

научно-технический журнал

ВЕСТНИК



МГСУ

10/2015



материалы оборудование технологии

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

2015 № 10

Москва

НИУ МГСУ

СОДЕРЖАНИЕ

Адамцевич А.О. Инновационное развитие строительной отрасли России5

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Алисултанов Р.С., Олейников А.В., Срывкова М.В., Прошин М.Ю. Исследование нагрузочной способности фасадного анкерного дюбеля, извлекаемого из стальной втулки.....7

Золина Т.В., Садчиков П.Н. Прогнозирование надежности здания при исследовании динамики его напряженно-деформированного состояния.....20

Коянкин А.А., Митасов В.М. Экспериментальные исследования узлов сопряжения пустотной плиты со сборно-монолитным и монолитным ригелем.....32

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ. МЕХАНИКА ГРУНТОВ

Хохлов И.Н. Методики расчета свай в скальных грунтах на горизонтальную нагрузку.....40

ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ И ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ. СПЕЦИАЛЬНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Локтев А.А., Локтев Д.А. Оценка измерений расстояния до объекта при исследовании его графического образа54

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Гришина А.Н., Королев Е.В. Исследование химического состава цементного камня, модифицированного гидросиликатами бария66

Зайцева К.В. Пути повышения эффективности ограждающих конструкций из древесных материалов75

Капленко О.А., Комарова К.С., Марков С.В. Трещиностойкость кровельных покрытий зданий и сооружений из водоземulsionных мастик на основе эмульгаторов.....85

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

Учредители:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), общество с ограниченной ответственностью «Издательство АСВ»

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, UlrichsWeb Global Serials Directory, DOAJ, EBSCO, Index Copernicus

Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering

Scientific and Technical Journal
on Construction and Architecture

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

Founders: Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU) 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.
В.И. Теличенко (НИУ МГСУ)

Редакционная коллегия:

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

А.И. Бурханов (ВолгГАСУ),

А.А. Волков (НИУ МГСУ),

О.Е. Горячева (отв. редактор, НИУ МГСУ),

О.В. Игнатьев (РУДН),

Е.В. Королев (НИУ МГСУ),

О.И. Поддаева (НИУ МГСУ),

А.П. Пустовгар (НИУ МГСУ),

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

Редакционный совет:

А.А. Волков (председатель),

П.А. Акимов, **Ю.М. Баженов**,

О.О. Егорычев, **Е.А. Король**, **Н.С. Никитина**,

В.И. Теличенко, **З.Г. Тер-Мартirosян** (НИУ МГСУ),

С.А. Амбарцумян (Концерн «МонАрх»),

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)

Н.П. Кошман (Ассоциация строителей России),

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. Пупырев (ГУП «МосводоканалНИИпроект»),

А.Ю. Русских (Государственная Дума Федерального

Собрания Российской Федерации),

Ю.А. Табунчиков (МАРХИ),

О.В. Токмаджян (Совет старейшин г. Еревана,

Армения),

В.И. Травуш (РААСН)

Адрес редакции:

129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, МГСУ.

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

e-mail: vestnikmgsu@mgsu.ru

Электронная версия журнала

<http://vestnikmgsu.ru>

ISSN 2304-6600 (Online)

Периодическое научное издание

Вестник МГСУ. 2015. № 10

Научно-технический журнал

Зав. редакцией журналов **О.В. Горячева**

Редактор **В.Я. Пацця**

Корректор **А.А. Дядичева**

Верстка **А.Д. Федотов**

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

Подписано в печать 27.10.2015. Формат 70х108/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.

Гарнитура Таймс. Усл.-печ. л. 19,1. Уч.-изд. л. 16,5.

Тираж 200 экз. Заказ № 359.

Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования

«Национальный исследовательский

Московский государственный строительный

университет».

Издательство МИСИ — МГСУ

www.mgsu.ru, ric@mgsu.ru

(495) 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, 2015

Лапишинов А.Е. Перспективы применения неметаллической композитной арматуры в качестве рабочей ненапрягаемой в сжатых элементах96

Покровская Е.Н., Портнов Ф.А. Огнебиозащитный состав для древесины с эффективными дымогасящими компонентами.....106

БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ. ГЕОЭКОЛОГИЯ

Щербаков В.И., Нгуен Х.К. Модернизация водопроводной сети на основе оптимизации гидравлических параметров при аварии на магистралях115

ГИДРАВЛИКА. ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Бальзаников М.И., Пиявский С.А. Особенности работы и перспективные конструкции отсасывающих труб гидроэлектростанций.....127

Куранов Н.П., Куранов П.Н., Коротеев Д.Г. Методология и методика расчета норм осушения при инженерной защите от подтопления локальных объектов138

Михайлов И.В., Алисултанов Р.С. Вихревой сток — окружность, расположенный на бесконечном непроницаемом цилиндре153

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Сборщиков С.Б., Лазарева Н.В. Влияние случайных факторов на траекторию устойчивого развития инвестиционно-строительной деятельности на уровнях иерархии.....162

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЛОГИСТИКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Ануфриев Д.П., Холодов А.Ю., Волков А.А. Моделирование сетей массового обслуживания с последовательно соединенными узлами.....171

Волков А.А., Батов Е.И. Промежуточное программное обеспечение в функциональной модели интеллектуального здания182

Волков А.А., Батов Е.И. Системотехника функционального моделирования интеллектуальных зданий.....188

ПРОБЛЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ В ВЫСШЕЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ШКОЛЕ

Ваванов Д.А., Иващенко А.В. Сравнительный анализ компьютерных систем, используемых в учебных курсах начертательной геометрии, на примере решения задачи построения теней на фасаде в ортогональных проекциях194

ПЕРСОНАЛИИ. ИНФОРМАЦИЯ

Жуков А.Д., Боброва Е.Ю., Карпова А.О. Фасадные системы: «прочность, польза, красота»201

Авторам210

CONTENT

Adamtsevich A.O. Innovative development of the construction industry in Russia.....5

DESIGNING AND DETAILING OF BUILDING SYSTEMS.
MECHANICS IN CIVIL ENGINEERING

Alisultanov R.S., Oleynikov A.V., Sryvkova M.V., Proshin M.Yu. Investigation of the load bearing capacity of facade expansion anchor withdrawn from steel socket7
Zolina T.V., Sadchikov P.N. Forecasting reliability of a building while investigating its stress-strain state dynamics20
Koyankin A.A., Mitasov V.M. Experimental research of the joins of a hollow slab with precast-cast-in-place and monolithic girder32

BEDDINGS AND FOUNDATIONS,
SUBTERRANEAN STRUCTURES. SOIL MECHANICS

Khokhlov I.N. Calculation methods of laterally loaded drilled shafts in rock40

ENGINEERING RESEARCH AND EXAMINATION
OF BUILDINGS. SPECIAL-PURPOSE CONSTRUCTION

Loktev A.A., Loktev D.A. Evaluation of measurements of the distance to the object in the study of its graphic image54

RESEARCH OF BUILDING MATERIALS

Grishina A.N., Korolev E.V. Chemical composition of the cement stone modified by barium hydrosilicates.....66
Zaytseva K.V. Ways to increase efficiency of filler structures made of wood materials75
Kaplenko O.A., Komarova K.S., Markov S.V. Crack resistance of roof coatings of buildings and structures made of water-emulsion mastics based on emulsifiers.....85
Lapshinov A.E. Prospects of potential application of non-metallic frp reinforcement in frp-reinforced concrete compressive members as main longitudinal non-prestressed reinforcement96
Pokrovskaya E.N., Portnov F.A. Fire- bio-retarding composition for wood with effective smoke-quenching components106

SAFETY OF BUILDING SYSTEMS.
ECOLOGICAL PROBLEMS OF CONSTRUCTION PROJECTS.
GEOECOLOGY

Shcherbakov V.I., Nguen H.C. Modernization of water supply system basing on optimization of hydraulic parameters in case of accidents on main lines115

HYDRAULICS. ENGINEERING HYDROLOGY.
HYDRAULIC ENGINEERING

Bal'zannikov M.I., Piyavskiy S.A. Operational peculiarities of HPP suction tubes and their prospective designs127
Kuranov N.P., Kuranov P.N., Koroteev D.G. Methodology and methods of calculating the drainage rate at engineering protection from underflooding of local objects.....138
Mikhaylov I.V., Alisultanov R.S. Vortex discharge — circle situated on infinite impenetrable cylinder153

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),
O.E. Goryacheva (Executive Editor, MGSU, Moscow, Russian Federation),
O.V. Ignat'ev (PFUR, Moscow, Russian Federation),
E.V. Korolev (MGSU, Moscow, Russian Federation),
O.I. Poddaveva (MGSU, Moscow, Russian Federation),
A.P. Pustovgar (MGSU, Moscow, Russian Federation),
A.V. Shamshin (University of Central Lancashire, Preston, United Kingdom),
A.A. Volkov (MGSU, Moscow, Russian Federation)

Editorial council:

A.A. Volkov (Chairman),
P.A. Akimov, Yu.M. Bazhenov,
O.O. Egorychev, E.A. Korol, N.S. Nikitina,
V.I. Telichenko, Z.G. Ter-Martirosyan (MGSU, Moscow, Russian Federation),
S.A. Ambartsumyan (MonArch Group, 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),
N.P. Koshman (Builders Association of Russia, Moscow, Russian Federation),
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. Pupryev (MosvodokanalNIiproekt, 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),
O.V. Tokmadzhyan (Council of Elders of Erevan, Armenia),
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 (Wroclaw University of Technology, Poland)

Address:
MGSU, 26, Yaroslavskoye 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:
Head of journal editorial office **O.V. Goryacheva**
Editor **V.Ya. Patsiya**
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

Sborshchikov S.B., Lazareva N.V. Influence of random factors on the trajectory of the sustainable development of investment and construction activity at hierarchy levels 162

INFORMATION SYSTEMS AND LOGISTICS IN CIVIL ENGINEERING

Anufriev D.P., Kholodov A.Yu., Volkov A.A. Simulation of queuing networks with a sequence of connected nodes..... 171
Volkov A.A., Batov E.I. Middleware for functional modeling of intelligent buildings..... 182
Volkov A.A., Batov E.I. System engineering of functional modeling of intelligent buildings..... 188

PROBLEMS OF HIGHER EDUCATION IN CIVIL ENGINEERING

Vavanov D.A., Ivashchenko A.V. Comparative analysis of the computer systems used in training courses of descriptive geometry on the example of solving the problem of shadows on the facades of buildings in orthogonal projections 194

PERSONALITIES. INFORMATION

Zhukov A.D., Bobrova E.Yu., Karpova A.O. Facade systems: durability, utility and beauty..... 201
For authors 210

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).

