

УДК 625.137+624.15

Л. В. Янковский

ВОПРОСЫ РАСЧЕТА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ АРМОЭЛЕМЕНТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ЗАКРЕПЛЕНИИ ОСНОВАНИЙ

Рассмотрена классификация геоимплантатных конструкций, используемых при строительстве и ремонте транспортных объектов. Предложены подходы к решению МКЭ конструктивных параметров геоимплантат для создания слоя усиления в основании земляного полотна дороги. Представлены результаты натурных и численных исследований.

К л ю ч е в ы е с л о в а: геоимплантат, геоимплантатная конструкция, закрепление оснований, горизонтальные армоэлементы, дорожное полотно, цементобетон.

The classification of the geo-implant constructions is described. The constructions are used for the construction and repair of the transport objects. The FEM approaches of the design factors geo-implant creation of the strengthening intrinsic in the subgrade support of the road are offered. The issues of the full scale and computational investigation are represented.

К е у w o r d s: geo-implant, geo-implant constructions, holding of grounds, horizontal reinforcing members, roadway, cement concrete.

Основная проблема автодорожного комплекса нашей страны — это интенсивное разрушение дорожных покрытий дорог и конструкций транспортных объектов. Главная причина — увеличение грузоподъемности и интенсивности движения автотранспорта. Построенные в советские годы дороги и другие объекты дорожной инфраструктуры не рассчитаны на эти изменения, поэтому нарастает проблема реконструкции старых и строительства новых дорог с дорожной одеждой и основанием, рассчитанным на эти новые нагрузки.

Сейчас при строительстве и ремонте дорог и объектов автодорожной инфраструктуры все больше стали использовать современные материалы (геотекстильные, геопластиковые и др.), а также сложные технические устройства, встроенные в грунтовые основания и в тело дорожной одежды. Эти сложные многокомпонентные конструкции предлагается называть новым термином — геоимплантатные конструкции.

Геоимплантат (ГИ) — строительные элементы (стержень, армоэлемент, георешетка, геосетка, геотекстиль, геомембрана, анкер, труба и др.), внедряемые, встраиваемые и пристраиваемые в конструкцию автомобильной дороги, мостового сооружения или иного объекта автодорожной инфраструктуры [1].

Геоимплантатная конструкция (ГИК) — это единая строительная инженерная конструкция, состоящая из геоимплантат и окружающей их геосреды (почвенный грунт, песок, песчано-гравийная смесь, шлак, щебень, гравий, асфальтобетон, скальный грунт и т.п.), воспринимающая нагрузки как единый объект (армированное основание, откос, дорожная одежда, подпорная стенка, анкер, экопаркинг, «лежачий полицейский» и т.п.), которую необходимо рассчитывать совместно с геосредой и строительными элементами (геоимплантатами) (рис. 1).

