

АРМИРОВАНИЕ ГРУНТА ГЕОТЕКСТИЛЬНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Приведен анализ экспериментальных результатов исследований армирования грунта геосинтетическими материалами.

Ключевые слова: *геоматериал, армирование, эксперимент.*

АРМУВАННЯ ҐРУНТУ ГЕОТЕКСТИЛЬНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Наведено аналіз експериментальних досліджень армування ґрунту геосинтетичними матеріалами.

Ключові слова: *геоматеріал, армування, експеримент.*

THE SOIL REINFORCEMENT WITH THE USE OF GEOMATERIALS

The analysis of experimental results of study of soil reinforcement by geomaterials is presented.

Keywords: *geomaterial, reinforcement, experiment.*

Введение. В настоящее время в строительной практике не редко приходится использовать площадки, которые считаются непригодными или неудобными для строительства. Это затопляемые паводками территории, площадки с резкими перепадами высот, территории со слабыми грунтами, отработанные карьеры, реконструируемые причалы и сооружения.

Использование этих площадок без специальной подготовки невозможно. В качестве подготовки используют различные мероприятия: намыв территории до незатопляемых отметок и подсыпание привозного грунта с целью вертикального планирования площадок или для устройства песчаных или грунтовых подушек.

Для снижения материалоемкости и стоимости фундамента существуют способы, которые позволяют повысить несущую способность основания. Особое внимание стоит обратить на метод армирования грунтов с помощью геотекстильных материалов, которые широко используются в мировой практике.

Обзор последних источников исследований и публикаций. Исследования характеристик грунтового массива, армированного геоматериалами, провели М.Ф. Друкованый, С.В. Матвеев Б.Б. Корчевский [1, 2]. Эти авторы изучали характеристики грунтового массива, который был армирован геоматериалом горизонтально. Данной группой исследователей было рассмотрено 4 варианта схем: 1 – естественное основание; 2 – фундамент с песчаной подушкой; 3 – фундамент с песчаной

подушкой и 3-мя слоями геосетки; 4 – фундамент с песчаной подушкой, которая армирована оболочкой с 2-мя слоями геосетки.

Опыты проводились в открытых котлованах с размерами 3,0×1,0×1,0 м. В качестве фундамента использовался жесткий металлический штамп с размерами 0,5×0,5 м и высотой 0,2 м. Была использована стекловолоконная сетка с размерами ячеек 5×7 мм, термически обработанная пульвербакелитом. Подушка сделана из однородного среднезернистого песка. Он укладывался слоями по 5 см с плотной трамбовкой. Длина сетки была равна длине подушки. Нагрузка прикладывалась на поверхности ступенями по 0,04 МПа и удерживалась до условной стабилизации. Деформации измерялись с помощью двух прогибомеров ПАО-6, установленных на двух противоположных сторонах штампа. Результаты экспериментальных исследований подтвердили позитивный эффект армирования. Уменьшение осадки основания в сравнении с неармированным основанием составляло: 1–31%; 2–49%; 3–57%. При лотковых испытаниях аналогичных моделей были получены следующие результаты: 26; 38; 48%. Это говорит о том, что лотковые испытания занижают в среднем на 5 – 9% позитивный эффект армирования.

Постановка задачи. Для определения возможности использования геотекстильных материалов при реконструкции и ремонте гидротехнических сооружений, а также для выбора оптимального положения армирующего слоя геоматериала в лабораториях кафедры морских, речных портов, водных путей и их технической эксплуатации ОНМУ были проведены экспериментальные исследования.

Основной материал и результаты. При проведении экспериментов в лаборатории ОНМУ кафедры МРПВП и ТЭ прежде всего были определены наиболее значимые факторы, влияющие на прочностные и деформативные характеристики оснований. На основании этого был разработан план проведения экспериментов. Это позволило, с одной стороны, оптимизировать количество проводимых опытов, а с другой – добиться точности построенной математической модели. В результате было определено 4 основных значимых фактора, которые влияют на работу тонкостенной конструкции:

- 1) высота гибкой стенки;
- 2) расположение слоев армирования в засыпке грунта за стенкой;
- 3) величина равномерно распределенной нагрузки на поверхности засыпки;
- 4) количество слоев армирования.

