

научно-технический журнал

# ВЕСТНИК



# МГУ

**11/2016**



материалы оборудование технологии

DOI: 10.22227/1997-0935.2016.11

### Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

2016 № 11

Москва

НИУ МГСУ

#### СОДЕРЖАНИЕ

**Теличенко В.И.** От принципов устойчивого развития к «зеленым» технологиям .....5

#### АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

**Родионовская И.С., Хаг Шенас А.** Кяризы — уникальная система водоснабжения Ирана. Специфика сооружений и характер инженерно-технических устройств .....7

#### ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ. МЕХАНИКА

**Татьянников Д.А., Пономарев А.Б.** Численное моделирование работы конструкций армированных фундаментных подушек .....21

#### ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ И ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ. СПЕЦИАЛЬНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

**Махнатов С.А.** Новый взгляд на управление карстовым риском на примере проектирования подводных переходов для трубопроводов через крупные транзитные реки .....32

#### СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

**Алексеев В.А., Харченко И.Я., Харченко А.И., Баженова С.И., Бетербиев А.С.-Э.** Модифицированные бетонные смеси для пространственных конструкций, наносимые методом набрызга .....48

Основан в 2005 году, 1-й номер вышел в сентябре 2006 г.  
Выходит ежемесячно

#### Учредители:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26, общество с ограниченной ответственностью «Издательство АСВ», 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 19, корп. 1

#### Выходит

при научно-информационной поддержке Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), международной общественной организации «Ассоциация строительных высших учебных заведений» (АСВ)

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).  
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-63119 от 18 сентября 2015 г.

Включен в утвержденный ВАК Минобрнауки России Перечень рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук

#### Индексируется в РИНЦ,

Научной электронной библиотеке «КиберЛенинка»  
UlrichsWeb Global Serials Directory,  
DOAJ, EBSCO, Index Copernicus,  
RSCI (Russian Science Citation Index  
на платформе Web of Science)

### Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering

Scientific and technical journal  
on Construction and Architecture

Founded in 2005,  
1st issue was published in September, 2006.  
Published monthly

Founders: Moscow State University of Civil Engineering  
(National Research University) (MGSEU),  
ASV Publishing House

The Journal enjoys  
the academic and informational support provided  
by the Russian Academy of Architecture  
and Construction Sciences (RAACS),  
International Association of Institutions of Higher Education  
in Civil Engineering

The Journal has been included in the list of the leading review journals and editions of the Highest Certification Committee of Ministry of Education and Science of Russian Federation in which the basic results of PhD and Doctoral Theses are to be published

Главный редактор  
 акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.  
**Валерий Иванович Теличенко** (НИУ МГСУ)

Редакционная коллегия:

**Х.Й.Х. Броуэрс** (Технический университет Эйнховена, Нидерланды),

**А.И. Бурханов** (ВолгГАСУ),

**А.А. Волков** (НИУ МГСУ),

**П.Г. Грабовый** (НИУ МГСУ),

**О.В. Игнатьев** (РУДН),

**Е.В. Королев** (НИУ МГСУ),

**О.И. Поддаева** (НИУ МГСУ),

**А.П. Пустовгар** (НИУ МГСУ),

**Д.Н. Силка** (НИУ МГСУ),

**Н.В. Сироткина** (ВГУ),

**А.В. Шамшин** (Университет Центрального Ланкашира, Соединенное Королевство)

Редакционный совет:

**А.А. Волков** (председатель),

**Ю.М. Баженов**, **Н.Г. Верстина**, **О.О. Егорычев**,

**Е.А. Король**, **А.Н. Ларионов**, **И.Г. Лукманова**,

**Н.С. Никитина**, **В.И. Теличенко**,

**З.Г. Тер-Мартirosян** (НИУ МГСУ),

**С.А. Амбарцумян** (Концерн «МонАрх»),

**А.Г. Бадалова** (МГТУ СТАНКИН)

**А.Т. Беккер** (ДВФУ, ДВРО РААСН, Владивосток),

**Н.В. Баничук**, **С.В. Кузнецов** (ИПМ

им. А.Ю. Ишлинского РАН),

**Й. Вальравен** (Технический университет Дельфта, Нидерланды),

**Й. Вичан** (Университет Жилина, Словакия),

**З. Войчицкий** (Вроцлавский технологический университет, Польша),

**М. Голицки** (Институт Клокнера Чешского

технического университета в Праге,

Чешская Республика),

**В.Т. Ерофеев** (МГУ им. Н.П. Огарева)

**П. МакГи** (Университет Болтона,

Соединенное Королевство),

**Н.П. Осмоловский** (МГУ им. М.В. Ломоносова),

**П.Я. Паль** (Технический университет Берлина,

Германия),

**В.В. Петров** (СГТУ, Саратов),

**Е.И. Пузырев** (Межрегиональный союз

проектировщиков),

**А.Ю. Русских** (Государственная Дума Федерального

Собрания Российской Федерации),

**Ю.А. Табунщиков** (МАРХИ),

**П.А. Акимов**, **В.И. Травуш** (РААСН)

Адрес редакции:

129337, Москва, Ярославское шоссе, 26.