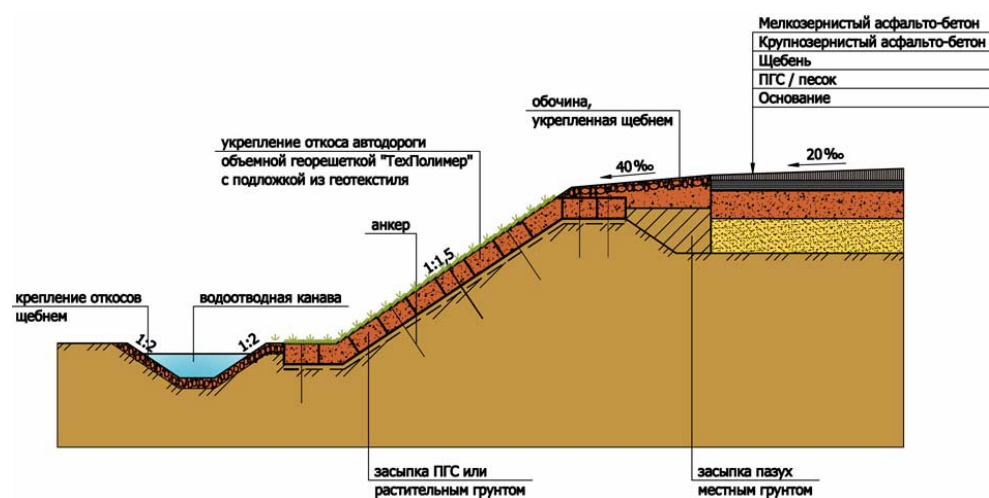


Рис. 1. Пример применения геополитатной конструкции в укреплении откоса дороги, состоящей из геополитат (ГИ) — объемной георешетки, геотекстиля и анкеров [1]

Геополитатная система (ГИС) — это система из одной или нескольких ГИК, выполняющая определенную рабочую функцию (чаще несколько функций) в основании строительного сооружения (усиление, армирование, фильтрация, передача нагрузки, гашение вибраций, защита от обрушения, дренаж, борьба с вспучиванием или продавливанием и т.п.). Если ГИК требует расчета с прилежащим грунтом, то при расчете ГИС необходимо учитывать работу всего грунтового основания дорожно-строительного сооружения в целом [2].

Геополитатные материалы (ГИМ) — это строительные материалы, из которых состоит геополитатная конструкция. Обычно применяют инертные, не загрязняющие окружающую среду, слабо подверженные коррозии материалы.

По форме они подразделяются на *объемные, плоские, линейные и дискретные*. К объемным ГИМ относятся следующие конструкции: объемные георешетки (геосоты), геоматы, геотубы, геоконтейнеры, геоблошки, габионы и др. Наиболее распространенным видом ГИМ являются плоские геосинтетические строительные материалы, а также материалы из другого сырья (минерального, стекло- или базальтовых волокон и др.). Поставляются они в сложенном компактном виде (рулоны, блоки, плиты и др.) и включают следующие группы материалов: геотекстильные материалы, геосетки, георешетки, геомембраны, геоконпозиты. При этом различают: геотекстиль (тканый, нетканый и плетеный); геосетки (тканые, слоистые и вязанные); георешетки (плоские и объемные); различные геомембраны и композитные материалы. К линейным относятся стержни, ленты, нити, прутья и волокна различной длины и сечений. Дискретные — это самые разнообразные фибры. Для крепления плоских материалов к грунтовому основанию применяют анкеры. С помощью ГИМ в дорожном основании и одежде создаются разнообразные слоистые ГИК и ГИС [3].

Используемые для усиления оснований ГИМ выполняют армирующую функцию, воспринимая растягивающие усилия, поэтому для них прочность на разрыв является наиболее важной характеристикой. Наряду с прочностью на растяжение важную роль играет соотношение напряжения и удлинения, расчеты длительной прочности. При этом основными принципиально важными параметрами, оценивающими конструктивную надежность ГИМ, являются следующие: контактная прочность между грунтом и геосинтетическим материалом; ползучесть материала в грунте (при растяжении, продавливании); отношение напряжения и растяжения материалов в грунте. При растяжении георешетки образуется горизонтально и вертикально устойчивый каркас, предназначенный для фиксации наполнителя (грунт, песок, щебень и т.д.).

По технологии изготовления геоимплантат в составе дорожных сооружений ГИК можно классифицировать следующим образом:

геоимплантатные конструкции, состоящие из геоимплантат, внедряемых в тело сооружения на этапе его строительства (усиленная дорожная одежда и армированное основание, дренажные слои, трубопроводы с коммуникациями, система гашения колебаний, защитные ограждения, экопаркинг и др.);

геоимплантатные конструкции, состоящие из геоимплантат, встраиваемых в тело сооружения после определенного периода эксплуатации и используемые при ремонте и усилении дорожных сооружений (закрепляющие анкеры, армозлементы для усиления основания дороги и фундаментов дорожных строений, устройства для улучшения свойств грунта, инъекционные сваи, горизонтальные, вертикальные и наклонные стержни и сваи, дополнительный дренаж, трубопроводы с новыми коммуникациями и пр.);

геоимплантатные конструкции, состоящие из геоимплантат, пристраиваемых к телу существующего элемента дороги после строительства или в ходе модернизации и реконструкции (первичные измерительные преобразователи, «дорожные полицейские», датчики температуры, рекламные щиты, ограждения, дорожные знаки и сигналы, системы контроля интенсивности движения, виброизмерители и др.) [2].

