках; оценку влияния вертикального давления на формирование горизонтального экрана из твердеющего раствора или полимерной пленки; подбор составов твердеющих растворов для обеспечения противофильтрационной надежности горизонтального экрана; изучение и оценку способов подачи растворов в горизонтальную полость, образованную специальным рабочим органом и т.д.

Для изучения возможности образования экрана в условиях воздействия вертикальной нагрузки первоначально в институте была создана специализированная модель приставка к серийному прибору ПСГ-2М (рис. 3)

Прибор ПСГ-2М предназначен для испытания грунтов на сдвиг. Рычажная система этого прибора обеспечивала вертикальную нагрузку на грунт, уложенный в лоток приставки, до 0,17 МПа, и горизонтальное усилие, необходимое для перемещения ножей, образующих полость в грунте, до 3 кН.

Для проведения испытаний был изготовлен комплект ножей с углами заточки от 11 до 250 и

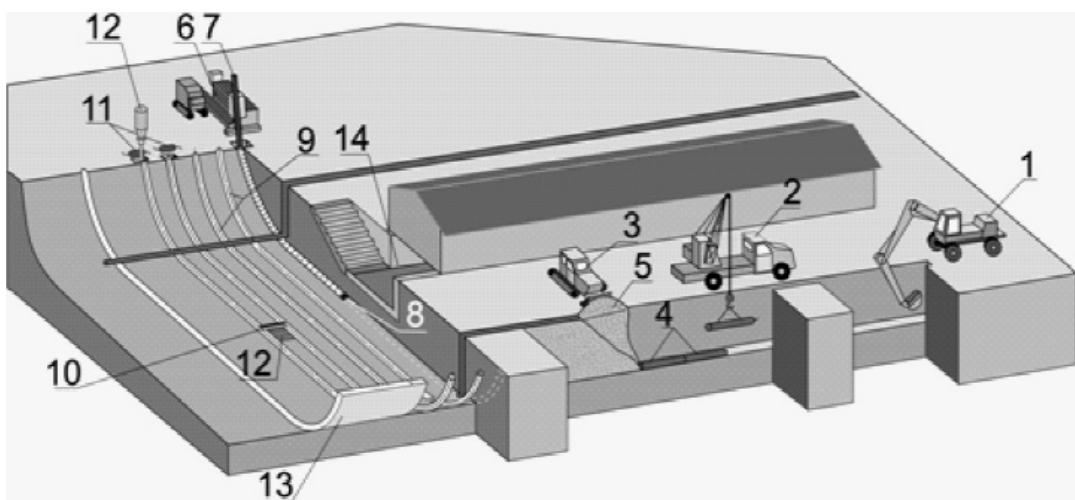


Рис.2. Устройство противофильтрационного экрана под сооружением

1 — экскаватор, 2 — автокран, 3 — бульдозер, 4 — дренажная труба, 5 — щебень для дренажа, 6 — установка ГНБ, 7 — буровая штанга, 8 — буровая головка, 9 — горизонтальная скважина, 10 — рабочий орган, 11 — лебедка, 12 — ПФМ, 13 — ГПЭ, 14 — хранилище

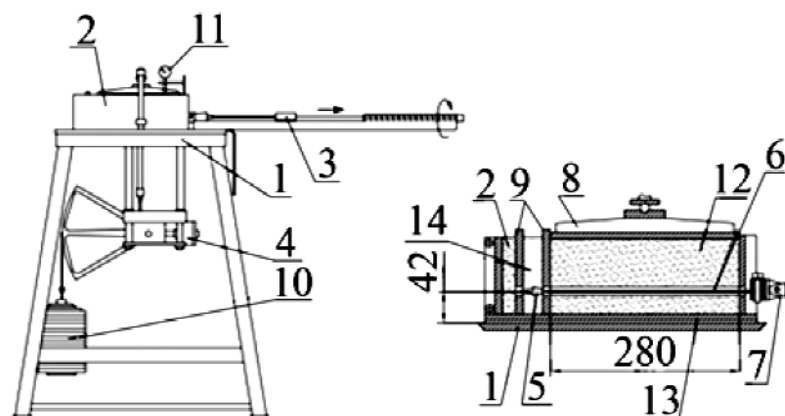


Рис. 3. Специализированная модель

1 — прибор ПСГ-2М; 2 — приставка; 3 — система перемещения ножа; 4 — система моделирования вертикальной нагрузки; 5 — нож (рабочий орган); 6 — тяговый трос; 7 — узел крепления троса; 8 — подвижная крышка лотка; 9 — перегородка; 10 — противовес; 11 — индикатор; 12 — грунт; 13 — лоток; 14 — раствор

нож с радиальной кромкой. В проведенных исследованиях грунт был представлен мелкозернистым песком влажностью от 0 до 18%.

