



**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 8, № 3, 2017
PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2017.3.04

УДК 626/628:691.1

ПРИМЕНЕНИЕ ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Т.П. Кашарина, Д.В. Кашарин

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
им. М.И. Платова, Новочеркасск, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 01 июня 2017

Принята: 18 июля 2017

Опубликована: 29 сентября 2017

Ключевые слова:

экологическая безопасность, инфраструктура, новые технические решения, расчетное обоснование, оболочечные конструкции, композиционные (композитные) наноматериалы, грунтонаполняемые и грунтоармированные элементы конструкций, гетеромодульные материалы, реология, технология изготовления, трибологические свойства

АННОТАЦИЯ

Развитие инфраструктуры и экологической безопасности природных систем Крайнего Севера требует создания новых техноприродных зданий и сооружений с применением композиционных наноматериалов, обладающих повышенной устойчивостью к температурным, просадочным, ледовым условиям. При этом необходимо обоснование новых технических решений гидротехнических сооружений, включая их основания, водоподпорные конструкции, инженерную защиту и т.п. При этом значительная роль принадлежит разработке технических рекомендаций, основанных на проведенных теоретических, экспериментальных, натурных, в том числе эколого-социальных эксплуатационных показателях новых технических решений элементов или в целом конструкции.

В статье даны обоснования параметров отдельных элементов конструкций (грунтонаполняемых оболочек, армолент), а также описываются необходимые требования для композитных наноматериалов, которые учитываются для различных природно-климатических условий объекта с учетом возможности восстановления поврежденных участков и времени жизненного цикла всего сооружения в целом. Предлагается учитывать в композитных наноматериалах их гетеромодульность (свойства гидрофобности, трибологичности, реалогичности), что позволит вести проектирование подобных конструкций из них в различных отраслях строительства. Необходимо при этом учитывать форму оболочек, свойства композитных материалов, их жизненный цикл для конкретного сооружения, прочностные свойства композитных наноматериалов и т.п. Предлагаемые новые технические решения позволят улучшить инфраструктуру городских территорий, повысить их качество, в том числе транспортные, гидроэнергетические, водообеспечивающие системы.

В качестве водоподпорных, регулирующих, противопаводковых, берегозащитных, селезащитных конструкций рекомендуется использовать мембранные, грунтонаполняемые, грунтоармированные, грунтоотверждаемые конструкции и их сочетание. Их широкое применение требует проведения дополнительных теоретических, экспериментальных и натурных исследований, включая свойства новых наноматериалов.

© ПНИПУ

© Кашарина Татьяна Петровна – доктор технических наук, профессор, e-mail: kasharina_tp@mail.ru.
Кашарин Денис Владимирович – кандидат технических наук, профессор, e-mail: denvk1@mail.ru.

Tat'iana P. Kasharina – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: kasharina_tp@mail.ru.
Denis V. Kasharin – Ph.D. in Technical Sciences, Professor, e-mail: denvk1@mail.ru.

APPLICATION OF SHELL STRUCTURES MADE OF COMPOSITE NANOMATERIALS

T.P. Kasharina, D.V. Kasharin

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 01 June 2017
Accepted: 18 July 2017
Published: 29 September 2017

Keywords:

ecological safety, infrastructure, new engineering solutions, design justification, shell structures, composite nanomaterials, soil filling, soil reinforcing structural elements, heteromodular materials, rheology, manufacturing technology, tribological properties

ABSTRACT

The development of infrastructure and environmental safety of the natural systems of the Far North requires new techno-natural buildings and structures which can be created using composite nanomaterials. These materials have to embrace an enhanced resistance to temperature, subsidence and ice conditions. At the same time, it is necessary to justify new technical solutions for hydraulic structures including their bases, water-retaining structures, engineering protection, etc. It is also important to develop technical recommendations based on theoretical, experimental, field studies, ecological, environmental and social performance indicators of new technical solutions of elements or structures as a whole.

The article provides substantiations for individual structural elements, i.e. primer columns, reinforcing tapes; it also describes necessary conditions for composite nanomaterials that are taken into account in different climatic conditions and ensure the restoration of damaged areas and the life-cycle time of an entire structure. It is proposed to take into account the heteromodularity of the composite nanomaterials (properties of hydrophobicity, tribology, reagent). The proposed new technical solutions will allow to improve the infrastructure of urban areas by increasing their quality, in particular, transport, hydropower and water supply systems.