Тел./ факс +7 (499) 188-15-87, (499) 188-29-75,

e-mail: vestnikmgsu@mgsu.ru

Официальный сайт журнала

<http://vestnikmgsu.ru>

ISSN 2304-6600 (Online)

Периодическое научное издание

**Вестник МГСУ. 2016. № 11**

Научно-технический журнал

Координатор журнальных проектов **И.С. Сквородина**

Редактор **Е.Б. Махиянова**

Корректор **А.А. Дядичева**

Верстка **А.Д. Федотов**

Перевод на английский язык **О.В. Иванова**

Подписан в печать 16.11.2016. Подписан в свет 23.11.2016.

Формат 70x108/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.

Гарнитура Таймс. Усл.-печ. л. 19,25. Уч.-изд. л. 12,43.

Тираж 200 экз. Цена свободная. Заказ № 301.

Издатель: федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования

**«Национальный исследовательский**

**Московский государственный строительный**

**университет».**

Издательство МИСИ — МГСУ

[www.mgsu.ru](http://www.mgsu.ru), [ric@mgsu.ru](mailto:ric@mgsu.ru)

(499) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75.

Отпечатано в типографии Издательства МИСИ — МГСУ,

(499) 183-91-44, 183-67-92, 183-91-90.

129337, Москва, Ярославское шоссе, 26

Перепечатка или воспроизведение материалов номера любым способом полностью или по частям допускается только с письменного разрешения Издателя.

Распространяется по подписке.

Подписка по каталогу агентства «Роспечать».

Подписной индекс 18077 (полугодовая),

36869 (годовая)

© НИУ МГСУ, 2016

**Гришина А.Н., Королев Е.В.** Химический состав биоцидного модификатора на силикатной основе .....59

**Пустовгар А.П., Королев Е.В.** Строительные композиции с нелинейным откликом на динамическое внешнее воздействие .....68

## ГИДРАВЛИКА. ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

**Введенский А.Р., Дианский Н.А., Кабатченко И.М., Литвиненко Г.И., Резников М.В., Фомин В.В.** Литодинамические процессы в зоне строительства моста через Керченский пролив.... 78

**Михайлов И.Е., Алисултанов Р.С.** Влияние на рабочую длину камер гравитационного отстойника распределения массы частиц наносов по глубине потока .....92

## ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

**Морозенко А.А., Красовский Д.В.** Управление инвестиционно-строительными проектами на основе матрицы ключевых событий ..... 105

**Матвеев Н.М.** Управление затратами как основа гармоничного подхода к развитию строительного бизнеса..... 114

## ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОМЕТРИЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА

**Иващенко А.В., Кондратьева Т.М.** Об использовании полярной системы координат в проективнографических чертежах .....124

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ. ДИСКУССИИ И РЕЦЕНЗИИ

**Корниенко С.В.** Уточнение расчетных параметров микроклимата помещений при оценке влагозащитных свойств ограждающих конструкций..... 132

**Бурьянов А.Ф.** Рецензия на учебное пособие в двух частях «Строительные системы».....146

**Ханов Н.В.** Рецензия на учебник «Гидравлика».....147

*Для авторов* .....148

CONTENT

**Telichenko V.I.** From the principles of sustainable development to “green” technologies .....5

ARCHITECTURE AND URBAN DEVELOPMENT.  
RESTRUCTURING AND RESTORATION

**Rodionovskaya I.S., Hagh Shenan A.** Qanat — a unique system of water supply in Iran. Specifics of structures and principles of engineering devices .....7

BEDDINGS AND FOUNDATIONS,  
SUBTERRANEAN STRUCTURES.  
SOIL MECHANICS

**Tat'yannikov D.A., Ponomarev A.B.** Numerical modeling of reinforced foundation pads structures ...21

ENGINEERING RESEARCH  
AND EXAMINATION OF BUILDINGS.  
SPECIAL-PURPOSE CONSTRUCTION

**Makhnatov S.A.** Fresh approach to karst management in designing submerged pipeline crossings over large transit rivers .....32

RESEARCH OF BUILDING MATERIALS

**Alekseev V.A., Kharchenko I.Ya., Kharchenko A.I., Bazhenova S.I., Beterbiev A.S.-E.** Sprayed-on modified concrete mixes for spatial structures.....48

**Grishina A.N., Korolev E.V.** Chemical composition of silica-based biocidal modifier .....59

**Pustovgar A.P., Korolev E.V.** Building structures with nonlinear response to external dynamic loading .....68

HYDRAULICS. ENGINEERING HYDROLOGY.  
HYDRAULIC ENGINEERING

**Vvedenskiy A.R., Dianskiy N.A., Kabatchenko I.M., Litvinenko G.I., Reznikov M.V., Fomin V.V.** Lithodynamic processes in the construction area of a bridge across the Kerch strait.....78

**Mikhaylov I.E., Alisultanov R.S.** The influence of sedimentation particles' distribution in depth on the working length of gravity clarifier basins .....92

ECONOMICS, MANAGEMENT  
AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION  
PROCESSES

**Morozenko A.A., Krasovskiy D.V.** Management of investment-construction projects basing on the matrix of key events .....105

Editor-in-chief  
Member of the Russian Academy  
of Architecture and Construction Sciences  
(RAACS), DSc, Prof. **V.I. Telichenko**,  
(MGSU)

Editorial board:

**H.J.H. Brouwers** (Eindhoven University of Technology, Netherlands),

**A.I. Burkhanov** (VSUCE, Volgograd, Russian Federation),

**P.G. Grabovyy** (MGSU, Moscow, Russian Federation)

**O.V. Ignat'ev** (PFUR, Moscow, Russian Federation),

**E.V. Korolev** (MGSU, Moscow, Russian Federation),

**O.I. Poddaeva** (MGSU, Moscow, Russian Federation),

**A.P. Pustovgar** (MGSU, Moscow, Russian Federation),

**A.V. Shamshin** (University of Central Lancashire, Preston, United Kingdom),

**D.N. Silka** (MGSU, Moscow, Russian Federation),

**N.V. Sirotkina** (VVSU, Voronezh, Russian Federation),

**A.A. Volkov** (MGSU, Moscow, Russian Federation)

Editorial council:

**A.A. Volkov** (Chairman),

**Yu.M. Bazhenov, N.G. Verstina, O.O. Egorychev,**

**E.A. Korol, A.N. Larionov, I.G. Lukmanova,**

**N.S. Nikitina, V.I. Telichenko, Z.G. Ter-Martirosyan**

(MGSU, Moscow, Russian Federation),

**S.A. Ambartsumyan** (MonArch Group,

Moscow, Russian Federation),

**A.G. Badalova** (MSTU “STANKIN”, Moscow,

Russian Federation)

**A.T. Bekker** (Far Eastern Federal University,

FERD RAASN, Vladivostok, Russian Federation),

**N.V. Banichuk, S.V. Kuznetsov** (A. Ishlinsky Institute

for Problems in Mechanics RAS, Moscow,

Russian Federation),

**V.T. Erofeev** (Ogarev Mordovia State University, Saransk,

Russian Federation)

**M. Holický** (Czech Technical University in Prague, Klokner

Institut, Czech Republic),

**P. McGhee** (University of Bolton,

United Kingdom),

**N.P. Osmolovskiy** (Lomonosov Moscow

State University, Russian Federation),

**P.J. Pahl** (Technical University of Berlin, Germany),

**V.V. Petrov** (Saratov State Technical University,

Russian Federation),

**E.I. Pupyrev** (Transregional Unity of Designers, Moscow,

Russian Federation),

**A. Yu. Russkikh** (State Duma of the Federal Assembly of

the Russian Federation),

**Yu.A. Tabunshchikov** (Moscow Institute of Architecture

(State Academy), Russian Federation),

**P.A. Akimov, V.I. Travush** (Russian Academy

of Architecture and Construction Sciences, Moscow,

Russian Federation),

**J. Vičan** (University of Zilina, Slovakia),

**J. Walraven** (Delft University of Technology, Netherlands)

**Z. Wójcicki** (Wrocław University of Technology, Poland)

Address:

MGSU, 26, Yaroslavskeye shosse, Moscow,

129337, Russian Federation

Tel./ fax +7 (499) 188-15-87, (499) 188-29-75,

e-mail: vestnikmgsu@mgsu.ru

online version of the journal

<http://vestnikmgsu.ru/>

ISSN 2304-6600 (Online)

Editorial team of issues:

Coordinator of magazine projects **I.S. Skovorodina**

Editor **E.B. Makhyanova**

Corrector **A.A. Dyadicheva**

Layout **A.D. Fedotov**

Russian-English translation **O.V. Ivanova**

Reprint or reproduction of material numbers by any means in whole or in part is permitted only with prior written permission of the publisher — MGSU. Distributed by subscription



**Matveev N.M.** Cost management as basis of harmonious approaches to the development of the construction business ..... 114

ENGINEERING GEOMETRY AND COMPUTER GRAPHICS

**Ivashchenko A.V., Kondrat'eva T.M.** On the use of polar coordinate system in the projective graphic drawings ..... 124

BRIEF MESSAGES. DISCUSSIONS AND REVIEWS

**Kornienko S.V.** Specification of indoor climate design parameters at the assessment of moisture protective properties of enclosing structures ..... 132

**Bur'yanov A.F.** Review of the training manual in two parts "Structural systems" ..... 146

**Khanov N.V.** Review of the textbook "Hydraulics" ..... 147

*For authors* ..... 148

**Цели, задачи и тематика журнала.**

**Редакционная политика**

В научно-техническом журнале «Вестник МГСУ» публикуются научные материалы по проблемам строительной науки и архитектуры (строительство в России и за рубежом: материалы, оборудование, технологии, методики; архитектура: теория, история, проектирование, реставрация; градостроительство).

Тематический охват соответствует утвержденной Номенклатуре научных специальностей:

из отрасли 05.00.00 Технические науки — группа специальностей 05.23.00 Строительство и архитектура (все специальности), а также в приложении к строительству и архитектуре:

группа специальностей 05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление  
 группа специальностей 05.26.00 Безопасность деятельности человека

группа специальностей 05.02.00 Машиностроение и машиноведение

отрасль 08.00.00 Экономические науки.

К рассмотрению и публикации в основных тематических разделах журнала принимаются аналитические материалы, научные статьи, обзоры, рецензии и отзывы на научные публикации по фундаментальным и прикладным вопросам строительства и архитектуры.

Все поступающие материалы проходят научное рецензирование (двойное слепое) с участием редсовета и привлечением внешних экспертов — активно публикующихся авторитетных специалистов по соответствующим предметным областям.

Копии рецензий или мотивированный отказ в публикации предоставляются авторам и в Минобрнауки России (по запросу). Рецензии хранятся в редакции в течение 5 лет.