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ



Черда мировых финансово-экономических кризисов, сопровождающихся неуклонным ростом международной напряженности, продемонстрировала несовершенство сырьевой модели российской экономики и определила необходимость перехода нашей страны на принципиально новый, инновационный путь развития. Правительством Российской Федерации сформулирован комплекс задач в области проведения технологической модернизации, развития социальных и государственных институтов и формирования устойчивой, конкурентоспособной и эффективной экономики.

На территории нашей страны уже создано и продолжает развиваться значительное число объектов инновационной инфраструктуры, таких как особые экономические зоны, инновационные территориальные кластеры, технологические платформы, инжиниринговые центры, центры прототипирования, центры коллективного пользования научным оборудованием, центры трансфера технологий, технопарки, бизнес-инкубаторы и т.д. Однако зачастую мы можем наблюдать, как отсутствие возможности быстро создавать необходимую инфраструктуру требуемого уровня качества приводит к тому, что замедляется сам процесс развития приоритетных направлений экономики, таких как нанотехнологии, информационно-телекоммуникационные системы, освоение космоса и др. Как нет смысла создавать высокоскоростные поезда без железной дороги, по которой они смогут ездить, так и нет смысла вкладывать значительные ресурсы в реализацию иных наукоемких проектов без создания необходимой инфраструктуры для их реализации. Именно поэтому все более очевидной становится необходимость создания условий для опережающего научно-технологического развития именно строительного комплекса страны как образующей отрасли отечественного производства.

Важно отметить, что Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет идет в ногу со временем и на сегодняшний день играет одну из ключевых ролей в реализации данного процесса. НИУ МГСУ — это единственный инженерно-строительный вуз страны, получивший статус национального исследовательского университета; на базе вуза действует ведущий центр коллективного пользования научным и испытательным оборудованием (ГР ЦКП), оснащенный современным оборудованием мирового класса для проведения исследований любого уровня сложности по актуальным направлениям строительной науки; университет принимает активное участие в реализации программы разработки и актуализации нормативной технической документации в сфере строительства на плановый период до 2017 г.; ученые и специалисты НИУ МГСУ возглавляют ведущие российские и международные научно-педагогические и научно-практические школы в области строительства.

В 2014 г. активная позиция руководства университета привела к созданию первой в стране инженерно-строительной технологической платформы «Строительство и архитектура», а в ближайшие годы при поддержке Минобрнауки РФ и Минстроя РФ на базе НИУ МГСУ будет создан уникальный инновационный центр «Строительство», призванный стать единой отраслевой площадкой, объединяющей науку, промышленность, строительное производство и образование при непосредственном участии государства. Целью данного проекта станет вывод отечественной строительной отрасли на совершенно новый уровень развития, при котором будут реализованы принципы подготовки современных высококвалифицированных кадров и обеспечены необходимые условия для сокращения сроков внедрения инновационных решений в строительное производство.

Уверен, что запущенные механизмы интенсивного инновационного развития строительной отрасли обязательно приведут к новым научным открытиям и созданию поразительных инженерных решений, узнать о которых из первых уст Вы всегда сможете на страницах ведущего научно-технического журнала по строительству и архитектуре «Вестник МГСУ»!

И.о. начальника Управления научной политики
НИУ МГСУ, канд. техн. наук

А.О. Адамцевич

INNOVATIVE DEVELOPMENT OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY IN RUSSIA

A succession of world financial and economic crises accompanied by steady growth of international tension proved imperfection of raw materials model of the Russian economy and defined the necessity to transfer to conceptually new innovative development path. The government of the Russian Federation spelled a complex of tasks in the field of technological modernization, development of social and state institutions and formation of sustainability, competitive ability and efficient economy.

A substantial number of innovative infrastructure objects are already created and continue developing on the territory of our country, such as special economic areas, innovative territorial clusters, technological platforms, engineering centers, prototyping centers, centers of shared use of scientific equipment, centers of technologies transfer, technoparks, business incubators, etc.

Though we may often observe that the absence of possibility to quickly create the necessary infrastructure of the required quality leads to slowing down of the development process of the priority directions of the economy, such as nanotechnologies, information and telecommunication systems, cosmic exploration, etc. The same as there is no sense in creating high-speed trains without railway, there is no sense in investing substantial funds in implementation of knowledge-intensive projects without creation of the necessary infrastructure for their implementation. That's why the necessity to create the conditions for priority scientific and technical development of the construction complex of the country as a formative branch of the Russian industry becomes obvious.

It is important to note that the Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) keeps up with the times and today it plays one of the key roles in implementation of this process. MGSU is the only engineering and construction higher institution of Russia, which received the status of National Research University. On the basis of our university works a leading centre of shared use of scientific and test equipment, which is equipped with the modern world-class equipment for carrying out research of any complexity level in current directions of construction science. The university is actively involved in implementation of the program of development and updating of normative technical documentation in the sphere of construction for the target period up to 2017. The scientists and specialists of MGSU head leading Russian and international scientific-educational and scientific-practical schools in the construction branch.