Анализируя процесс устройства ГПЭ на специализированной модели, отмечено, что взаимодействие рабочего органа и грунтовой среды происходит в замкнутом пространстве, практически без отвала грунта с его уплотнением вокруг рабочего органа.

Исследованиями установлено, что удельное сопротивление перемещения рабочего органа с углом резания от 11 до 250 возрастало с повышением степени плотности песка от 0,24 до 0,6, а при большей плотности практически оставалось постоянным, а максимальная величина удельного сопротивления перемещению рабочего органа с радиальной заточкой в песках, при вертикальном давлении 0,1 МПа составляла 5,43 МПа.

При проведении исследований в качестве противофильтрационного материала (ПФМ) испытывались растворы плотностью 1,48 г/см³ на основе глины, цемента и песка, а также растворы плотностью 1,72-1,87 г/см³, на основе цемента и золы.

Установлено, что с технологической точки зрения применение растворов без песка только на основе цемента и золы оказалось более сложным и менее надежным в части образования сплошного экрана, чем применение растворов на основе глины, цемента и песка.

Если создание сплошного горизонтального экрана из растворов на основе глины, цемента и песка при вертикальном давлении на песок 0,09 МПа было возможно при скоростях перемещения рабочего

органа 6-9 см/мин, то создание экрана из растворов без песка, было возможно только при значительном увеличении скорости перемещения рабочего органа до 20 см/мин (рис.4). При этом особое влияние на возможность создания экрана из раствора на основе цемента и золы оказывала его водоотдача [2].

Также следует отметить, что непрерывная подача ПФМ вслед за ножом через устье образовавшейся за ним полости в случае технологических остановок оказывалась невозможной, вследствие схватывания раствора или обрушения полости.

Исследованиями на специализированной модели установлены технологические параметры процессов образования и заполнения полости раствором под воздействием вертикального давления (удельное сопротивление перемещению рабочего органа, скорость его перемещения, параметры раствора и т.д.), позволившие наметить задачи дальнейших исследований на крупномасштабном лабораторном стенде и определить его конструктивно-технологические параметры

Способ устройства ГПЭ под сооружением с использованием метода ГНБ для проходки горизонтальных скважин предусматривает после образования скважин затягивание в них специальных ограничителей, обеспечивающих устойчивость скважин, направление перемещения рабочего органа и объединение отдельных горизонтальных полос экрана между собой [1].

Поэтому основными элементами стенда для моделирования технологии устройства ГПЭ являются: бункер для грунта (песка); крышка с эластичным днищем с возможностью нагнетания в нее

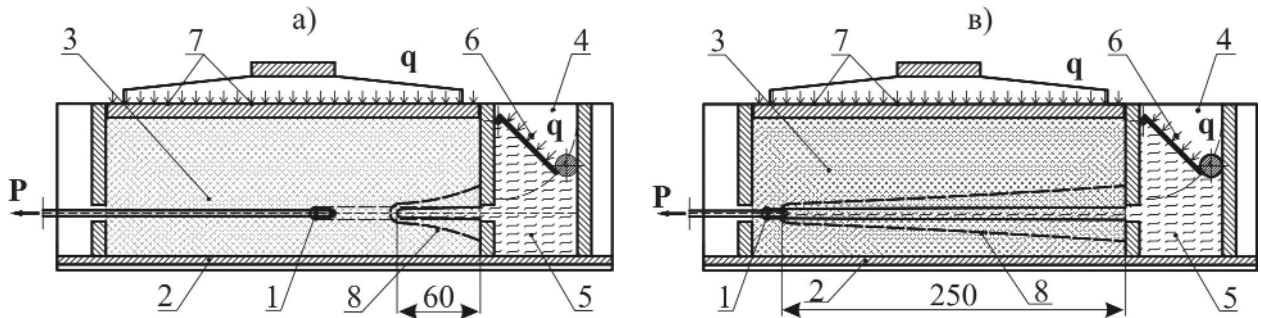


Рис. 4. Схемы заполнения пор песка ПФМ по мере образования полости

а) ПФМ плотностью $1,72 \text{ г/см}^3$, скорость 6 см/мин ; в) ПФМ плотностью $1,75 \text{ г/см}^3$, скорость 20 см/мин ;
1 – нож; 2 – грузовой отсек; 3 – сухой песок; 4 – малый отсек; 5 – ПФМ; 6 – дополнительное давление;
7 – вертикальная нагрузка; 8 – граница влажного песка