Редакционная политика журнала базируется на основных положениях действующего российского законодательства в отношении авторского права, плагиата и клеветы, и этических принципах, поддерживаемых международным сообществом ведущих издателей научной периодики и изложенных в рекомендациях Комитета по этике научных публикаций (COPE).

**Aims and Scope. Editorial Board Policy**

In the scientific and technical journal "Vestnik MGSU" /Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering/ the scientific materials on construction science and architectural problems are published (construction in Russia and abroad; materials, equipment, technologies, methods; architecture: theory, history, design, restoration; urban planning).

The topic area corresponds to the approved Classification of Scientific Specialties:

from the branch Technical Sciences — Construction and Architecture (all the specialties), and in addition to construction and architecture:

Informatics, computer engineering and management (Systems of design automation in construction and architecture, Mathematical simulation, numerical methods and program systems);

Emergency management (Safety in case of emergencies (in the construction), Fire and industrial safety (in the construction));

Machine Engineering and Machine Science (Industrial management);

Economical sciences (Economy and management of the national economy (in the construction and architecture, including: economy, organization and management of enterprises, branches, complexes; innovation management; regional economy; logistics; labour economics; population economics and demography; environmental economics; business economics; marketing; management; price setting; economical safety; production quality standardization and management; land planning; recreation and tourism).

Analytical materials, scientific articles, surveys, reviews on scientific publications on fundamental and applied problems of construction and architecture are admitted to examination and publication in the main topic sections of the journal.

All the submitted materials undergo scientific reviewing (double blind) with participation of the editorial board and external experts — actively published competent authorities in the corresponding subject areas.

The review copies or substantiated refusals from publication are provided to the authors and the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (upon request). The reviews are deposited in the editorial office for 5 years.

The editorial policy of the journal is based on the main provisions of the existing Russian Legislation concerning copyright, plagiarism and libel, and ethical principles approved by the international community of leading publishers of scientific periodicals and stated in the recommendations of the Committee on Publication Ethics (COPE).

## ОТ ПРИНЦИПОВ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ К «ЗЕЛеныМ» ТЕХНОЛОГИЯМ



Понятия «зеленые технологии», «зеленые стандарты», «зеленое строительство», «зеленая архитектура», «зеленая продукция» и другие, несущие аналогичную смысловую нагрузку, стали складываться в обществе и в профессиональных кругах сравнительно недавно. Сама парадигма «зелености» среды формируется на основе жизненно важных интересов человека, развития его понимания и познания мира, в котором он существует, т.е. среды его жизнедеятельности.

Путь от первых научных исследований и теоретических обобщений в этой сфере до законодательных и правовых актов, нормативно-технических и методических документов проделан за эти годы огромный. По существу, это движение от общих положений и принципов устойчивого развития к конкретным документам в сфере технического регулирования, формированию системы количественных и качественных оценок, требований, норм, стандартов.

«Зеленые» технологии получают широкое развитие в различных производственных отраслях: строительстве, транспорте, энергетике, перерабатывающей промышленности. Однако процесс широкого развития и применения «зеленых» технологий долгое время во многом сдерживался отсутствием нормативных документов, в т.ч. стандартов, относящихся к определенной отрасли.

Понимая значимость и оценивая перспективность развития «зеленых» технологий в России, НИУ МГСУ совместно с Государственной корпорацией РОСНАНО направил заявку в Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) о создании технического комитета (ТК) по стандартизации в «зеленой» сфере. ТК является эффективной формой сотрудничества отраслевых организаций и органов власти при разработке национальных, межгосударственных и международных стандартов, направленных на обеспечение экологической безопасности и среды жизнедеятельности.

В результате серьезной работы по согласованию актуальности данного направления стандартизации, проведенной специалистами НИУ МГСУ и партнерами, Росстандарт приказом № 1315 от 15.09.2016 принял решение о создании ТК по стандартизации, область функционирования которого получила название ««Зеленые» технологии среды жизнедеятельности и «зеленая» инновационная продукция».

Деятельность вышеназванного ТК может способствовать также решению задач НИУ МГСУ по стандартизации и сертификации в области проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений.

Разработка и внедрение «зеленых» технологий в различных сферах городских структур особенно актуальна для такого мегаполиса, как Москва. В современной Москве ведется активная строительная деятельность, поэтому эксперты все больше говорят о необходимости соблюдения экологической безопасности строительства и перехода на «зеленые» строительные технологии.

Введение в профессиональный обиход таких понятий, как жизненный цикл, ресурсоэффективность, комфорт и безопасность делает развитие принципов и положений «зеленых» технологий неизбежным и востребованным.

Президент НИУ МГСУ,  
академик РААСН

В.И. Теличенко

## FROM THE PRINCIPLES OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT TO “GREEN” TECHNOLOGIES

The concepts of “green technologies”, “green standards”, “green construction”, “green architecture”, “green products” and others conveying the same meaning have been relatively recently established in the professional community. The paradigm of “green” environment is forming on the basis of vital human interests, the development of human understanding and learning the world where one exists, i.e. the living environment.

There has been a long way from the first scientific investigations and theoretical compilations in this sphere to legislative decrees, technical standards and guidelines. Essentially it is a way from general provisions and principles of sustainable development to specific documents in the field of technical regulations, formation of a system of qualitative and quantitative estimates, requirements, norms and standards.