In 2014 the active stand of the university administration lead to the creation of the first in our country engineering and construction platform "Construction and architecture", and in the coming years under the support of the Ministry of Education and Science and the Ministry of Construction of the RF a unique innovative center "Construction" will be created on the basis of MGSU. It should become a general branch platform uniting science, industry, construction operations and education with direct involvement of the state. The aim of this project is propel of Russian construction industry to the new development level, when the principles of modern high-skilled staff education will be implemented and the necessary conditions for terms reduction for implementation of innovative solutions into construction industry will be provided.

I am sure that the started up mechanisms of intensive innovative development of the construction branch will necessarily lead to new scientific investigations and to the creation of surprising engineering solutions. And you will be able to learn about them from the leading scientific technical journal on the construction and architecture "Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering".

Act. Head, Scientific Policy Department of MGSU
 Candidate of Technical Sciences

A.O. Adamtsevich

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

УДК 624.04

**Р.С. Алисултанов, А.В. Олейников, М.В. Срывкова,
М.Ю. Прошин**

НИУ МГСУ

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ФАСАДНОГО АНКЕРНОГО ДЮБЕЛЯ, ИЗВЛЕКАЕМОГО ИЗ СТАЛЬНОЙ ВТУЛКИ*

Исследовано сопротивление вырыва фасадного анкерного дюбеля из стальной втулки — материала, обладающего заведомо большими прочностными свойствами, чем нейлоновая втулка дюбеля, что позволяет определить свойства именно втулки, а не стенового материала. Получена диаграмма нагружения, состоящая из четырех участков. Участок № 1 — практически соответствует закону Гука до наибольшего усилия. Участок № 2 — скачкообразное падение усилия вырыва. Участок № 3 — плавная нисходящая ветвь до предельной деформации в соответствии с паспортом изделия. Участок № 4 — окончательное извлечение дюбеля в виде наклонной линии.

Предложена гипотеза о возникновении и разрушении микродефектов на поверхности соприкосновения нейлоновой гильзы дюбелями металлической втулки. Дано математическое описание предложенной гипотезы.

Ключевые слова: навесные фасадные системы, фасадный анкерный дюбель, усилие вырыва, нагрузочная способность, диаграмма нагружения, зависимость усилия, величина смещения, вырыв, усталостная прочность, анкерное крепление

Навесные фасадные системы (НФС) предназначены для улучшения тепло-технических характеристик ограждающих конструкций существующих зданий и соблюдения нормативных требований вновь возводимых сооружений.

Элементом соединения НФС с ограждающей стеновой конструкцией является фасадный анкерный дюбель. Прочность анкерного соединения во многом определяет надежность работы НФС в целом [1—11].

Изучению несущей способности анкеров посвящен ряд отечественных и зарубежных исследований. Так, вопросам, связанным с определением несущей способности (сопротивление вырыву) прямолинейного анкера из стальной арматуры и замоноличенного в кирпичную кладку, посвящена [12]. Классификация анкерных креплений НФС, технология их устройства и некоторые принципы работы изложены в [13—20]. Вопросы сейсмостойкости вентилируемых фасадных систем рассмотрены в [21—25].

В настоящей работе отражены некоторые результаты исследований фасадных анкерных дюбелей EFA на сопротивление вырыву.

* Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (грант Президента Российской Федерации № 14.Z57.14.6545-НШ).

В соответствии с описанием этих анкеров, приведенных на сайте elementa-russia.ru¹, дюбель обеспечивает сопротивление вырыву, т.е. удерживает нагрузку силой трения при его использовании в полнотелых материалах (анкеровка трением) и за счет упора распорных ламелей в материалах, обладающих внутренними пустотами (анкеровка формой). При проведении исследований использовались универсальные нейлоновые фасадные анкерные дюбели EFA-FH с коррозионностойким покрытием HARP распорного элемента, изготовленного из материала класса прочности 6.8. Диаметр дюбеля — 10 мм, его длина — 100 мм (EFA 10×100 FH артикул 200233). Рекомендуемый диаметр бура — 10 мм. Минимальная глубина отверстия 110 мм. Эффективная глубина анкеровки 70 мм. Применяемый распорный элемент имеет полную длину 112 мм и диаметр 7 мм. В соответствии с заявленными характеристиками допустимая вырывающая нагрузка на одиночный фасадный анкерный дюбель EFA при его использовании в бетоне класса не менее, чем C12/C15 (приблизительная нормативная прочность 7,5 МПа) составляет 1,93 кН; при его использовании в полнотелом керамическом кирпиче — 1,80 кН; в полнотелом силикатном кирпиче — 1,75 кН; в ячеистом бетоне — 0,43 кН; в щелевом керамическом кирпиче — 0,70 кН.

Одной из задач исследования являлось определение сопротивления вырыву в полнотелых материалах, т.е. исследование усилия вырыва при анкеровке трением. Для этого были изготовлены стальные втулки с глубиной отверстия 110 мм, что соответствует минимально допустимой глубине анкеровки. Отверстие изготавливалось путем сверления с последующей разверткой. Диаметр отверстия равен 10 мм. Шероховатость поверхности Ra равна 3,2. При столь малой шероховатости, измеряемой микронами, можно полностью исключить анкеровку формой, полагая, что анкеровка осуществляется за счет силы трения. Прочность и твердость стальной втулки превышает соответствующие показатели материала дюбеля на несколько порядков. В связи с этим стальная втулка может быть использована многократно. Установка исследуемого анкерного дюбеля в стальную втулку проводилась в традиционной последовательности, отраженной на рис. 1. Во-первых, в стальную втулку 1 устанавливалась гильза 2 из полиамида высокой степени очистки. Затем в гильзу 2 вворачивался распорный элемент 3. Усилие вырыва прикладывалось к специально изготовленной насадке 4, обеспечивающей центральное приложение усилия, т.е. соосность втулки, дюбеля и насадки при их установке в разрывную машину.