Для закрепления всего основания дорожного полотна применяют наклонные и горизонтальные элементы, скважины и анкеры различных сечений и конструкций, что является примером ГИК, встраиваемых в тело сооружения после определенного периода эксплуатации (рис. 2).

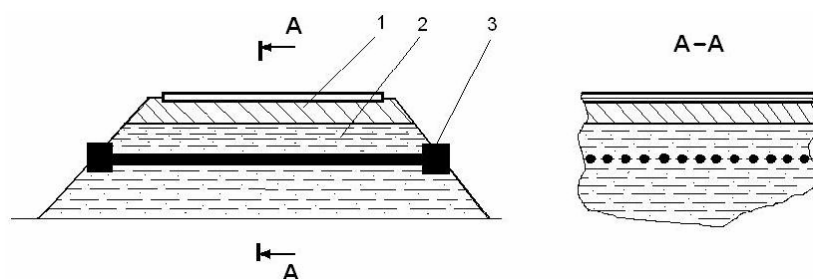


Рис. 2. Схема усиленного основания дороги с помощью ГИК: 1 — дорожное покрытие; 2 — основание; 3 — ГИК, состоящая из горизонтальных ГИ круглого сечения, скрепленных на концах между собой

Данную геоарматуру в основном используют при локальном ремонте аварийных участков протяженных сооружений. Назначение — укрепление слабого земляного полотна. Сами геоимплантаты (горизонтальные стержни) могут быть разного исполнения (материал, форма, сечение) в зависимости от способа изготовления и конструкции. Материал можно использовать в т. ч. из отходов производства и вторичного сырья.

В этой конструкции можно применять следующие горизонтальные армоэлементы (геоимплантаты):

- стержни цементобетонные без армирования или с армированием. В последнем случае перед закачкой раствора предварительно в скважину протаскивают арматуру пластиковую или стальную;

- стержни цементобетонные с оболочкой, образованной текстильным кожухом, который предварительно протаскивают в скважину и под давлением заполняют цементным раствором;

- стержни, состоящие из перемешанного с цементом грунта этой же скважины;

- стальные или пластиковые трубы, которые заполняются цементным раствором или остаются пустыми, с завариваемыми концами;

- готовые строительные элементы (ж/б анкера и стержни, стальной профиль, рельсы и т.п.), которые внедряются непосредственно в грунт или в лидерную скважину.

ГИК изготавливают современными методами бестраншейной прокладки скважин — методы горизонтального и горизонтально направленного бурения (рис. 3).



Рис. 3. Установки горизонтально направленного бурения

Горизонтальные армоэлементы в основании дороги можно изготавливать и с помощью других испытанных бестраншейных технологий, таких как метод прокола и метод продавливания, которые реализуются с помощью горизонтальных гидродомкратов и пневмопробойников, в т.ч. и с применением турбостабилизации [4, 5].

Так как ГИК необходимо рассчитывать совместно с геосредой и строительными элементами, которые представляют собой сложные пространственные конструкции, то появилась потребность в разработке подходов к решению таких задач. Данные конструкции ГИК и особенно ГИС проще всего

рассчитывать с помощью различных программных комплексов, реализующих МКЭ в 2D- и 3D-постановке. С помощью этих программ можно рассмотреть ГИК как единый с окружающим пространством объект (общая расчетная схема, рассматривающая совместную работу конструкции и геосреды с едиными граничными условиями и системой нагрузок), что особенно важно при построении конечно-элементной сетки при численном решении.