“Green” technologies gain broad-scale development in different production fields: construction, transport, energy sector, process industry. Though the process of wide development and use of green technologies has been retarded for a long time by the absence of regulatory documents, including standards applicable to a definite sector.

MGSU understands the significance and potential of green technologies development. In collaboration with RUSNANO Corporation MGSU sent an application to the Federal Agency on Technical Regulation and Metrology (Rosstandart) on the creation of a technical committee (TC) to develop standards in the “green” sector. TC is an effective form of cooperation of industry organizations and governmental bodies for the development of national, interstate and international standards aimed at ecological safety of the living environment.

As a result of a serious work on approval of the relevancy of this standardization conducted by the specialists of MGSU and the partners, the Federal Agency on Technical Regulation and Metrology adapted a decision to create a TC on standardization by the decree no. 1315 from 15.09.2016, the field of which is called “Green Technologies of the Living Environment and Green Innovative Products”.

The activity of the above mentioned TC may also promote the solution of MGSU tasks on standardization and certification in the field of design, construction and operation of buildings and structures.

The development and implementation of green technologies in different spheres of city structures is especially current for such a metropolis as Moscow. In modern Moscow the construction activity is quite vigorous, that’s why the experts often talk about environmental safety and transition to green construction technologies.

Introduction of such concepts as lifecycle, resource efficiency, comfort and safety makes the development of the green technologies principles inevitable and much in-demand.

President of MGSU,  
academician of RAACS

V.I. Telichenko

## АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

УДК 628.1

И.С. Родионовская, А. Хаг Шенас

НИУ МГСУ

### КЯРИЗЫ — УНИКАЛЬНАЯ СИСТЕМА ВОДОСНАБЖЕНИЯ ИРАНА. СПЕЦИФИКА СООРУЖЕНИЙ И ХАРАКТЕР ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

**Аннотация.** Рассмотрена специфика гидротехнической системы водоснабжения поселений Ирана, характерная для регионов с высокогорным рельефом, расположенных в зонах жаркого и сухого климата. Приведены строительные характеристики системы, ее структура и компоненты сооружения. Дана краткая информация об особенностях сооружения объектов и их работе. Отмечены функциональные, градообразующие, архитектурные и экологические аспекты, влияние данной гидросистемы на расселение популяции. Указана роль этих сооружений в аспекте экологизации среды. Информационно-познавательный характер материала позволяет использовать его в учебном процессе подготовки архитекторов и инженеров-строителей, расширяя их профессиональный кругозор, а также в научно-исследовательской работе, направленной на поиск путей экологизации современной архитектурной среды в условиях развития урбанизации.

**Ключевые слова:** кяризы, канаты, канат-технология, система обводнения территорий в зонах горного жаркого и сухого климата, выпускные колодцы, русла водотоков, градообразующий и архитектурный аспекты

**DOI:** 10.22227/1997-0935.2016.11.7-20

Значительная часть населения мира проживает в географическом поясе жаркого и сухого климата — в маловодных и безводных регионах, где отмечен минимум природных осадков и почти нет пресных водоемов и источников воды. Поэтому именно здесь была не только сформирована мощная специфическая система водоснабжения (рис. 1), устойчиво действующая на протяжении многих веков, но и развита технология ее сооружения, усовершенствованная до уровня высокого инженерно-строительного искусства (рис. 2) [1].



Рис. 1. Система кяризов в пригороде г. Йазд: *а* — вид с поверхности земли; *б* — вид сверху [2]



Еще в XVII в. эта система подземных каналов поразила русского купца Федота Котова, посетившего Персию [3]: «Находится это царство в долине, меж высоких гор, здесь течет небольшая речка. Вода проведена с гор верст на двадцать и больше, а подведена по подземелью!»

Основным сооружением гидротехнической системы является кяриз (канат) — подземный водопроводный канал глубокого заложения, который начинается в горах, где он принимает воды от снеготаяния, и заканчивается в потребительских объектах водопользования: в жилищах, садах, на орошаемых территориях. Кяризы представляют собой протяженные и организованные формы, сопоставимые с культурно-ландшафтными, поскольку состоят из пунктирно расположенных выпускных колодцев, обрамленных рукотворными грунтовыми конусами, которые создают исключительно выразительный рельеф [4].

В условиях жаркого и сухого климата кяриз становится важнейшим компонентом существования людей, неотъемлемым и органичным атрибутом жизни (рис. 3). Как и в случае любого сооружения, полезность которого проверена веками, требуется осмыслить причины возникновения и развития столь сложной градообразующей, архитектурной и технической системы, воплощающей функциональные, экологические, структурно-композиционные, ландшафтные и инженерные аспекты [2]. Так что же такое кяриз как объект строительной деятельности? К сожалению, столь важный для населения объект почти не представлен даже в профессиональной строительной литературе, а ведь он не только выполняет важные экологические и жизнеобеспечивающие функции, но и является формообразующим компонентом крупномасштабного архитектурно-ландшафтного пространства.