компрессором воздуха, для моделирования избыточного вертикального давления на грунт и экран; трубы с перегородкой и горизонтальными прорезями (ограничители), моделирующие горизонтальные скважины с ограничителями; гидравлическая система подачи ПФМ; привод перемещения рабочего органа; рабочий орган с радиальной формой режущего элемента; полые тяги для соединения рабочих органов с приводом (Рис.5)

С учетом того, что на специализированной модели была отмечена неэффективность подачи ПФМ в горизонтальную полость со стороны ее устья для стенда, были созданы рабочие органы с форсунками для подачи ПФМ непосредственно за рабочий орган по мере его перемещения.

При проведении исследований горизонтальный экран создавался внутри бункера стенда, ко-

торый был предварительно заполнен песком. Экран состоял из трех параллельных полос, образуемых между ограничителями рабочих органов с форсунками, через которые в полость за рабочим органом подавался раствор ПФМ [3,4].

Усилия, необходимые для перемещения рабочего органа и создания экрана, измерялись измерительной тензометрической системой.

Технологические исследования проводились с использованием метода планирования экспериментов по 15 – ти точечному симметричному плану [5,6].

Условия создания полос экрана на стенде при технологических исследованиях задавались тремя факторами, за которые были приняты: вертикальное давление на экран с пределами варьирования $0,004\text{--}0,08 \text{ МПа}$. (X_1), создаваемое весом песка, за-

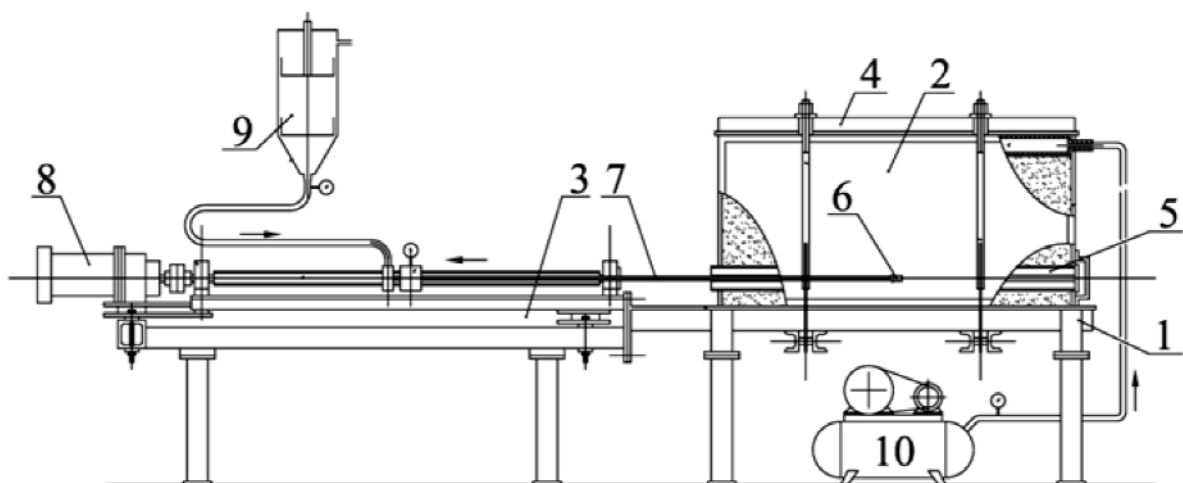


Рис. 5. Стенд моделирования технологии устройства горизонтального экрана

1 – опора бункера; 2 – бункер; 3 – опора привода; 4 – крышка с эластичным днищем; 5 – ограничитель;
6 – рабочий орган; 7 – тяговые трубки; 8 – привод перемещения рабочего органа;
9 – гидравлическая система подачи ПФМ; 10 – компрессор

полнявшего бункер, и дополнительным давлением от компрессора, давление подачи твердеющего ПФМ с пределами варьирования 0,07 — 0,1 МПа (X_2) и плотность твердеющего ПФМ с пределами варьирования 1,2–1,35 г/см³ (X_3), подаваемого через форсунки рабочего органа.