Теперь рассмотрим аналогичную ГИК, применяемую для усиления оснований протяженных сооружений, таких как ленточные фундаменты [6], для которой были проведены численные и натурные эксперименты [7]. В нашем случае это горизонтальные параллельные друг другу армирующие ГИ с зоной уплотнения вокруг них, образующие под подошвой фундамента ГИК единый усиленный слой грунта (рис. 4).

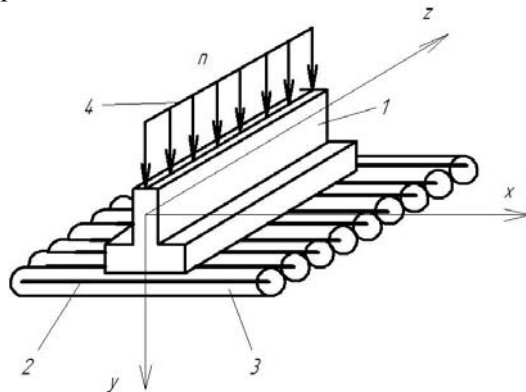


Рис. 4. Реальная схема закрепления основания ленточного фундамента ГИК: 1 — ленточный фундамент; 2 — геотекстиль; 3 — зона уплотнения грунта вокруг ГИ; 4 — распределенная нагрузка на фундамент

В условиях плоской задачи этот слой можно рассматривать как слоистую плиту с усредненными прочностными характеристиками по оси Z (рис. 5). В реальном объекте по оси Z наблюдается анизотропия свойств усиленного слоя. Для того чтобы это учесть, необходимо решать пространственную задачу. Однако, учитывая то, что свойства усиленного слоя по оси Z изменяются однообразно и периодически, принимаем допущение, что усиленный слой заменяется слоистой плитой с усредненными прочностными характеристиками по оси Z , и решаем плоскую задачу в упруго-пластической постановке в условиях плоской деформации [8].

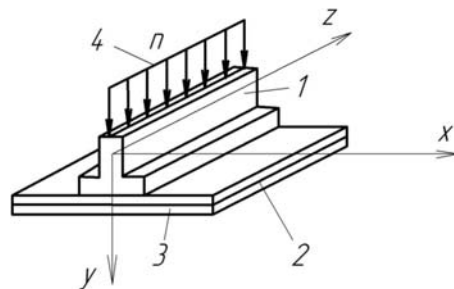


Рис. 5. Расчетная схема модели в виде слоистой плиты: 1 — ленточный фундамент; 2 — слой геотекстиля; 3 — слой зоны уплотнения грунта; 4 — распределенная нагрузка на фундамент

Для описания свойств зоны уплотнения и усиленного слоя с помощью МКЭ применяем композитный способ решения армированного грунта, т. к. для дискретного описания необходимо большое количество конечных элементов [9]. Для этого уплотненную зону разбиваем на три зоны (I, II, III). Внутри каждой зоны определяем средний удельный вес уплотненного грунта (рис. 6).

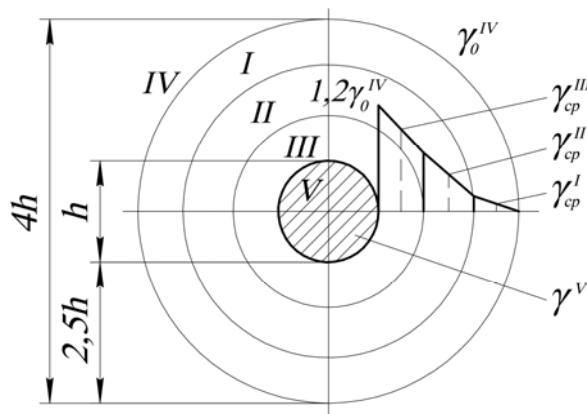


Рис. 6. Модель зоны уплотнения вокруг геоимплантата: $\gamma_{\text{ср}}^I$, $\gamma_{\text{ср}}^{II}$, $\gamma_{\text{ср}}^{III}$ — средний удельный вес грунта для I, II и III уплотненной зоны; $\gamma_{\text{ср}}^{IV}$ — удельный вес грунта ненарушенной структуры IV зоны; γ^V — удельный вес материала геоимплантата V зоны