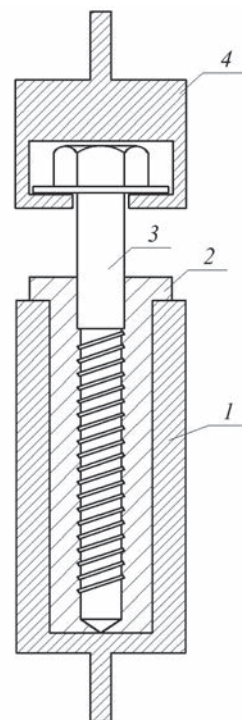


Рис. 1. Схема установки анкерного дюбеля для испытаний на вырыв

¹ EFA — фасадный анкерный дюбель // Каталог строительного крепежа 2013—2014. Режим доступа: http://elementa-russia.ru/pdf/elementa_EFA_2013_2014.pdf.

После монтажа анкерного дюбеля во втулку производилась его установка в универсальную напольную электромеханическую машину для статических испытаний Instron 3382. Затем шестигранная головка распорного элемента захватывалась насадкой и производился вырыв анкера из втулки. При нагружении записывалась диаграмма в координатах нагрузка, кН — деформация, мм. Считывание информации осуществлялось с периодичностью 0,1 с, что обеспечивало квазинепрерывный режим записи показаний. В начальный период (до 3...4 с) скорость нагружения составлял 0,5 мм/мин. По мере увеличения деформации скорость приращения деформации ступенчато увеличивалась. При деформации выше 30 мм она составляла 15 мм/мин. Процесс увеличения деформации производился до момента полного вырыва анкера, т.е. до усилия, равного нулю.

После извлечения анкера из втулки производилось вывинчивание распорного элемента из гильзы. Использованная гильза вновь устанавливалась во втулку, далее в нее вворачивался распорный элемент и анкер повторно устанавливался в разрывную машину и производился его вырыв. Эта операция последовательно повторялась четыре раза. Результат вырыва анкера в графической форме приведен на рис. 2.

Анализ представленных на рис. 2 графических материалов позволяет зафиксировать четыре зоны на диаграммах нагружения. Первая зона — зона резкого набора нагрузки (усилия вырыва) при минимальных значениях деформаций, а именно до 1...3 мм. Вторая зона соответствует снижению нагрузки при возрастании деформаций. Эта зона наблюдается при деформациях от 1 до 4...10 мм. Далее начинается третья зона ниспадающего (почти постоянного) усилия вырыва. Она простирается до деформации в 30 мм, что соответствует максимальной толщине прикрепляемой детали. Иными словами, верхняя часть гильзы не принимает участия в работе дюбеля. Далее начинается четвертая зона плавного снижения усилия до нуля. Конец этой зоны соответствует деформациям 85...90 мм. Дальше начинается коническая часть гильзы, которая не принимает участия в работе анкера.

Первая зона характеризуется практически линейной зависимостью нагрузки от деформации, т.е. соответствует упругой зоне работы анкера, а именно нейлоновой гильзы. При достижении предельного значения нагрузки происходит резкий срыв диаграммы. Площадка текучести отсутствует. На рис. 3 приведено графическое отображение первой зоны для четырех последовательных нагружений дюбеля.

Заметим, что после резкого падения приложенной нагрузки происходит ее нарастание. Снова срыв и рост нагрузки. При первом вырыве наблюдается порядка сорока срывов с постоянно затухающей амплитудой. При втором вырыве картина повторяется при числе срывов порядка тридцати. Третьему нагружению соответствуют два срыва. Четвертому — порядка десяти. Каждый последующий срыв соответствует меньшим напряжениям. Такое поведение дает возможность предположить наличие микродефектов на поверхности нейлоновой гильзы в зонах ее соприкосновения со стальной втулкой. В процессе

перемещения происходят увеличения размера микродефектов и их совокупности. В некоторый момент нагружения происходит разрушение ряда микродефектов, что соответствует резкому падению нагрузки. Дальнейшее перемещение опять приводит к зарождению и развитию микродефектов, но уже в меньшем количестве. И так до полного прекращения их возникновения, что характеризуется горизонтальным участком на диаграмме нагружения. Снижение количества сбросов нагрузки по мере увеличения количества вырывов дюбеля из втулки подтверждает данное предположение. Внешняя поверхность нейлоновой гильзы притирается (шлифуется) в процессе вырыва дюбеля.

При втором вырыве максимальное усилие равно 5,85 кН, что превышает усилие соответствующее горизонтальному участку первого вырыва, а именно 3,8 кН. На последующих вырывах (см. рис. 3) максимальные усилия так же больше горизонтального участка предыдущего вырыва. Это явление так же объясняется выдвинутым выше предположением об образовании микродефектов на поверхности нейлоновой гильзы. При установке гильзы во втулку, осуществляемой с некоторым усилием, происходит образование микродефектов срезаемых при обратном движении — при извлечении анкера из втулки.

Третья часть диаграммы нагружения, представляющая собой практически горизонтальный участок ниспадающей нагрузки с некоторым разбросом значений нагрузки, что так же подтверждает выдвинутое выше предположение о наличии зарождающихся возрастающих и разрушаемых микродефектов в процессе извлечения анкера из втулки.