It is recommended to use membrane, soil filling, soil reinforcing, soil strengthening structures and their combinations as water retaining, regulating, flood controlling, bank protecting and antimud slide protection structures. A widespread introduction of such structures requires additional experimental, theoretical and field studies of properties of new nanomaterials.

© PNRPU

Современное развитие территории России, занимаемой вечной мерзлотой на около 65 %, не может быть решено без новых технических решений с использованием композитных наноматериалов, соответствующих природно-техногенным условиям Крайнего Севера. Авторами предлагается использовать новые технические решения сооружений и конструкций с применением композитных гетеромодульных наноматериалов, обладающих свойствами сохранения проектной формы, восстановления (реологическими, гидрофобными, трибологическими свойствами), позволяющие использовать их в условиях вечной мерзлоты. Это говорит о том, что необходимо создание подобных материалов с заранее запланированными свойствами, которые формируются на стадии технологического процесса их изготовления, т.е. требуется улучшить существующие композиционные материалы (инженерные сплавы, эластомеры, инженерные композиты, полимеры) и получить новые, которые позволят использовать их в гидроэнергетическом, транспортном, городском строительстве [1–3].

В качестве водоподпорных сооружений предлагается использовать плотины из незамкнутых регулируемых оболочек на завышенном флютбете, которые позволяют создать водохранилище сезонного пользования, например для рекреационных зон, водоснабжения и гидроэнергетики децентрализованных поселений (рис. 1) [4].

Исследование плотины с водовыпускными окнами представлено на рис. 2.

При увеличении уровня воды полотнище плотины поднимается и открываются нижние водовыпускные окна. Для берегоукрепительных сооружений, оснований городской застройки нами предлагаются грунтоармированные, грунтонаполняемые конструкции (рис. 3, 4).

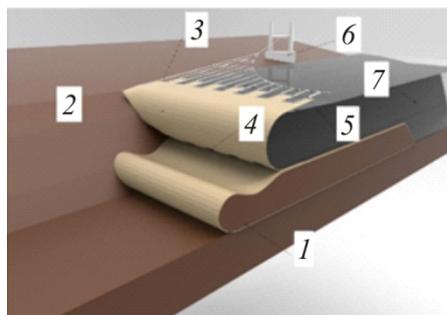


Рис. 1. Регулируемая плотина с водовыпускными окнами: 1 – грунтонаполняемое основание; 2 – водоподпорное полотнище (мембрана) из композитных наноматериалов; 3 – верхние водовыпускные окна; 4 – нижние водовыпускные окна; 5 – узел крепления (русловой анкер) мембраны к грунтонаполняемому основанию; 6 – береговая анкерная опора; 7 – водный поток

Fig. 1. Adjustable water discharge dam with water outlets, 1 is the ground-filling base; 2 is the waterproof cloth (membrane) made of composite nanomaterials; 3 are the upper water outlet windows; 4 are the lower water outlet windows; 5 is the attachment point (channel anchor) of the membrane to the ground-filling base; 6 is the shore anchor support; 7 is the water flow

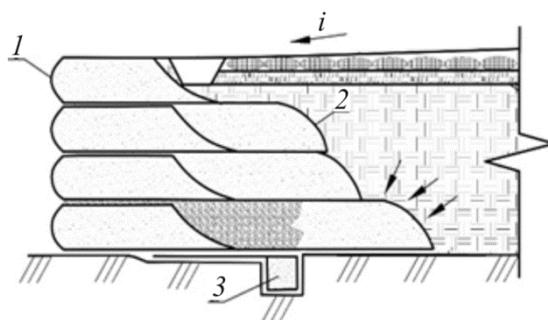


Рис. 2. Грунтонаполняемое подпорное сооружение для транспортных систем: 1 – грунтонаполняемый лицевой блок-оболочка; 2 – грунтонаполняемый внутренний блок-оболочка; 3 – дренажное устройство

Fig. 2. Soil-filling retaining structure for transport systems, 1 is the soil filling block shell; 2 is the soil filling inner block-shell; 3 is the drainage device