Анализ полученной модели зависимости свободной высоты стенки, относительной глубины погружения, перемещения анкерной опоры, а также величины равномерно распределенной нагрузки показал хорошую сходимость полученных данных с расчетными результатами. Для эксперимента использовался лоток с размерами: длина $l = 0,81$ м; ширина

$b = 0,69$ м; высота $h = 0,48$ м. Для модели подпорной стенки использовался лист оргстекла толщиной 10 мм, для засыпки – кварцевый песок. С целью определения величины нагрузки на подпорную стенку использовались датчики часового типа, для которых предварительно были построены тарировочные кривые. Эксперимент проводился в три этапа: отсыпка песка за лицевую стенку без ее армирования; засыпка песка за лицевую стенку с армированием засыпки на 0,5 высоты стенки (1-й слой армирования) и армирование засыпки в два слоя (1/3 и 3/4 высоты стенки). Были проведены четыре опыта в каждой серии. Нагрузка располагалась на поверхности засыпки и прикладывалась ступенями.

В лаборатории кафедры МРПВПиТЭ ОНМУ также были проведены опыты, целью которых было определение прогибов подпорной стенки при разной высоте засыпки.

Большинство подпорных стенок работает в условиях плоской деформации, т. е. при отсутствии перемещения вдоль продольной оси, а касательные напряжения по площадкам, перпендикулярным к этой оси, равны нулю. Измерения смещения боковой стенки лотка показали, что условие плоской деформации в экспериментальной установке выполняется. Опыты, проведенные П.И. Яковлевым и М.П. Варгиным, А.И Пасечником, показали, что тормозящее действие боковых стенок экспериментального лотка, выполненных из стекла, сказывается только в непосредственной близости. При отношении ширины к длине $b/l = 0,8$ м уменьшение давления равно 12%. В нашем случае отношение составило $b/l = 0,94$.

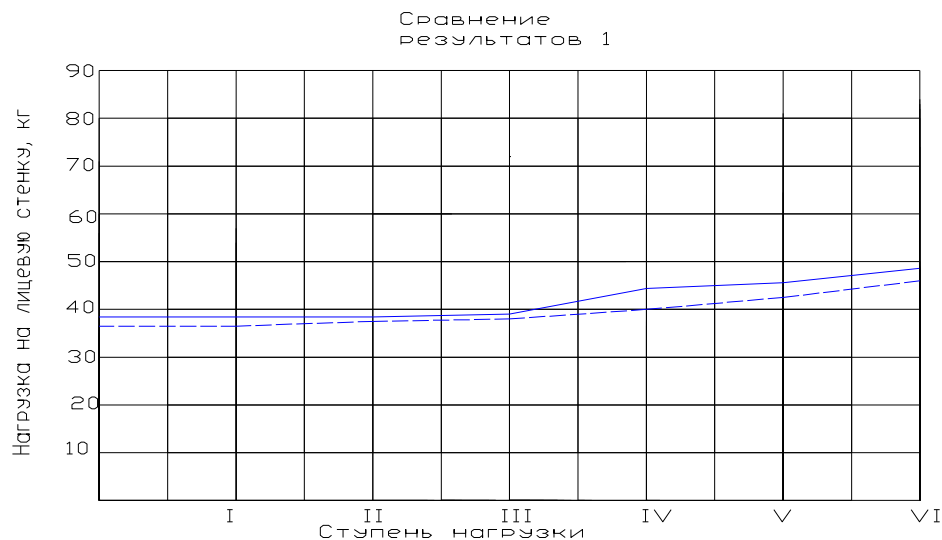


Рис. 1. Результаты, полученные для армированного и неармированного грунта

В результате проведенных опытов можно сделать вывод, что горизонтальное армирование засыпки геотекстильным материалом снижает нагрузку на стенку:

- при армировании в один слой – на 12%;

– при армировании в два слоя – на 19%, что ведет к экономии материала при строительстве или реконструкции с дальнейшей возможностью увеличения нагрузки на поверхности засыпки в процессе эксплуатации сооружения.

В последние годы активно развивается строительство многоэтажных и высотных зданий в стесненных городских условиях, в том числе на ранее не пригодных для строительства участках. При этом передаваемые нагрузки на основание в отдельных случаях могут достигать 3 МПа, а применение свайных фундаментов не всегда эффективно.

Одним из наиболее перспективных способов улучшения прочностных и деформативных свойств оснований является вертикальное армирование грунта, представляющее собой комбинацию грунта и армирующих элементов. Введение армирующих элементов позволяет значительно улучшить прочностные и деформативные характеристики грунта, а следовательно, повысить несущую способность основания и снизить затраты на возведение. Для использования в практике проектирования оснований из армированного грунта необходимо создать модель напряженно-деформированного состояния грунтового массива, которая позволит изучить влияние вертикальных элементов на несущую способность основания и на распространение в грунте напряжений, возникающих при действии внешней нагрузки.

Вертикально армированное основание представляет собой композитный массив, формируемый путем устройства в грунтовой среде вертикальных элементов. Условия деформирования армированного массива грунта отличаются от условия деформирования оснований свайных фундаментов и оснований фундаментов мелкого заложения. Армирующие элементы, взаимодействуя с грунтом по боковой поверхности, меняют условия деформирования основания.