Зная распределение по зонам удельного веса грунта, определяем другие характеристики грунта. Для диапазона грунтов, представленных аллювиальными, делювиальными, озерными и озерно-аллювиальными суглинками с числом пластичности $0,5 \leq I_L \leq 0,75$ и модулем деформации E от 5 до 10 МПа, определяем влажность ω грунта. Для этого по СНиП 2.02.01—83 находим пористость грунтов в зависимости от E :

$$E = [\gamma_c (1 - \omega) / \gamma] - 1,$$

где e — пористость грунта; γ_c — удельный вес скелета грунта; γ — удельный вес грунта; ω — влажность грунта, доли единицы.

Из формулы находим влажность для грунта ненарушенной структуры, зная пористость для определенного E и I_L . При прокладке скважины пневмопробойником влажность грунта вокруг него меняется. Но со временем влажность грунта восстанавливается. Принимаем допущение, что влажность восстанавливается во всем объеме и равна влажности грунта ненарушенной структуры. Тогда в зависимости от γ , γ_c и влажности ω для каждой зоны уплотнения грунта вокруг скважины можно определить пористость e по предложенной формуле. Зная пористость e , определяются E , C и ϕ для каждой зоны. В расчетах значение коэффициента Пуассона ν для грунта, рассматриваемого в решении, принимаем равным 0,35, а число пластичности $I_L = 0,6$.

В конечно-элементном расчете усреднение осуществлялось следующим образом. В реальной схеме усиления выбираем симметричный элемент и разбиваем его слоями a , b и c , соответствующими разбивке на конечные элемен-

ты 1—10. Для каждого слоя a , b , v определяем площади, занимаемые зонами уплотненного грунта I, II, III, IV и армирующего элемента V. В зависимости от занимаемой площади определяем средние прочностные характеристики данного слоя. Значения этих характеристик присваиваем при решении МКЭ конечным элементам 1—10. Таким образом, описываем свойства слоистой плиты в расчетной схеме (рис. 6).

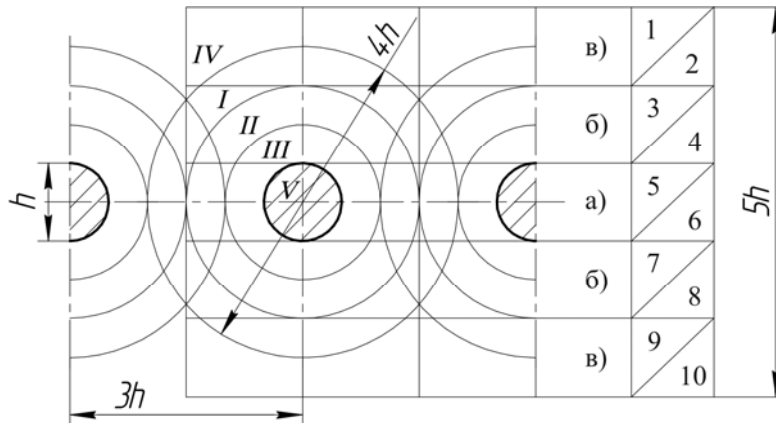
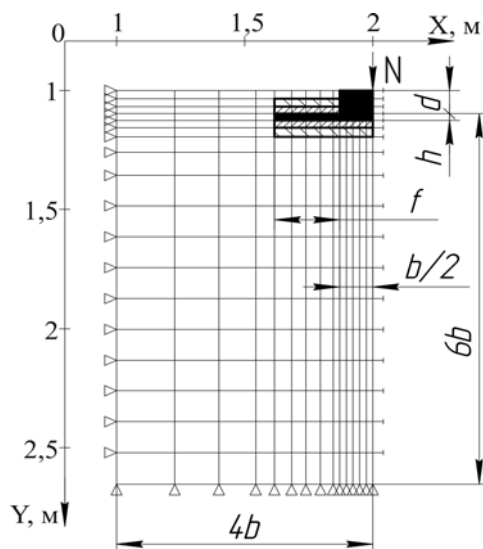