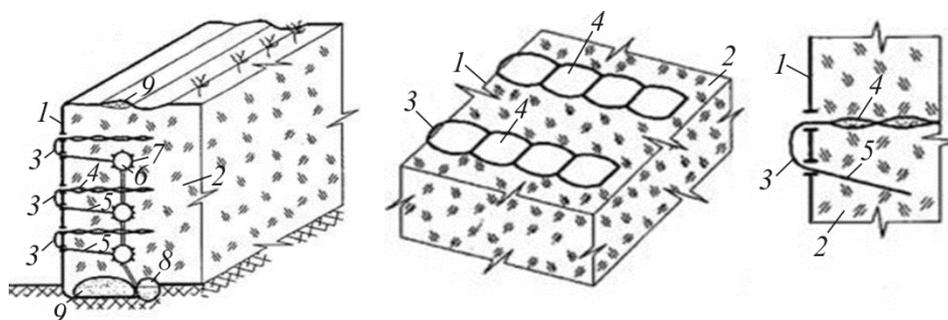


Рис. 3. Грунтоармированное подпорное сооружение с единой лицевой стенкой: 1 – лицевая стенка; 2 – насыпной грунт; 3 – гибкие связи; 4 – ленты-оболочки; 5 – гофрированные и плоские армоленты; 6 – оболочка-дрена; 7 – специальные отверстия; 8 – дренажная система; 9 – анкерные блоки



Рис. 4. Установка для исследования пропускной способности плотины с верхними и нижними водовыпускными окнами

Fig. 4. Testing machine for the investigation of the dam capacity with upper and lower water outlet windows

Обоснование параметров грунтоармированных и грунтонаполняемых конструкций основывается на определении их оптимальной формы с учетом прочности и устойчивости, а также прочностных и восстановительных показателей композиционного наноматериала с учетом требований природно-климатических условий, т.е. усилие в грунтонаполняемой оболочке будет вычисляться по следующей зависимости [5–13]:

$$T = f(\Phi, N_1, N_2, A, t, \lambda), \quad (1)$$

где Φ – форма оболочечной грунтонаполняемой конструкции; N_1, N_2 – внутренние и внешние нагрузки, кН; A – свойства композитного наноматериала, отвечающего природно-климатическим условиям работы конструкций; t – жизненный цикл существования сооружения; λ – энергия восстановления, Дж. $A = f(E, \sigma, G, S)$, здесь E – модуль Юнга, $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$;

$\sigma = E\varepsilon$; ε – относительное удлинение, Па; $G = \frac{\tau}{\gamma}$; S – мгновенная прочность, которая опре-

деляется по зависимости Аррениуса $\ln S = \ln S_0 - K''te \frac{Q}{F}$, где S_0 – начальная прочность; Q – энергия активации; F – энергия реакции; K'' – включает в себя константы K и K' и является функцией концентрации веществ, а также их природы; K' – константа, характеризующая размер дефекта; K – константа, зависящая от материала, $K = f(\varepsilon_x, \varepsilon_y)$, где ε_x и ε_y – коэффициенты релаксации композиционного материала во времени.

Для грунтоармированных конструкций усилия в армирующих элементах, удерживающих лицевую стенку в устойчивом положении, определяются следующим образом:

$$T = 2b \cdot m_0 \cdot f \cdot \rho \cdot h \cdot A, \quad (2)$$

где b – ширина армолента; m_0 – число арматуры на 1 пог. м подпорного сооружения, $m_0 = m_1 + m_2$ (m_1 – горизонтальная, m_2 – наклонная); $f = \operatorname{tg} \theta$, θ – угол внутреннего трения грунта; ρ – плотность армированного грунта; h – высота слоя армирования, м; A – свойства композитного наноматериала.

При этом следует учитывать компоненты композитного наноматериала с четкой границей раздела между ними, создавая неоднородный сплошной материал, который должен представлять собой систему с сохранением индивидуальности каждого из них. Матрица

является важнейшим элементом композита, так как распределяет действующие напряжения по объему материала, обеспечивая при этом равномерную нагрузку на волокна и перераспределяя ее при его разрушении.