Функциональные зависимости влияния факторов оценивались пятью основными функциями отклика: удельным сопротивлением перемещению рабочего органа, N_{Σ} , Па; расходом раствора, подаваемого в полость, $Q_{p-ра}$, дм³, влажностью песка вокруг экрана, $\omega_{п}$ %, влажностью экрана, $\omega_{э}$ %, плотностью экрана после твердения, $\rho_{э}$, г/см³.

В результате проведенных экспериментов получены математические зависимости влияния факторов на функции откликов:

$$N_{\Sigma} = 41,624 + 22,686 X_1 - 2,056 X_2 - 2,162 X_3 + 0,694 X_{12} - 1,594 X_1 X_2 - 0,444 X_{32} - 1,136 X_2 X_3;$$

$$Q_{p-ра} = 5,214 + 0,664 X_{12} + 1,19 X_2 - 0,95 X_3 - 0,313 X_1 X_2 - 1,036 X_{22} + 0,762 X_2 X_3;$$

$$\omega_{п} = 6,9 + 1,36 X_1 - 0,84 X_2 - 0,59 X_3 - 0,613 X_1 X_2 + 4,24 X_{12};$$

$$\omega_{э} = 61,2 - 8,5 X_1 + 5,28 X_{32} - 5,98 X_3 - 6,263 X_1 X_2;$$

$$\rho_{э} = 1,64 + 0,05 X_1 + 0,02 X_2 + 0,044 X_3 - 0,024 X_{32} - 0,029 X_1 X_3 + 0,031 X_2 X_3 + 0,036 X_{12}$$

Анализ функций отклика методами экспериментально-статистического моделирования [7] показал, что вертикальное давление на экран (фактор X_1), наибольшее влияние оказывает на удельное сопротивление перемещению рабочего органа, на влажность песка и влажность экрана. На расход раствора — наибольшее влияние оказывает давление подачи раствора (фактор X_2), а на плотность экрана — практически в равной степени, давление подачи раствора (фактор X_2) и плотность раствора (фактор X_3).

Рассматривая один из основных показателей технологического процесса — удельное сопротивление перемещению рабочего органа при образовании экрана, следует отметить, что влияние вертикального давления (фактор X_1) имеет прямую зависимость и в наибольшей степени оказывает воздействие на этот показатель, изменяя его в пределах факторного пространства от 0,21 до 0,71 МПа.

Влияние давления подачи (фактор X_2) и плотности твердеющего раствора (фактор X_3) имеет обратно пропорциональную зависимость и выражено не так явно, и, при изменении X_2 и X_3 в пределах факторного пространства величина удельного сопротивления при изменении давления подачи раствора колеблется от 0,71 до 0,66 МПа, а при изменении плотности твердеющего раствора от 0,71 до 0,68 МПа. То есть, увеличение давления подачи и плотности раствора приводит к уменьшению удельного сопротивления перемещению рабочего органа (тягового усилия).

По результатам экспериментально-статистического моделирования, приняв в качестве критериев оптимальности удельное сопротивление перемещению рабочего органа, плотность экрана и расход раствора, для вертикальной нагрузки на экран $X_1 = +1$ (0,08 МПа), что соответствует глубине залегания экрана 5м, построена совмещённая диаграмма (рис.7), позволившая определить область (А, В, С, D) допустимых значений показателей технологии устройства экрана. Для заданных граничных условий, при технологических факторах (точка В): $X_1 = 0,08$ МПа; $X_2 = 0,078$ МПа и $X_3 = 1,35$ г/см³, результирующие показатели технологии составят: $N_{\Sigma} = 0,64$ МПа; $Q_{p-ра} = 3,93$ дм³; $\omega_{п} = 12,59$ %; $\omega_{э} = 54,94$ %; $\rho_{э} = 1,69$ г/см³.

Анализируя полученные результаты, следует отметить, что величина удельного сопротивления перемещению рабочего органа полученная на приставке к сдвиговому прибору значительно превышает этот показатель, полученный на стенде. Это объясняется тем, что в экспериментах на приставке зона уплотнения песка при перемещении рабочего органа была ограничена размерами лотка, что принципиально отличается от реальных условий, при которых среда представляется как бесконечный объем, в то время как эксперименты на крупномасштабном стенде значительно ближе к реальным условиям.