Рис. 2. Вид протяженного кяриза Мохандими во время дноуглубительных и восстановительных работ [2]



Рис. 3. Внутреннее ландшафтно-архитектурное пространство кяризов: *а* — кяриз Мазхар на острове Киш; *б* — подземный интерьер кяриза Киш (фото А. Хаг Шенаса)

Кяризы — особые инженерно-гидротехнические сооружения, служащие для хозяйственного водоснабжения населенных пунктов и сельскохозяйственных объектов [5]. Их устройство часто осуществляется в высокогорных областях, где существующие снежные вершины стабильно продуцируют талые воды. Для функционально-потребительского использования этих вод и сооружаются кяризы. Основные компоненты их элементной структуры — наклонный подземный тоннель (водовод) и шахтообразные колодцы (рис. 4). В развитых структурах этих сооружений могут формироваться подземные водонакопительные объемные резервуары, сооружаться многоступенчатые каскады.



Рис. 4. Шахта кяриза Гонабад (фото А. Хаг Шенаса)

Водоснабжение с использованием подземных водопроводных каналов известно с глубокой древности. Они весьма распространены во многих странах, расположенных в регионах жаркого и сухого или полусухого климата [6]. Об этом красноречиво свидетельствуют их региональные терминологические определения. *Кяриз* — изобретение иранских зодчих (III тыс. до н.э.), однако в Иране и других странах для этого сооружения есть 27 названий. В персидском языке (на фарси) оно называется *ганат* или *кариз* (этот термин имеет хождение во многих странах Центральной и Передней Азии, Ближнего Востока — в Афганистане, Омане, Пакистане, Арабских Эмиратах и др.). На арабском языке кяриз называется *канатом*, его сокращенный вариант *кан* используется в языке народа *белуджи*, проживающего на юго-востоке Ирана и западе Пакистана. В Северной Африке, ОАЭ и Саудовской Аравии кяриз именуется *фугарра*, *фоггара* и *афладж*. В отдельных странах имеются и местные названия. Так, в Марокко канат называется *хетара*, в Испании — *галерия*, в Иордании и Сирии — *роман*, в Китае — *канерджинг*, в Японии — *манбу* [7].

В настоящее время способ водоснабжения территорий поселений с использованием кяризов принято называть «канат-технологией». Значение канат-технологий для населения засушливых регионов мира беспрецедентно, поскольку жизнь здесь напрямую зависит от наличия воды. При этом особенно высокое значение приобретает качество воды, ее объем и регулярность потока, а также сама возможность устройства кяризов. В зависимости от этих факторов формировалась и система расселения, поскольку эффективно действующий кяриз обладал долгосрочной ценностью для всего общества.

В аспекте стоимости строительства канаты являются весьма дорогостоящими объектами, поскольку относятся к категории трудновозводимых и сложных в эксплуатации. Однако население коллективно инвестирует их создание, покрывая также расходы на эксплуатацию. Каждый вкладчик (в соответствии с вложенными средствами) получает свой пай, который передается по наследству.

На протяжении всей истории использование кяризов (канат-технологии) позволяло не только обеспечивать водой население и производство, но и значительно усовершенствовало очень сложные геоклиматические условия путем экологизации среды. Это в свою очередь создавало условия для устройства приобъектных садов, непосредственно примыкающих к зданиям или интегрированных в их пространственную структуру, что приносило не только множество материальных благ, но и дарило особый социально-психологический и духовный комфорт, необходимый с позиций экологии человека (рис. 5).



Рис. 5. Сад караван-сарая Садоссалтанех в Казвин (фото А. Хаг Шенаса)

**Регионы использования канатных систем водоснабжения.** Канат-технологии снабжения населения водой используются преимущественно в тех странах и регионах, природная среда которых характеризуется следующими условиями:

- засушливостью и жарким и сухим климатом, стимулирующим процесс активного испарения;
- отсутствием крупных пресных рек и водоемов, уровень и количество воды в которых допускает искусственное орошение сельскохозяйственных земель;
- наличием и высоким потенциалом плодородия почв, проявляющимся только при орошении;
- наличием высокогорных снежных вершин, обеспечивающих постоянное формирование талых вод;
- значительной глубиной водоносного горизонта на потенциально плодородных землях, затрудняющей использование простых скважин;
- наличием особых природных или градостроительных ситуаций на территории, препятствующих формированию традиционных водопроводных систем.

Возникает закономерный вопрос: зачем прокладывать многокилометровые тоннели? Не проще ли выкопать один глубокий колодец в черте города? Однако древние персы — мудрый народ — говорили, что из колодца воду придется доставать изо дня в день, затрачивая большие силы. Прокопав один раз кяриз, воду можно получать без затруднений: она сама потечет в города и на поля. Впрочем, прокладка тоннелей в твердом грунте велась вручную, и порой на проходку нескольких сантиметров тоннеля уходили сутки.

**Структура и компоненты канатной системы водоснабжения.** Канатная гидросистема — это организованная разветвленная сеть, состоящая из подземных водных каналов различного уровня, мощности и глубины заложения (рис. 6). Ее особенность заключается в том, чтобы доставить потребителю требуемое количество воды без необходимости ее закачивания. Это достигается путем забора воды с высокого или возвышенного водоносного горизонта и

проведения ее по подземным водоводам, что позволяет не терять определенного объема воды при испарении и фильтрации через почву и одновременно избежать ее перегрева и загрязнения.