Рис. 6. Схема замены сечения геоимплантат (V) с зоной уплотнения (I, II, III) на значения конечно-элементной сетки (1—10) слоистой плиты для решения МКЭ

С целью определения правомерности использования предлагаемой модели для инженерных расчетов были проведены сравнения результатов натурных экспериментов с численным решением МКЭ. Для этого создана специальная конечно-элементная сетка (КЭС), описывающая геометрические условия проведенных экспериментов (рис. 7).



В программу были введены данные, полностью описывающие условия натурального эксперимента, как геометрические, так и прочностные. Исключение составил только слой усиления. Его свойства были описаны согласно предложенной выше модели. Нагрузка производилась в 5 ступеней. Решение проводилось как с усилением, так и без усиления. Результаты расчета в упруго-пластической постановке совместно с данными натурального эксперимента приведены на рис. 8.

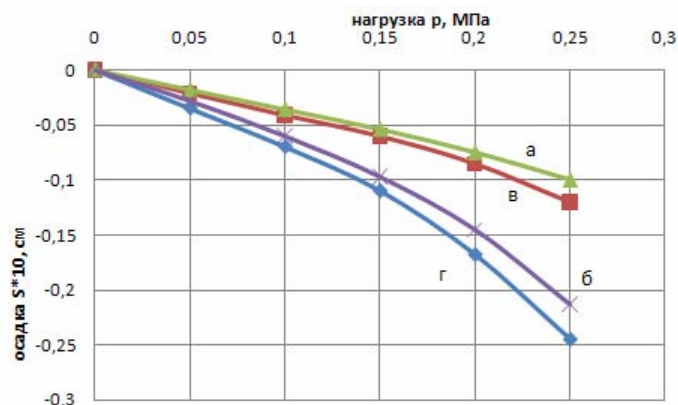


Рис. 8. Сравнение результатов натурального эксперимента с численным решением МКЭ: а — численное решение с усилением; б — численное решение без усиления; в — результат натурального эксперимента с усилением; г — результат натурального эксперимента без усиления

Из графика видно, что предложенная модель для описания ГИК удовлетворительно характеризует работу под нагрузкой всего устройства закрепления основания. Таким образом, можно констатировать, что для описания слоистых стержневых ГИК можно использовать композитный метод задания прочностных характеристик элементам КЭС. Для описания слоистых конструкций из объемной георешетки необходимы аналогичные подходы. Проблема состоит в подборе прочностных характеристик слоистой композитной плиты, которые можно определить только по результатам натуральных испытаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кочетков А.В. Геоимплантат как новый предметный термин в геосинтетике // Строительные материалы. Февраль, 2010. С. 36.
2. Янковский Л.В. Классификация геоимплантатных конструкций, используемых при строительстве и ремонте транспортных объектов // Строительные материалы. Июль, 2011.
3. Янковский Л.В., Кочетков А.В. Применение геоимплантатных конструкций для создания экопаркингов // Экология и промышленность России. Май, 2011. С. 32.
4. Громов И.М., Белоногов Л.Б., Янковский Л.В. Упругие потери и эффективность прокладки труб-кожухов пневмопробойниками // Охрана окружающей среды. Транспорт. Безопасность жизнедеятельности: Вестник ПГТУ. 2010. № 1. С. 70—74.
5. Совершенствование бестраншейной прокладки трубопроводов при создании нефте- и газопроводных систем под объектами дорожной инфраструктуры / И.М. Громов, Л.Б. Белоногов, Л.В. Янковский, А.Д. Орлов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2011. № 7. С. 48—52.