Четвертый участок характеризуется значительным перемещением анкера во втулке, а именно более 30 мм, и простирается до полного извлечения анкера. При отсутствии упомянутых выше микродефектов этот участок должен быть графическим отображен прямой наклонной линией. Чем меньше зона распора, т.е. части гильзы, находящейся во втулке, тем меньше усилие вырыва. Однако этот участок имеет прогиб на всех четырех диаграммах нагружения. Такой эффект может быть так же описан зарождением, развитием и разрушением микродефектов. Чем больше путь анкера во втулке, тем больше он шлифуется, и тем меньше микродефектов, а следовательно, и меньше усилие вырыва именно этого участка.

Как было отмечено выше, в процессе вырыва гильзы из втулки происходит образование микродефектов, способствующих увеличению усилия вырыва, с последующим их разрушением и мгновенным локальным снижением. Величины усилия вырыва (зона № 2 на рис. 3). В связи с этим возможно выдвигание гипотезы о разрушении микродефектов под воздействием накопленной энергии в зоне контакта. Чем больше величина накапливаемой энергии, тем больше количество микродефектов разрушается и тем меньше становятся усилия вырыва. Другими словами снижение величины усилия вырыва пропорционально величине действующего усилия и смещение гильзы относительно втулки. Запишем эту гипотезу в виде дифференциального уравнения

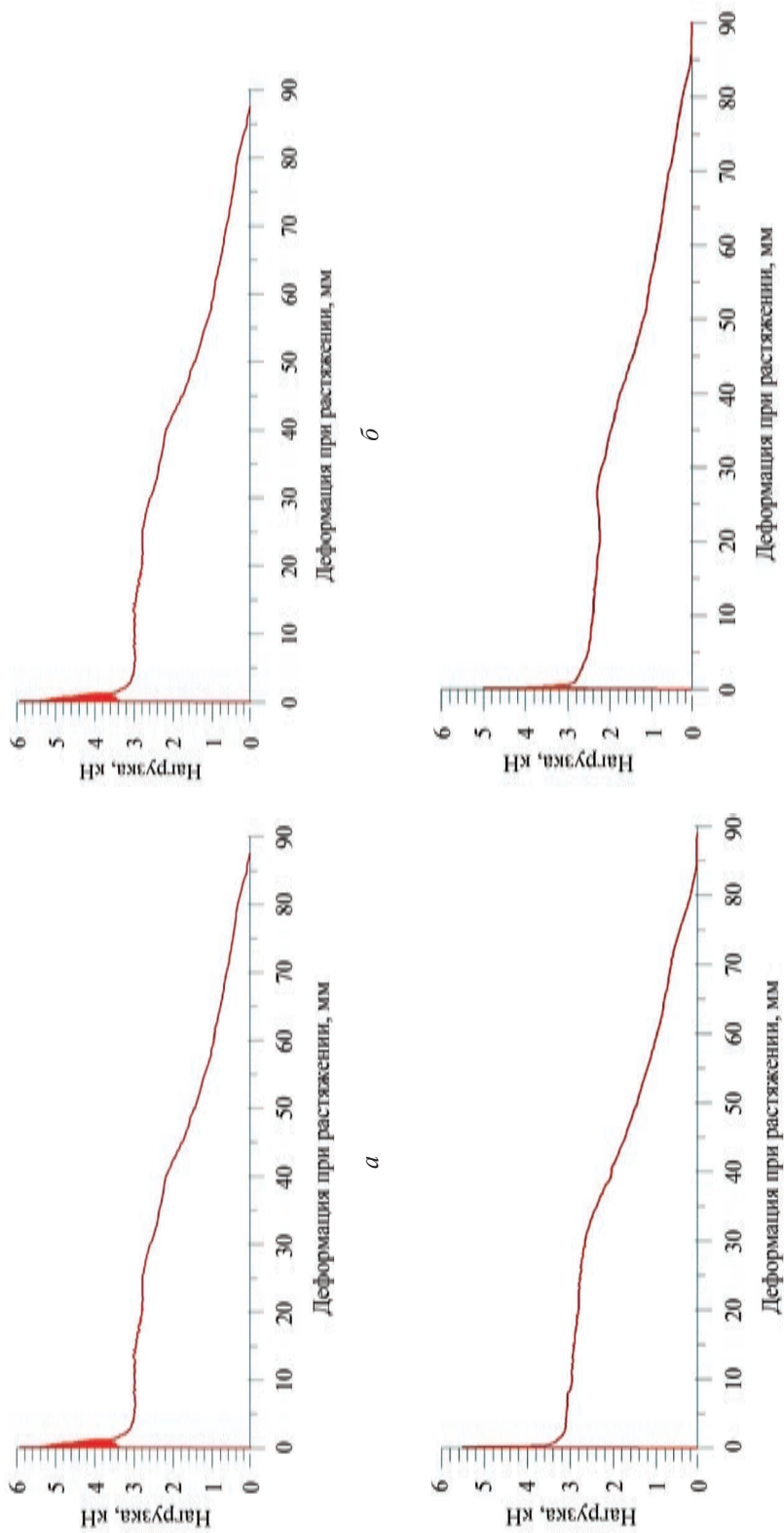


Рис. 2. Результаты вырыва анкера при его переустановках во втулку: а — образец 1; б — образец 2; в — образец 3; г — образец 4

