

- 12 Александров, А. В. Основы теории упругости и пластичности : учеб. для строит. спец. вузов / А. В. Александров, В. Д. Потапов. – 2-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2002. – 400 с.
- 13 Дифференциальные и интегральные уравнения, вариационное исчисление в примерах и задачах / А. Б. Васильева [и др.]. – М. : Физматлит, 2003. – 432 с.
- 14 Жемочкин, Б. Н. Практические методы расчетов фундаментных балок и плит на упругом основании / Б. Н. Жемочкин, А. П. Сеницын. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Госстройиздат, 1962. – 240 с.
- 15 Босаков, С. В. Развитие теории расчета шарнирно-соединенных балок на упругом основании с учетом их физической нелинейности / С. В. Босаков, О. В. Козунова // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол. : О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2019. – Вып. 11. – С. 11–24.

УДК 685.731.2

## **ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО АРМИРОВАНИЯ ОСНОВАНИЙ ДОРОГ, СОПУТСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

*В. Н. КРАВЦОВ*

*Научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие по строительству, г. Минск,  
Республика Беларусь*

*С. М. ЭГБАЛНИК*

*Государственное предприятие «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С. С.», г. Минск,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Согласно существующей схеме дорожного районирования Республики Беларусь она относится ко II дорожно-климатической зоне с тремя климатическими районами и наличием мест (территорий) со сложными грунтовыми условиями, характерной особенностью которых являются повышенные влажность, деформативность и пониженная прочность грунтов в верхней зоне ( $E \leq 7$  МПа), используемых в качестве основания дорог (далее – «вмещающая среда» и объектов их инфраструктуры (сопутствующих зданий и сооружений). Доля неблагоприятных в строительном отношении земель составляет до 20 % от всей территории Республики Беларусь. В таких районах подземные воды залегают, как правило, на глубине 1–3 м от поверхности, а амплитуда их сезонных колебаний составляет 0,5–1 м, что значительно увеличивает трудоёмкость, сроки и стоимость возведения дорог и сопутствующих сооружений (далее – «объект») в рассматриваемых условиях. Оттаивание промёрзших обводнённых грунтов оснований и конструктивных элементов объекта в осенне-весенние периоды приводит к их разупрочнению и, как следствие, к снижению их надёжности и безопасности. Практика показывает, что конструкции объектов на грунтах пониженной прочности требуют дополнительной подготовки (усиления) как вмещающей среды, так и полотна дороги для повышения их устойчивости, стабильности и прочности. По действующим нормам эти конструкции относятся к объектам индивидуального проектирования, для которых необходимо проведение значительно большего объёма инженерно-геологических изысканий, лабораторных испытаний грунтов и последующих затрат на их предварительную подготовку (упрочнение) по сравнению с объёмами аналогичных работ и средств, при возведении дорог, сопутствующих зданий и сооружений на участках вне этих зон. Сроки строительства таких объектов, в связи с большей продолжительностью стабилизации земляного полотна на основании из грунтов с пониженной прочностью, также превышают нормативные для типовых (обычных) условий.

**Результаты работы.** Отмеченные усложняющие факторы строительства на неблагоприятных территориях особенно остро проявляются в последнее время, когда динамические нагрузки от транспорта и их интенсивность существенно возросли в связи с увеличением объёмов перевозок. Это обусловлено тем, что Республика Беларусь занимает выгодное геополитическое положение, являясь связующим звеном между Европой и Азией. Через её территорию проходят два трансъевропейских коридора (Север – Юг, Восток – Запад с ответвлением IXB). От состояния уровня экологической, транспортной безопасности и надёжности (долговечности) дорожной сети, её инфраструктуры и сроков эксплуатации между ремонтами дороги, напрямую зависят валовый национальный продукт, размер цен, доходы государственного бюджета, степень занятости населения, приток инвестиций и другие экономические показатели страны.

Данные вопросы постоянно находятся на контроле правительства, местных органов власти и лично Главы государства. Значительное удорожание работ, низкие темпы строительства, ремонта дорог, межремонтные сроки их эксплуатации в сложных инженерно-геологических и климатиче-

ских условиях, требуют поиска новых теоретических и технологических подходов для решения данной проблемы.