Анализ влияния технологических факторов на внешний вид полос экрана показал, что при вертикальных давлениях 0,004 МПа (нижний уровень факторного пространства) при всех значениях давления подачи и плотности раствора в пределах факторного пространства выполнить полосы экрана не удалось. (Рис.8а).

При вертикальных давлениях 0,042 МПа (нулевой уровень факторного пространства) практически при всех значениях давления подачи и плот-

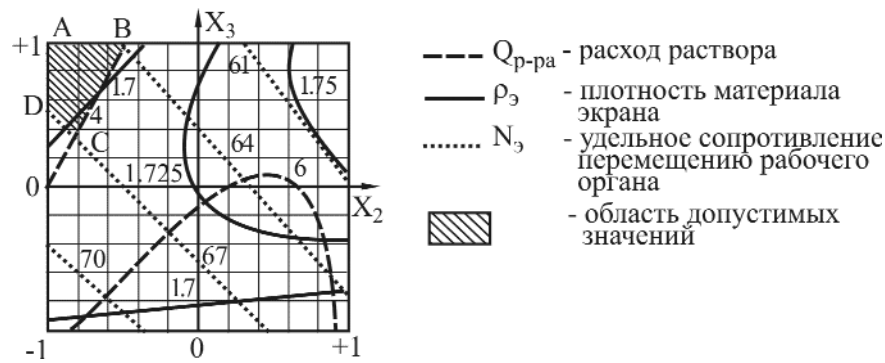


Рис. 7. Совмещённая диаграмма зависимости показателей N_3 , ρ_3 и $Q_{p-ра}$ от технологических факторов X_2 и X_3 при $X_1 = +1$ (0,08 МПа)

ности раствора в пределах факторного пространства поверхность полос экрана получалась волнистой с ребрами высотой около 0,5–0,7 см и длиной волны от 2 до 3 см (Рис. 8 б).

В то же время, при вертикальном давлении на экран 0,08 МПа (верхний уровень факторного пространства) и давлении подачи 0,1 и 0,085 МПа полосы экрана получались плотными и однородными по сечению, ширина полос соответствовала длине "режущей" части рабочего органа (рис.8в). При давлении подачи 0,1 МПа и плотности раствора 1,35 г/см³ толщина экрана (19–20 мм) практически равнялась высоте рабочего органа, а обводнение песка вокруг экрана составляло 2–6 см при зоне уплотнения 1,5–2 см.

Из этого следует, что на качество экрана в значительной степени влияет давление нагнетания (подачи) раствора в грунтовую полость, которое практически не должно превышать вертикальное давление, создаваемое на экран.

Количество раствора, необходимого для создания экрана, увеличивается с повышением давления его подачи, а увеличение плотности раствора уменьшает его количество, необходимое для создания равномерной, сплошной полосы ГПЭ, то есть плотность экрана определяется содержанием твердой фазы в твердеющем растворе.

Метод планирования эксперимента был применен и при подборе состава твердеющего ПФМ. В этом эксперименте был применен более простой план в виде полуреплики от полного факторного эксперимента 2^{3-1} .

Перед проведением этой серии экспериментов были определены требования, предъявляемые к твердеющему раствору: раствор в жидком состоянии должен обладать тиксотропными свойствами и свойствами инъекционного раствора — быть подвижным, не расслаиваться и свободно проходить по системе подачи раствора, а в затвердевшем состоянии — обладать требуемой водонепроницаемостью и иметь возможность воспринимать вертикальное давление от вышерасположенных грунта и фундаментов сооружения.

Подбор состава твердеющего раствора определялся соотношениями входящих в него компонентов: бентонитового порошка, цемента, песка и воды [8].

Выбранные для планирования эксперимента факторы — расходы бентонитовой глины, цемента и воды, отвечали основным требованиям, предъявляемым к переменным величинам. Факторы являются управляемыми, количественными, совместимыми и некоррелированными между собой.