При изготовлении композитов используют определенные методы, позволяющие при их проектировании задавать им характеристики, которые будут соответствовать требованиям высокой устойчивости при меняющихся природно-климатических условиях, высокой удельной прочности, эргономичности, сохранения заданных параметров и т.п. При эксплуатации следует учитывать физико-механические, физико-химические и температурные свойства, стойкость к окружающей среде, прочностные характеристики при сдвиговых нагрузках, нагружения композита в направлениях, которые отличаются от ориентации волокон, включая циклические нагрузки (в том числе сейсмические) [14, 15].

Таким образом, для широкого внедрения разработанных технических решений с применением новых композитных наноматериалов необходимо провести дополнительные экспериментальные исследования в условиях, приближенных к конкретным местам их установки, включая южные и северные регионы РФ. Новые композиционные наноматериалы позволят увеличить срок службы грунтонаполняемых и грунтоармированных конструкций в сооружениях берегозащиты, транспортной инфраструктуре, укреплении оснований и фундаментов.

Данная статья выполнена по заданию № 13.1236.2017/ПЧ по теме «Разработка энергоэффективных и экологически безопасных систем децентрализованного водо-, энерго-снабжения рекреационных объектов в условиях Южного региона Российской Федерации».

Библиографический список

1. Способ создания грунтоармированных оснований и фундаментов зданий и сооружений и устройство для его осуществления: пат. Рос. Федерация / Кашарина Т.П., Глаголева А.С., Дыба В.П., Галашев Я.В. – № 2415229; заявл. 12.05.2009; опубл. 27.03.2011. Бюл. № 9. – 2 с.
2. Грунтонаполняемая оболочка: свид-во ПрЭВМ 2010610995 / Кашарина Т.П., Жмайлова О.В., Глаголева О.С. – № 2009616940; заявл. 4.12.2009.
3. Рекомендации по использованию в малоэтажном строительстве. Почва. Наполняемые элементы в укреплении фундаментов на технологических площадках. – Ростов н/Д: Южводопроект, 2010–2013. – С. 7.
4. Кашарин Д.В. Защитные инженерные сооружения из композиционных материалов в строительстве водного хозяйства: моногр. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск, 2012. – 323 с.
5. Хуберян К.М. Рациональные формы трубопроводов, резервуаров и напорных перекрытий. – М.: Госстройиздат, 1956. – 206 с.
6. Кашарина Т.П., Кашарин Д.В. Использование грунтонаполняемых оснований из композиционных материалов для вододерживающих структур // Фундаменты глубокого заложения и проблемы освоения подземного пространства: материалы междунар. конф. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. – С. 395–401.

7. Кашарина Т.П., Жмайлова О.В., Глаголева А.С. Анализ теоретических зависимостей для расчета грунтонаполняемых оболочек // Наука, техника и технология XXI века. – 2009. – С. 346–350.

8. Сачков Ю.Л., Левяков С.В. Устойчивость инфлекссионных эластик, центрированных в вершинах или точках перегиба // Тр. Матем. ин-та им. В.А. Стеклова. – 2010. – Т. 271, № 1. – С. 177–192.

9. Harrison H.B. The analysis and behaviour of inflat-table membrane dams under static loading // Proceedings of Institut Civil Engineering. – 1970. – Vol. 45. – P. 661–676.

10. Ingold T.S. Soil reinforcing systems in the United Kingdom // Highways and Public Works. – 1981. – Vol. 49, № 1858. – P. 1620.

11. Floss R., Thamm B.R. Bewehrte Erde – Ein neues Bauverfahren im Erd – und Grundbau // Bautechnik. – 1976. – Vol. 53, № 7. – S. 217–226.

12. Vidal H. The development and future of reinforced earth // Proceedings of Symposium on Earth Reinforcement, Geotechnical Engineering Division of American Society of Civil Engineers, Pittsburgh, April 27, 1978. – Pittsburgh, 1978. – P. 1.

13. Geometric and mechanical modelling of 3D woven composites / S. Rudov-Clark, S.V. Lomov, M.K. Bannister [et al.] // Materials of the 14th International Conference on Composite Materials, San Diego, USA, 14–18 July. – San Diego, 2003.

14. Full scale experiment on reinforced earth abutment in Lille / I. Juran, F. Schlosser, N. Long, G. Legeay // Proceedings, Symposium on Earth Reinforcement, ASCE Annual Convention, April 27, 1978. – Pittsburg, 1978 – P. 586–584.