6. Патент 2032024. Способ усиления основания ленточных фундаментов при реконструкции зданий и сооружений / А.А. Бартоломей, Л.В. Янковский. Бюл. № 9, 27.03.95.

7. Янковский Л.В., Ладин М.О., Орлов А.Д. Исследование НДС основания ленточного фундамента, армированного геоимплантатной конструкцией // Дороги. Инновации в строительстве. 2011. № 9. С. 91—93.

8. Янковский Л.В. Описание модели геосреды основания, усиленного геоимплантатной конструкцией // Охрана окружающей среды. Транспорт. Безопасность жизнедеятельности: Вестник ПГТУ. 2011. № 1. С. 75—81.

9. Янковский Л.В. Моделирование системы основание — геоимплантат — фундамент // Охрана окружающей среды. Транспорт. Безопасность жизнедеятельности: Вестник ПГТУ. 2011. № 1. С. 90—98.

1. Kochetkov A.V. Geoimplantat kak novy predmetny termin v geosintetike // Stroitelnye materialy. Fevral, 2010. S. 36.

2. Yankovski L.V. Klassifikatsiya geoimplantatnykh konstruktsei, ispolzuemykh pri stroitelstve i remonte transportnykh obektov // Stroitelnye materialy. Iyul, 2011.

3. Yankovski L.V., Kochetkov A.V. Primenenie geoimplantatnykh konstruktsei dlya sozdaniya ekoparkingov // Ekologiya i promyshlennost Rossii. May, 2011. S. 32.

4. Gromov I.M., Belonogov L.B., Yankovski L.V. Uprugie poteri i effektivnost prokladki trub-kozhukhov pnevmoproboynikami // Okhrana okruzhayushchey sredy. Transport. Bezopasnost zhiznedeyatel'nosti: Vestnik PGU. 2010. № 1. S. 70—74.

5. Sovershenstvovanie bestransheynoy prokladki truboprovodov pri sozdanii nefte- i gazoprovodnykh sistem pod obektami dorozhnoy infrastruktury / I.M. Gromov, L.B. Belonogov, L.V. Yankovski, A.D. Orlov // Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse. 2011. № 7. S. 48—52.

6. Патент 2032024. Способ усиления основания ленточных фундаментов при реконструкции зданий и сооружений / А.А. Бартоломей, Л.В. Янковский. Бюл. № 9, 27.03.95.

7. Yankovski L.V., Ladin M.O., Orlov A.D. Issledovanie NDS osnovaniya lentoch'nogo fundamenta, armirovannogo geoimplantatnoy konstruktsey // Dorogi. Innovatsii v stroitelstve. 2011. № 9. S. 91—93.

8. Yankovski L.V. Opisaniye modeli geosredy osnovaniya, usilennogo geoimplantatnoy konstruktsey // Okhrana okruzhayushchey sredy. Transport. Bezopasnost zhiznedeyatel'nosti: Vestnik PGU. 2011. № 1. S. 75—81.

9. Yankovski L.V. Modelirovaniye sistemy osnovaniye — geoimplantat — fundament // Okhrana okruzhayushchey sredy. Transport. Bezopasnost zhiznedeyatel'nosti: Vestnik PGU. 2011. № 1. S. 90—98.

© Янковский Л.В., 2011

Поступила в редакцию
в августе 2011 г.

Ссылка для цитирования:

Янковский Л.В. Вопросы расчета горизонтальных цементобетонных армоэлементов, применяемых при закреплении оснований // Интернет-вестник ВолГАСУ. Сер.: Политематическая. 2011. Вып. 3(17). Режим доступа: www.vestnik.vgasu.ru.