Однако в настоящее время практически отсутствуют теоретические, экспериментальные исследования и методы расчета таких оснований. В связи с этим возникает необходимость в проведении экспериментов и разработке теоретических методов расчета армированных грунтовых массивов.

В нашем случае геоматериал, который использовался в экспериментах, – Турар SF 77 представляет собой нетканый термически скрепленный геотекстиль, изготовленный из бесконечных волокон 100-процентного полипропилена по специальной технологии преднапряжения с последующей укладкой и термическим скреплением.

Данная технология обеспечивает высокий начальный модуль упругости, оптимальное удлинение при разрыве (около 50–55%) и однородность структуры материала. Турар SF обладает высокой устойчивостью к механическим повреждениям и отличными фильтрующими свойствами. Такая механическая характеристика этого материала, как прочность на

разрыв, составляет 20,0 кН/м. Материал располагался вертикально в виде экрана.

С использованием метода планирования эксперимента была определена регрессия, показывающая зависимость величины прогиба гибкой стенки от следующих факторов:

- свободная высота стенки;
- относительная глубина погружения;
- перемещение анкерной опоры;
- равномерная распределенная нагрузка.

С целью получения более точных результатов для построения моделей, описывающих зависимость величины прогиба гибкой стенки от следующих факторов: свободная высота стенки, относительная глубина погружения, перемещение анкерной опоры, равномерная распределенная нагрузка – использовалась нечеткая сеть TSK, что, с другой стороны, позволяет анализировать исследуемое влияние, когда факторы являются нечеткими величинами.

Для решения задач применяется система нечёткого вывода Тагаки-Сугено-Канга (TSK), которая в общем случае определяет аппроксимирующую зависимость вида

$$y = \sum_{i=1}^M (p_{i0} + \sum_{j=1}^N p_{ij} x_j) \frac{\omega_i}{\sum_{j=1}^M \omega_j}, \quad 1)$$

где M – количество правил, используемых в модели вывода TSK; x_j – входные переменные модели вывода TSK с N входами; p_{ij} – цифровые веса, подбираемые в процессе адаптации (обучения), соответствующие i -му правилу и j -му входу, а ω_i определяет вес i -го правила в исследуемой системе нечеткого вывода (1).

Данный метод позволяет использовать функции принадлежности, представленные на рис. 2, для сопоставления между четкими входящими задачами и нечеткими входными данными нечеткой базы знаний.

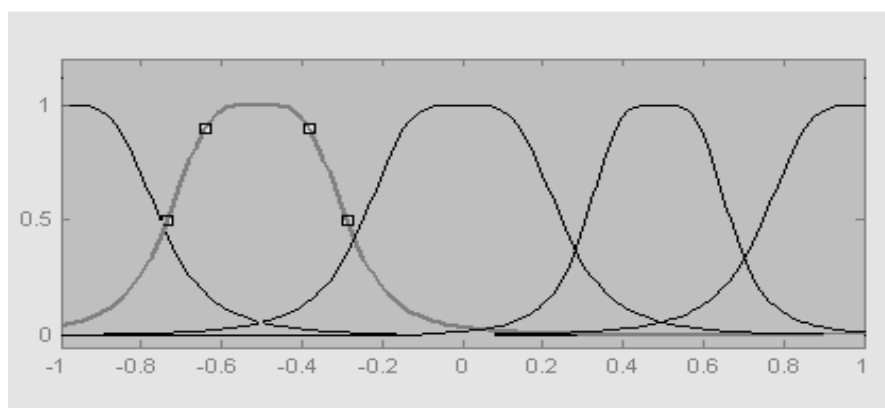


Рис. 2. Функция принадлежности для входа 1 (свободная высота стенки)

В результате расчетов полиномиальной зависимости были определены коэффициенты регрессии, что в дальнейшем позволило установить квадратичную ошибку коэффициента регрессии, которая равна $S^2\{a_{ij}\} = 6.761 \cdot 10^{-5}$, а доверительный интервал равен $\Delta a_i = \pm 1,61167 \cdot 10^{-2}$.

Так как грунт, находящийся за стенкой и перед ней, не имеет абсолютно четких характеристик, т.е. нельзя абсолютно точно сказать, какие характеристики он имеет по всей площади своего расположения, то данный метод может быть применен. Построение нейронной сети производится при помощи программы Matlab Fuzzy Logic Toolbox.

Метод позволяет строить нечеткие базы знаний, состоящие из набора правил, получаемых после фаззификации четких входных данных.