15. Matthews F.L., Rawlings R.D. Composite materials: engineering and science. – Oxford, Alden Press, 1999. – 470 p.

References

1. Kasharina T.P., Glagoleva A.S., Dyba V.P., Galashev J.V. Sposob sozdaniia gruntoarmirovannykh osnovanii i fundamentov zdaniy i sooru-zhenii i ustroistvo dlia ego osushchestvleniia [Method to develop soil-reinforced basements and foundations of buildings and structures and device for its realisation]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2415229 (2011).

2. Certificate of national registration for computer №2010610995 “Gruntonapolniarmaia obolochka” [“Soil Fillable shell”]. Novochoerkassk, Iuzhno-rossiiskii gosudarstvennyi tehnikeskii universitet (NPI), 2010.

3. Rekomendatsii po ispol'zovaniiu v maloetazhnom stroitel'stve «Pochva. Napolniaemye elementy v ukreplenii fundamentov na tekhnologicheskikh ploshchadkakh» [Recommendations for use in low-rise construction "Soil. Fill the elements in strengthening the foundation on technological platforms"]. Rostov-on-Don, Yuzhvodoproekt, 2010-2013, 7 p.

4. Kasharin D.V. Zashchitnye inzhenernye sooruzheniia iz kompozitsionnykh materialov v stroitel'stve vodnogo khoziaistva [Protective engineering structures made of composite materials in the construction of water construction]. Novochoerkassk, Iuzhno-rossiiskii gosudarstvennyi tehnikeskii universitet (NPI), 2012, 323 p.

5. Huberyan K.M. Ratsional'nye formy truboprovodov, rezervuarov i napornykh perekrytii [Rational forms of conduits, tanks and pressure slabs]. Moscow, Gosstroizdat, 1956, 206 p.

6. Kasharina T.P., Kasharin D.V. Ispol'zovanie gruntonapolniaemykh osnovanii iz kompozitsionnykh materialov dlia vodouderzhivaiushchikh struktur [The use of filled soil bases by composite materials for water retaining structures]. *Proceedings of the International Conference*

«Deep foundations and problems with the development of underground space». Perm, Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politehnicheskii universitet, 2011, pp. 395-401.

7. Kasharina T.P., Zhmailova O.V., Glagoleva A.S. Analiz teoreticheskikh zavisimostei dlia rascheta gruntonapolniaemykh obolochek [The analysis of theoretical dependences for calculation grondonnerstag shells]. *Proceedings of the IV International scientific-practical conference "Science, technics and technology in XXI century"*, 2009, pp. 346-350.

8. Sachkov Yu.L., Levyakov S.V. Ustoichivost' infleksionnykh elastik, tsentrirovannykh v vershinah ili tochkakh peregiba [Stability of inflectional elasticae centered at vertices or inflection points]. *Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics*, 2010, vol. 271, no. 1, pp. 177-192.

9. Harrison H.B. The analysis and behaviour of inflatable membrane dams under static loading. *Proceedings of Institut Civil Engineering*, 1970, vol. 45, pp. 661-676.

10. Ingold T.S. Soil reinforcing systems in the United Kingdom. *Highways and Public Works*, 1981, vol. 49, no. 1858, pp. 1620.

11. Floss R., Thamm B.R.. Bewehrte Erde - Ein neues Bauverfahren im Erd- und Grundbau. *Bautechnik*, 1976, vol. 53, no 7, pp. 217-226.

12. Vidal H. The development and future of reinforced earth. *Proceedings of Symposium on Earth Reinforcement, Geotechnical Engineering Division of American Society of Civil Engineers*, Pittsburgh, April 27, 1978, pp. 1.

13. Rudov-Clark S. et al. Geometric and mechanical modelling of 3D woven composites. *Proceedings of the 14th International Conference on Composite Materials, San Diego, USA, 14-18 July 2003*.

14. Juran I., Schlosser F., Long N., Legeay G. Full scale experiment on reinforced earth abutment in Lille. *Proceedings of Symposium on Earth Reinforcement, Geotechnical Engineering Division of American Society of Civil Engineers*, Pittsburgh, April 27, 1978, pp. 586-584.

15. Matthews F.L., Rawlings R.D. Composite materials: engineering and science. Oxford, Alden Press, 1999, 470 p.