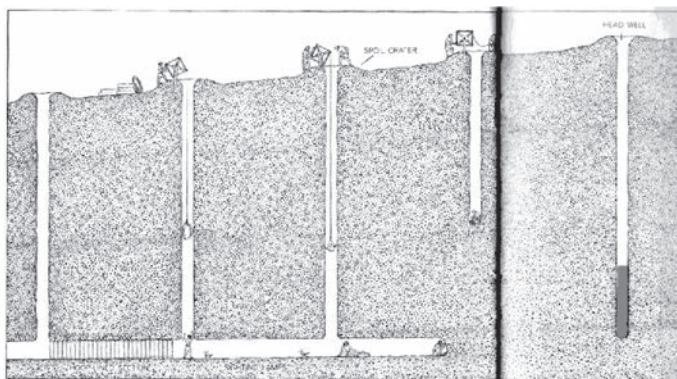


Рис. 6. Строительство кяриза — проходка шахт вертикальных колодцев и наклонного водовода (разрез по руслу кяриза)

Структура кяриза включает в себя подземные русла определенного уклона и вертикальные шахты. На протяжении всего пути движения самотечной воды формируются выпускные колодцы, шаг которых по трассе составляет около 50 м. Они устраиваются для обеспечения обслуживания кяриза: регулирования водотока, очистки, ремонта. Все это вручную осуществляется особыми рабочими. В городе или на ферме вода порой подходит к самой поверхности земли или протекает на максимальной глубине 5...10 м. Но в основном колодцы имеют очень глубокое заложение.

В ряде случаев подземная сеть водоводных каналов имеет мелкие ответвления и относительно небольшие резервуары, рассчитанные на ночной сбор воды в объеме дневного потребления. Таким образом исторически функционировали большинство водных канатов в персидской древности, почти также продолжают они работать и в настоящее время. Преимущество системы подземных водоводов состоит в том, что она относительно устойчива к природным и социальным катаклизмам. Особенно эффективно работала эта система в период войн, что не раз обеспечивало выживание населения.

Канатная система практически нечувствительна к уровню природных осадков, поскольку характер водотоков определяется постоянством режима природного снеготаяния. Кроме того, эта техническая система допускает накопление воды и регулирование режима водопотребления. Функциональная устойчивость и широкое распространение канат-технологии во многих странах мира подчеркивает ее эффективность и полезность во многих аспектах жизнеобеспечения.

Кяризы Ирана обычно имеют достаточно большую протяженность — не менее 5 км. Но иногда достигают значительно длины. Так, в г. Керман действует кяриз протяженностью 70 км. Глубина вертикальных стволов шахт (см. рис. 6) обычно варьируется от 20 до 200 м. Однако есть кяризы, в которых ствол колодца достигает глубины 275 м (в провинции Хорасан). Наибольшая глубина вертикальной шахты действующего сегодня кяриза в г. Гонабад составляет



360 м. Он был выстроен и введен в действие 2700 лет назад. Его протяженность — 45 км. Современная канатная гидросистема Ирана сегодня имеет протяженность 310 тыс. км и состоит из 30 тыс. кяризов [8], что приравнивает всю иранскую систему к таким чудесам света, как Великая Китайская стена. Маршрут кяризов Ирана — самый длинный подземный водовод в мире, а по своей природе — это единственный в своем роде инженерно-технический шедевр [9].

### Строительство кяризов.

Исторически строительство канатной системы было основано на использовании ручного труда. Сооружение обычно выполнялось группой квалифицированных рабочих — *моханди* (моганни) [10]. Профессия эта сложна и весьма опасна, поэтому она всегда хорошо оплачивалась и была семейной, обычно переходящей от отца к сыну (рис. 7).



Рис. 7. Моханди во время сооружения кяриза: при проходке шахты грунт удаляется с применением кожаных мешков [11]

Первым шагом строительства кяриза является определение подходящего источника воды и направления ее оптимального движения. Поиски обычно проводятся в местах выноса воды с гор и предгорий. Подлежат определению также объем, характер и режим вод, включая подземные. Маркером ситуации обычно являются места сезонного просачивания и характер растительности. Особо оценивается скорость движения и полнота водного потока. Его достаточная полноводность служит основанием для строительства кяриза.

Оборудование для производства работ предназначено сугубо для ручного труда. Контейнерами для выноса грунта из шахты служат кожаные сумки, также используются веревки, топоры, лопаты и пр. Несмотря на то, что строительные методы достаточно просты, сооружение подземных водопроводных каналов отличается сложностью. Требуется понимание подземной геологии, степени технической сложности рельефа и наличие особых знаний в области строительства гидросооружений в части формирования определенных уклонов русел водотоков, поскольку слишком крутой их уклон влечет за собой бурление и волнообразование, провоцирующие размыв и эрозию пород, ограждающих канал. Недостаточный уклон не дает требуемой скорости потока и объема воды. Поскольку основным требованием является легкость течения воды, уклон русла коротких канатов должен формироваться в пределах  $1 : 1000$ – $1 : 5000$  в *тарехкар* (на отрезке между материнским колодцем (главной шахтой) и пересечением горизонтального положения ложа со статическим уровнем) и в *хошкекар* (на отрезке между пересечением горизонтального положения ложа кяриза со статическим уровнем *домазахар*), далее он составляет от  $1 : 5000$  до  $1 : 10000$ .

В крупных протяженных кяризах с большой массой воды канал может быть практически горизонтальным. В случаях, когда уклон весьма крут, в структуре каната могут сооружаться подземные водопады и каскады, а также



использоваться специальные конструктивные устройства, исключая развитие сверхкритических скоростей движения водного потока. Это связано с тем, что сильная эрозия грунта может не только существенно повредить или вывести из строя сооружение на продолжительное время, но и полностью его уничтожить.