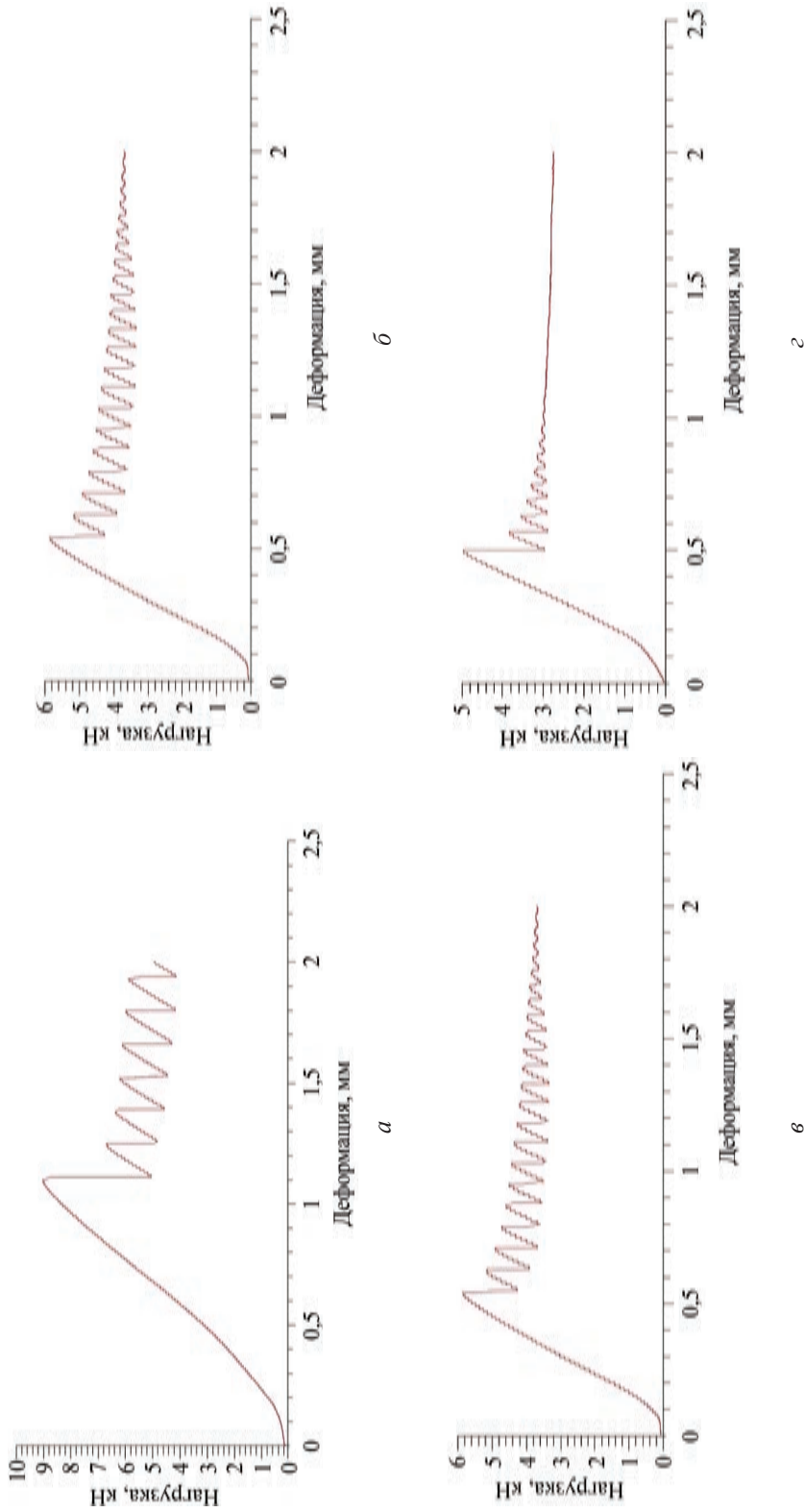


Рис. 3. Диаграммы нагружения четырех последовательных вырывов анкера: а — образец 1; б — образец 2; в — образец 3; г — образец 4

$$dp = -k(p - a)dx, \quad (1)$$

где dp — приращение (снижение) величина усилия вырыва; k — коэффициент пропорциональности между накопленной энергией, разрушающей микродефекты, и величиной снижения усилия вырыва; p — действующая величина усилия вырыва при перемещении x гильзы относительно втулки (отсчет величины смещения x начинается от точки наибольшего значения усилия вырыва); a — некоторая постоянная величины, определяемая уровнем механических напряжений, на контакте гильзы и стальной втулки, дальнейшее снижение которых не приводит к изменению усилия вырыва; dx — приращение смещения гильзы относительно втулки. Разделив левую и правую части этого уравнения на $(p - a)$ и проведя интегрирование, получим

$$\ln(p - a) = -kx + c, \quad (2)$$

где c — постоянная интегрирования. Из полученного уравнения не трудно получить функциональную зависимость усилия вырыва от перемещения гильзы во втулке

$$p = a + e^{-kx} + c. \quad (3)$$

Постоянную интегрирования C можно получить, исходя из начальных условий, а именно при $x = 0$ величина усилия вырыва максимальна, тогда