В связи с этим в РУП «Институт БелНИИС» предложен и внедрён инновационный способ возведения (ремонта) оснований дорог и фундаментов сопутствующих зданий и сооружений с использованием технологии вертикального армирования грунтов (далее – ВА) грунтобетонными армирующими элементами (упрочнённых геомассивов), обеспечивающей по сравнению с традиционными методами (замещение грунта, инъекционные и виброударные способы упрочнения оснований) повышение безопасности, надёжности объектов в сложных грунтовых условиях, подверженных воздействию постоянной вибродинамической транспортной нагрузки, не менее чем на 50 %.

**Цель работы.** Метод вертикального армирования грунта позволяет достаточно просто упрочнить грунтовые основания плитных фундаментов до наперёд заданных требуемых свойств грунтов ( $E$ ,  $\phi$ ,  $c$ ) с использованием недорогостоящих конструкций и технологий, в частности местных материалов (щебень, крупный песок, грунтобетон), укладываемых в предварительно разбуриваемые, раскатываемые или проколотые скважины, в том числе в условиях стеснённой городской застройки, не оказывая на неё динамических воздействий. Патент 18688 № f 20111166, С1, 2014.10.30 повышает динамическую прочность и устойчивость грунтов (геомассива) до 30 %.

Прединвестиционные исследования и апробация на ряде объектов конструкции и технологии ВА показали, что упрочнение грунта вертикальным армированием позволяет повысить его расчётное сопротивление и модуль деформации грунтов пониженной прочности от трех до девяти раз (таблица 1) и снизить, по сравнению с традиционными способами строительства объектов в сложных условиях, их себестоимость и время возведения не менее чем на 30–50 %.

Таблица 1 – Результаты испытания рыхлого насыпного среднего песка ( $\rho = 16,4 \text{ кН/м}^3$ ,  $E = 10 \text{ МПа}$ ) до и после его упрочнения (геомассива) штампом на одном из экспериментальных объектов

Номер опытного участка	Тип грунта	Площадь штампа А, см <sup>2</sup>	Расчетный интервал давлений $P_n \dots P_o$ , МПа	Осадка в расчётном интервале $s_n \dots s_o$ , см	Модуль деформации насыпного грунта до $E_0$ и после упрочнения по технологии ВА $E_{ва}$ , МПа	$\frac{E_{ва}}{E_0}$
ОУ 1	Насыпной грунт (средний песок)	2500	0,3–0,5	0,895–0,091	12,6	3
	Геомассив по технологии ВА	2500	0,3–0,5	0,301–0,036	38,3	
ОУ 2	Насыпной грунт (средний песок)	2500	0,3–0,5	1,166–0,095	9,5	3,4
	Геомассив по технологии ВА	2500	0,3–0,5	0,330–0,017	32,4	
ОУ 3	Насыпной грунт (средний песок)	2500	0,25–0,5	0,957–0,121	9,7	2,9
	Геомассив по технологии ВА	2500	0,3–0,5	0,415–0,047	27,6	

Результаты полевых натурных испытаний, запроектированных (расчёт, конструирование) по рекомендациям РУП «Институт БелНИИС» геомассива данного экспериментального объекта, подтверждают (см. таблицу 1) достоверность разработанных конструкций, технологии и эффективности инновационного решения по упрочнению грунтового основания фундамента здания методом вертикального армирования грунтобетонными сваями уплотнения в бурораскатанных скважинах (шаг – 700 мм, диаметр – 150 мм). Средний модуль деформации насыпных грунтов после их упрочнения по технологии ВА составил  $E_{ва} = 33 \text{ МПа}$ , при исходном среднем  $E_0 = 10 \text{ МПа}$ , то есть он увеличился в 3,3 раза.

**Заключение.** В результате проведенных исследований предложены и апробированы в производственных условиях инновационная конструкция и технология вертикального армирования грунтов сваями уплотнения (забивных, набивных в пробитых штампом или бурораскатанных скважинах).

Достоверность и эффективность результатов исследований, разработанных методов расчёта предложенных геомассивов и составов грунтобетонов из местных грунтов подтверждены экспериментально.

Эффект от внедрения указанной технологии для одного из экспериментальных объектов по производственной апробации и разработанной технологии, по сравнению с традиционным способом прорезки малопрочного насыпного слоя сваями, составил 90 %, по сравнению с вибродинамическими способами упрочнения грунтов – не менее 30 %.