Строительство каната требует тщательного изучения морфологии рельефа и почв, прочностных свойств грунта, поскольку при эксплуатации кяриза могут происходить не только его осыпи и обвалы, требующие сложного ремонта, но и возникать ситуации, фатальные для строителей. Для профилактики таких нарушений и служит особая форма поперечного сечения канала (рис. 8).



Рис. 8. Формы поперечного сечения горизонтального канала: *а* — канат г. Гонабад (изначальная форма подземного тоннеля в скальном грунте); *б* — канат Кавал (завершенная форма тоннеля в ограждающих конструкциях стрельчатой формы)

Как правило, неглубокий подземный водовод строит бригада рабочих из 3–4 человек: один прокладывает подземный тоннель, другой поднимает наверх грунт, третий распределяет его наверху, формируя защитный конус воронки.

Работы обычно начинаются с рытья скважин (вертикальных колодцев). Скорость строительства зависит от глубины, характера и сложности грунта. Если грунт мягкий, группа из четырех человек, работая на глубине 20 м, в сутки может выкопать горизонтальный канал до 40 м. Чем глубже основной водопроводный канал, тем меньше скорость горизонтальной проходки грунта. Для сооружения очень глубоких и протяженных кяризов требуются многие годы, а иногда и десятилетия. Выносной грунт из канала обычно поднимается вверх по вертикальным стволам вручную. Также вручную осуществляются работы внутри каналов. Работа эта, обычно выполняемая рабочими моханди, очень трудна и опасна, поскольку как при проходке, так и во время эксплуатации нередко обвалы и затопления. Поэтому спускаться в шахту на большую глубину может только очень опытный моханди. Труд рабочих снаружи колодца также очень тяжел, поскольку вынос грунта из глубокого колодца осуществляется вручную. На выходе ствола шахты обычно создается грунтовый защитный барьер — конусообразная насыпь, предохраняющая воронку шахты от ветровых наносов песка, осадков и осыпей. Конусы грунта у вертикальных колодцев могут иметь искусственное покрытие во избежание выдувания из него составляющих ингредиентов [12]. Завершенный кяриз имеет вид, приведенный на рис. 9.

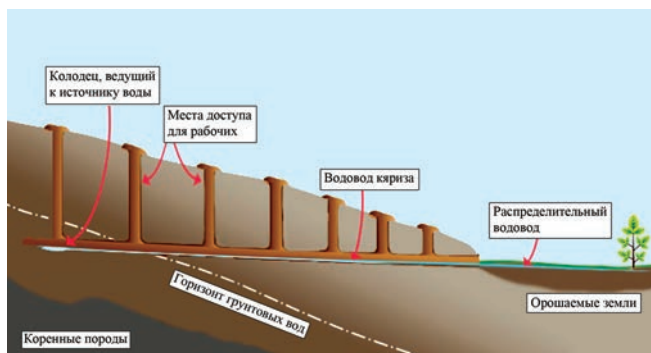


Рис. 9. Разрез типичного кяриза [13]

**Демографические и градообразующие аспекты кяризов.** Основными компонентами благоустройства жизненной среды населения в условиях жаркого и сухого климата являются тень, вода и растительность. Поскольку пресноводных рек и водоемов в Иране мало, большинство городов страны пользуется системой канатного водоснабжения [14]. Как правило, ее структура включает от одного до нескольких подземных водоводов — кяризов, образующих гидросеть. Другим важнейшим по значению компонентом жизнеобеспечения является растительность, которая также требует воды. Поэтому поля и сады обычно располагаются вблизи этих искусственных источников. Фактически, жизнь населения в этом регионе формируется в органической взаимосвязи с водой. Достаточный объем водоснабжения выступает фактором-детерминантом формирования, формообразования и развития системы расселения, а также экологичности и комфортности среды проживания людей. Вода в Иране является социальным ресурсом, определяющим характер жизни людей и пространственное наполнение их жизни [15].

Наиболее качественная вода (чистая, свежая и прохладная) поступает на выпуск из подземных водоводов на поверхность из колодцев. Поэтому рядом с ними люди всегда старались строить свои жилища. Эта вода подземным путем по ответвлениям от основного русла обычно подается в частные резервуары жилых строений для внутреннего хозяйственного потребления и орошения садов. Вода низовых частей кяризов, обладающая меньшей чистотой, часто выпускается наружу и используется для орошения.

Одно из важных качеств воды в условиях жаркого климата — ее температура. Для поддержания низкой температуры воды в Иране устраиваются специальные сооружения — *охлаждающие башни* (рис. 10, 11) [16]. Уникальность этих сооружений заключается в том, что они не только охлаждают воду, но и понижают температуру воздуха в помещениях, создавая благоприятную среду в условиях жаркого и сухого климата не только путем использования ветра и льда, но и охлажденной воды. Эти сооружения интересны в инженерно-техническом и архитектурном плане. Имея своеобразные формы, четко детерминированные функциональным характером объекта, они формируют и уникальный образ архитектурной среды [17]. В засушливые годы в низовых частях этих сооружений может наблюдаться весьма существенное снижение полноты и скорости водотока, что крайне нежелательно. Поэтому для решения подобных проблем формируются накопители.