$$p_{\max} = a + e^c \text{ или } e^c = p_{\max} - a. \quad (4)$$

Подставляя полученное выражение в уравнение (3) после преобразований, получим

$$p = a + (p_{\max} - a)e^{-kx}. \quad (5)$$

Возможна иная интерпретация искомого уравнения. Выражая a из уравнения (4) и подставляя полученные значения в (3), получим

$$p = p_{\max} - e^c + e^{-kx+c} = p_{\max} - b(1 - e^{-kx}), \quad (6)$$

где $b = e^c$. Выбор того или иного выражения зависит от удобства обработки полученных экспериментальных данных в программных комплексах. К таким же результатам мы придем и при другом подходе к исходному дифференциальному уравнению (1). А именно, предполагая, что дифференциал снижения усилия вырыва пропорционален энергии, затрачиваемой на вырыв $P \cdot dx$ и собственно перемещению dx . В этом случае дифференциальное уравнение (1) примет вид

$$dP = -(k_1 p + k_2) dx. \quad (7)$$

Полученные выражение (5) или (6) позволяют описать искомые кривые как на участке № 2 — участок резкого падения усилия вырыва, так и на участке № 3, т.е. зоне практически постоянного значения усилия вырыва (ниспадающее усилие).

После статистической обработки результатов механических испытаний, связанных с определением усилия вырыва гильзы с распорным элементом из втулки, можно определить постоянные, указанные в уравнениях (5) или (6). На их основе можно описать усилия вырыва на участке № 4. Для этого воспользуемся следующими постулатами. Во-первых, усилие вырыва в начале участка № 4 равно усилию в конце участка № 3. Пренебрегая изменением усилия при перемещении в этой зоне на 1...4 мм, что соответствует протяженности первого

участка, можно определить усилия в начале участка № 4 по (5) или (6), полагая $x = 30$ мм. Во-вторых, следует заметить, что полная длина гильзы равна 100 мм, в т.ч. на 30 мм диаметр гильзы занижен. Этот участок не принимает участия в работе анкера. Кроме того, противоположный конец гильзы имеет конус на длине 10 мм. И так эффективная длина гильзы составляет 60 мм. В-третьих, усилия вырыва можно определить по приведенным выше уравнениям (5) или (6), умножив их на отношение оставшейся в теле втулки эффективной части гильзы (величина A на рис. 5) к полной длине гильзы (60 мм). Это отношение легко определяется из геометрии гильзы и втулки, схематично отраженной на рис. 5. Нетрудно заметить, что $A = 90 - x$. Длина эффективной части гильзы — 60 мм. Следовательно, применяемый коэффициент равен $(90 - x)/60$. Таким образом, полученное уравнение зависимости усилия вырыва от величины смещения описывает три из четырех зон, представленных на графиках рис. 2 и рис. 3.

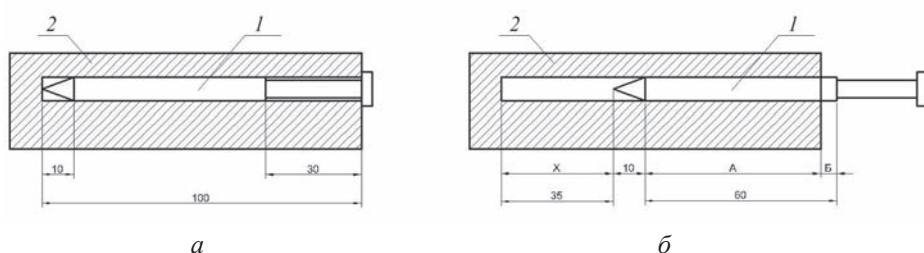


Рис. 5. Размещение нейлоновой гильзы в стальной втулке: *a* — начальное положение; *б* — при смещении более 30 мм; 1 — нейлоновая гильза; 2 — стальная втулка

Как было отмечено выше, внешний диаметр нейлоновой втулки равен 10 мм, диаметр распорного элемента — 7 мм. Следовательно толщина стенки гильзы — 1,5 мм. При вырыве анкера, во-первых, происходит выборка зазоров характеризуемая параболическим нарастанием усилия в функции перемещения. Выборка зазоров происходит при перемещении до 0,1...0,2 мм. Во-вторых, происходит нарастание усилия вырыва пропорционально смещению на участке протяженностью порядка 0,5 мм.

Полагая в первом приближении, что величина растяжения материала нейлоновой втулки может быть определена как разность длин растянутого материала $\sqrt{1,5^2 + 0,5^2}$ и того же участка до растяжения 1,5 мм, получим $1,58 - 1,5 = 0,08$ мм. Относительное удлинение материала втулки, тем самым составляет $0,08 - 1,5 \approx 0,05$.

На сайте <http://www.poliamid.ru>² приводятся сведения механических свойствах полиамидов. В частности там указаны значения предела прочности полиамида ПА 6 при изгибе $G_u = 90...100$ МПа и модуля упругости $E = (1,2-1,5) \cdot 103$ МПа.

Откуда следует, что относительное удлинение материала E при достижении предела прочности составляет 0,06...0,08. На сайте techelectro.ru³ приводится значение модуля упругости нейлона 6,6 $E = 1700$ МПа. В этом случае $E = 0,05...0,066$.

² Полиамид // РустХим. Режим доступа: <http://www.poliamid.ru/>.

³ Свойства нейлона // ТехноЭлектро. Режим доступа: <http://techelectro.ru/info/a-ties/nylone>.