В общем виде нечеткую сеть TSK можно представить в виде определенной структуры.

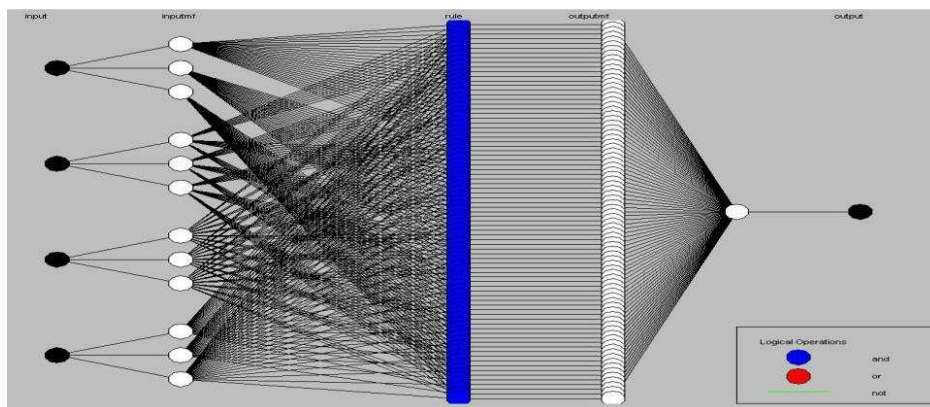


Рис. 3. Вид нечеткой сети TSK

Процесс обучения сети составлял 15 шагов на заданном обучающем множестве. Процесс тестирования сети производится на тестовом множестве.

В результате полученную зависимость сравниваем с результатами эксперимента, с предполагаемыми данными, полученными при планировании экспериментов и с помощью нечеткой сети TSK.

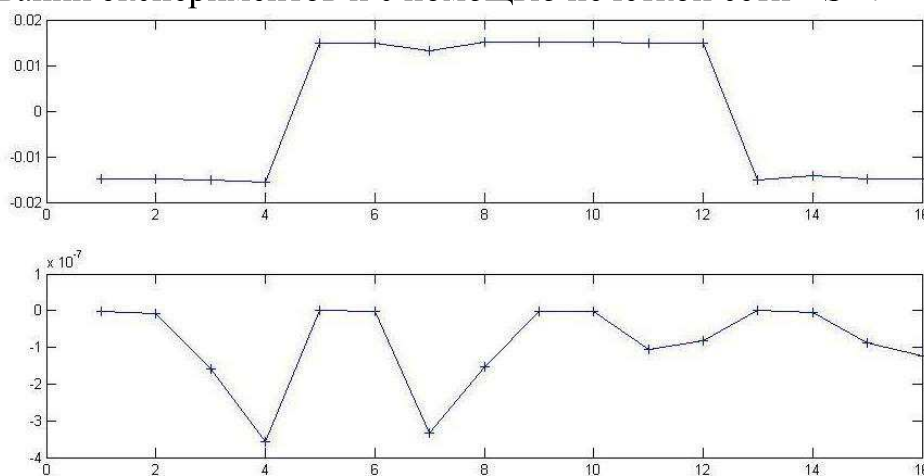


Рис. 4. Различие между результатами эксперимента и нечеткой сетью TSK

Ошибка, получаемая с помощью построенной модели регрессии, показана на рисунке 4, а. На нем по оси ординат отображается ошибка в зависимости от номера эксперимента, который откладывался по оси абсцисс. На рисунке 4, б показано различие между значениями, полученными в результате эксперимента, и результатов, полученных с помощью нечеткой сети TSK.

Выводы. В первую очередь результаты проведенных экспериментов доказали эффективность использования геоматериала для армирования оснований сооружений. Кроме того, использование метода нечеткой сети TSK показало более приемлемую точность результатов, чем при применении метода планирования эксперимента. Основным преимуществом построенной при этом модели TSK является то, что выходящими данными модели могут быть не только количественные, но и нечеткие качественные характеристики.

Литература

1. Армовані основи будівель та споруд / [М.Ф. Друкований, С.В.Матвеев, Б.Б. Корчевський та ін.] – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006. – 235 с.
2. Корчевський Б.Б. Горизонтально армовані основи під фундаменти будівель. Монографія / Б.Б. Корчевський. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2004. – 120 с.
3. Леоненко А. Нечеткое моделирование в среде Matlab и Fuzzy Tech / А. Леоненко. – Санкт-Петербург: СПб БВХ – Петербург, 2005. – 736 с.
4. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М. Дли, Р.Ю. Голупов. – Москва: Физматлит, 2000. – 224 с.

Надійшла до редакції 20.09.2013

© С.В. Бугаєва, А.А. Баранова