За функции отклика при подборе состава раствора приняты: прочность при сжатии, прочность

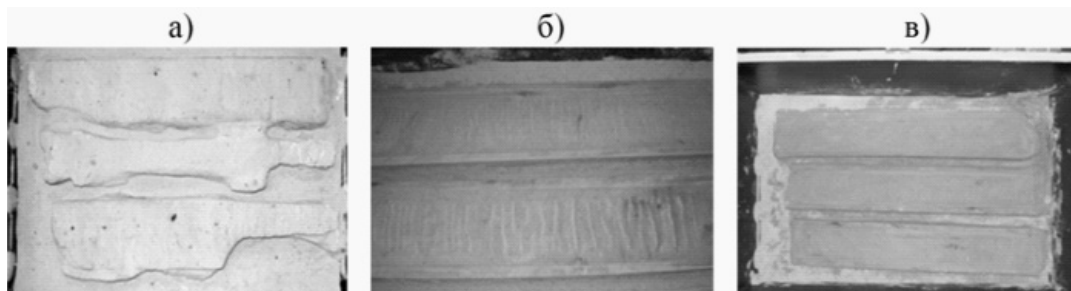


Рис. 8. Образцы полос экрана.

на растяжение при изгибе, влажность по массе и коэффициент фильтрации.

Экспериментами по подбору состава твердеющего раствора установлено, что наименьшая водопроницаемость экрана достигалась при таких соотношениях компонентов: бентонитовой глины — 106 г/л, цемента — 141 г/л, воды — 792 г/л и песка — 307 г/л.

На основании проведенных исследований получены технологические параметры, позволившие разработать инновационную технологию устройства искусственного горизонтального противofiltrационного экрана на базе метода горизонтально-направленного бурения.

Для инновационной технологии разработана типовая технологическая карта для экрана размером 100 * 50 м, толщиной 15 см под существующими сооружениями на глубине до 5 м от уровня дневной поверхности в песчаных и супесчаных грунтах, в том числе водонасыщенных [9].

Проведен выбор основного комплекта машин и оборудования, в том числе, ведущей машиной для технологии устройства горизонтального противofiltrационного экрана принята буровая установка горизонтально-направленного бурения скважин со следующими параметрами: диаметр пионерного бурения скважины — не менее 100 мм; максимальное расширение скважины — не менее 700 мм; тяговое усилие — не менее 27 т; длина скважины — не менее 100 м.

В технологической карте, кроме основных технологических процессов, предусмотрены: схема организации строительной площадки, порядок, методы и оборудование для контроля качества выполняемых работ и применяемых материалов, а также новая ресурсная элементная сметная норма на устройство 100 м² горизонтального экрана.

Выводы:

1. Экспериментальными исследованиями на специализированной модели и крупномасштабном стенде обоснована возможность создания горизонтального противofiltrационного экрана под воздействием вертикального давления.

2. Экспериментально-статистическими методами установлены закономерности изменения показателей, в наибольшей степени характеризующих технологию устройства экрана: удельного сопротивления перемещению рабочего органа, расхода раствора, подаваемого в полость, влажности песка вокруг экрана, влажности экрана и плотности экрана после твердения и влияние на них технологи-

ческих факторов: вертикального давления, давления подачи и плотности твердеющего раствора.

3. Разработаны основные требования к свойствам глино-цементно-песчаного раствора, определены закономерности изменения его физико-механических характеристик и оптимизирован состав твердеющего раствора для создания горизонтального противofiltrационного экрана.

4. Разработана инновационная технология устройства горизонтального противofiltrационного экрана, для которой методически обоснован выбор основного комплекта машин и оборудования, а также определена новая ресурсная элементная норма в расчете на 100 м² экрана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 35065 А Украина, МПК Е 02 D 29/00. Способ устройства экрана под сооружением / А.М. Чернухин, А.М. Галинский ; заявл. 05.08.1999; опубл. 15.03.2001 г. Бюл. № 2.

2. О.М.Чернухін, О.М.Галінський, та ін. Дослідження процесу укладки тампонажних матеріалів у порожнину для створення горизонтального екрана під спорудою. Нові технології в будівництві, Київ, 2002, №1(3), с.44-49.

3. Galinskiy A. Research of technology of construction of horizontal impervious screen under the existing structures Conference proceedings. XV Danube — European Conference on Geotechnical Engineering (DECGE 2014) 9-11 September 2014, Vienna, Austria. — Volume 2. — Paper No. 1213-1219.

4. Галінський О.М. Дослідження технологічних параметрів влаштування горизонтальних протифільтраційних екранів під спорудою на основі методу горизонтально-направленого буріння / О.М. Галінський // Світ геотехніки. — Київ : НДІБК, 2015. — №1(45). — С. 17-21.

5. Адлер Ю.П. и др. Планирование экспериментов при поиске оптимальных условий. — М.: Наука, 1971.-284с.

6. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский. — Изд. 2. — М. : Финансы и статистика, 1981. — 263 с.

7. Методические рекомендации по применению экспериментально-статистических моделей для анализа и оптимизации состава, технологии и свойств композиционных материалов на основе щелочных вяжущих систем / [В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, С.В. Савченко и др.] — ОГАСА, НИИВМ — Киев, 1996. — 105 с.

8. Галинский А.М. Подбор состава твердеющего раствора для устройства горизонтального противофильтрационного экрана / А.М. Галинский // *Строительные материалы и изделия*. — Киев : НИИ-ИСМИ, 2015. — № 3-4. — С. 24-29.

9. Технологічна карта улаштування горизонтального протифільтраційного екрану під існуючими спорудами з використанням технології горизонтально направлено буріння / О.М. Галінський, С.А. Марчук, О.М. Чернухін // *Технологічна карта*. — К. : ДП "НДІБВ", "ЦП "КОМПРИНТ", 2015. — 60 с.

АНОТАЦІЯ. Розглянуто завдання створення нової технології влаштування горизонтального протифільтраційного екрану під спорудою з метою захисту ґрунтів від забруднення техногенними стоками. Проведено експериментальні дослідження з визначення впливу технологічних факторів на показники процесу влаштування горизонтального екрану під дією вертикального тиску. Підібраний склад глино-цементно-піщаного розчину, що твердіє, який дозволяє отримати найменшу водопроникність екрану. На основі отриманих залежностей обґрунтований вибір основного комплексу машин і устаткування для нової технології влаштування горизонтального екрану.

Ключові слова: горизонтальний протифільтраційний екран; експеримент; технологічні фактори; розчин.

ABSTRACT. The problem of creation of new technology for the device horizontal impervious screen under construction to protect the soil from contamination by man-made drains. Experimental studies to determine the impact of technological factors on the process performance of the device's horizontal screen. Picked up the hardening composition of the clay-cement-sand mortar, allowing you to get the lowest permeability screen. On the basis of the dependencies justification of the choice of the basic set of machinery and equipment for the new technology devices horizontal screen.

Key words: horizontal impervious screen; experiment; technological factors; solution.

УДК 69.059.4 Б 43

**Гайдайчук В.В., д.т.н.; Белов І.Д., к.т.н.;
Вабіщевіч М.О. к.т.н.; Дедов О.П., к.т.н.,
КНУБА, м. Київ**

ДІАГНОСТИКА І МОНІТОРИНГ УНІКАЛЬНИХ БУДІВЕЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ

АНОТАЦІЯ

В статті розглянутий стан нормативної документації по забезпеченню конструктивної безпеки будівельних об'єктів в Україні. Розроблена методологія діагностики, основний порядок і етапи проведення моніторингу. Наведені принципи математичного моделювання об'єктів будівництва. Надані практичні приклади компонування систем раннього виявлення дефектів, приведена комплексна структура вимірювань та приклади технічного оснащення.

Ключові слова: вібрація, діагностика, конструктивна безпека, математичне моделювання, моніторинг, надійність.

Вступ. При збільшенні масштабів будівництва складних об'єктів з унікальними архітектурно-інженерними рішеннями, задача збереження безпеки та експлуатаційної надійності, як основних конструкцій, так і об'єкта в цілому все більше стає актуальною. Основним інформаційним джерелом для розв'язання цієї задачі є постійне або періодичне діагностування будівель і споруд, особливо тих, які належать до четвертої або п'ятої категорій складності і за можливими наслідками відмов до класів СС2-3[3]. В системі забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів діє основний нормативний документ ДБН В.1.2-14-2009 "Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ", який регламентує комплекс вимог, пов'язаний із забезпеченням конструктивної безпеки будівельних об'єктів впродовж їх життєвого циклу, у тому числі діагностування і моніторинг будівель та споруд (розділ 9)[1].

Мета — створення методології діагностики і моніторингу та забезпечення єдиного підходу реалізації діагностично-моніторингових систем для унікальних будівельних об'єктів.

Технічне діагностування і прийняття на його підставі управлінських рішень дозволяє оперативно