Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет»
(ТвГТУ)

ВЕСТНИК ТВЕРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»

Научный рецензируемый журнал

№ 4 (12), 2021

Тверь 2021

Вестник Тверского государственного технического университета: научный журнал. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». Тверь: Тверской государственный технический университет, 2021. № 4 (12). 100 с.

Включает научные статьи, подготовленные на основе результатов исследований и экспериментальных разработок в области строительства, электротехники и химических наук, выполненных учеными и специалистами-практиками ведущих вузов и научно-исследовательских учреждений нашей страны и зарубежья. Представлены работы, соответствующие профилю издания по следующим научным отраслям: 05.23.00 Строительство и архитектура; 05.09.00 Электротехника; 05.17.00 Химическая технология.

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Регистрационный номер: Эл № ФС77-74949 (онлайн) от 25 января 2019 г.

Индексируется в базе данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

ISSN 2686-794X (онлайн)

© Тверской государственный
технический университет, 2021

Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»

Учредитель и издатель
ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»
Адрес редакции
170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, д. 22
Тел. редакции +7 (4822) 78-89-00
E-mail: common@tstu.tver.ru
Цена свободная
Дата выхода в свет 30.12.2021
Формат 60x84 1/8
Тираж 500 экз.
ISSN 2686-794X

Главный редактор
Гультяев В.И. – д.т.н., доц.
Заместители главного редактора:
Белов В.В. – д.т.н., проф.;
Луцик В.И. – д.х.н., проф.;
Макаров А.Н. – д.т.н., проф.
Ответственный секретарь
Новиченкова Т.Б. – к.т.н., доц.
Редакционная коллегия:
Качанов А.Н. – д.т.н., проф.;
Коротких Д.Н. – д.т.н., проф.;
Косивцов Ю.Ю. – д.т.н., проф.;
Лепешкин А.Р. – д.т.н.;
Матар П.Ю. – к.т.н., проф.;
Недосеко И.В. – д.т.н., проф.;
Никольский В.М. – д.х.н., проф.;
Строкова В.В. – проф. РАН, д.т.н., проф.;
Трещев А.А. – д.т.н., проф.;
Фишер Х.-Б. – д.-инженер;
Ясинская Н.Н. – к.т.н., доц.

Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»

Founder and Publisher
Federal State Budget Educational Institution of Higher Education, Tver State Technical University
Address
22, embankment of Afanasiy Nikitin, 170026, Tver, Russia
Tel. +7 (4822) 78-89-00
E-mail: common@tstu.tver.ru
Open price
Release Date 30.12.2021
Format 60x84 1/8
Printing run 500 copies
ISSN 2686-794X

Editor-in-Chief
Gul'tyaev V.I. – d.t.s., Assoc. Prof.
Vice Editor-in-Chief
Belov V.V. – d.t.s., Prof.;
Lucik V.I. – d.c.s., Prof.;
Makarov A.N. – d.t.s., Prof.
Executive Secretary
Novichenkova T.B. – k.t.s., Assoc. Prof.
Editorial team
Kachanov A.N. – d.t.s., Prof.;
Korotkih D.N. – d.t.s., Prof.;
Kosivcov Y.Y. – d.t.s., Prof.;
Lepeshkin A.R. – d.t.s.;
Matar P.Y. – k.t.s., HDR, Prof.;
Nedoseko I.V. – d.t.s., Prof.;
Nikol'skij V.M. – d.c.s., Prof.;
Strokova V.V. – prof. RAS, d.t.s., Prof.;
Treshchev A.A. – d.t.s., Prof.;
Fisher H.-B. – d.-ingineer;
Yasinskaya N.N. – k.t.s., Assoc. Prof.

СОДЕРЖАНИЕ

Болокина Л.А. Восстановление предприятий электротехнической, машиностроительной, химической промышленности города Калинина после освобождения от немецкой оккупации……. 6

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Баркая Т.Р., Гавриленко А.В., Левиков А.В., Шевкина А.В. Учет стадийности возведения при проектировании монолитных постнапряженных конструкций ……..……. 19

Гавриленко А.В., Левиков А.В., Баркая Т.Р., Ханыгин Д.А. Экспериментальное исследование прочности керамзитобетонных блоков торговой марки «Балаев блок»……..... 26

Курбатов Н.П. Использование фрактальной теории при оценке сельскохозяйственных территорий …….. 32

Левиков А.В., Гавриленко А.В., Баркая Т.Р., Ханыгин Д.А. Исследование геометрических и теплотехнических параметров стеновых керамзитобетонных блоков с декоративным фасадом…… 38

Трофимов В.И. К вопросу строительства дорог на болотах……... 43

Федоров В.В., Федоров М.В. Проблемы и методология обеспечения устойчивости городских систем расселения в условиях пандемии…… 50

Черемных С.В. Упругопластическая устойчивость стержня из стали 45 при комбинированном нагружении…… 56

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Качановский Ф.В. Что происходит с электропроводностью осадков, выпадающих в Твери, при удлинении ряда наблюдений……. 66

Кузьмин Г.С. Экономико-математическая модель оптимизации ремонтно-профилактического обслуживания электродвигателей с диагностикой состояния изоляции……... 74

Макаров А.Н. Влияние задымленности атмосферы и высоты шлака на теплообмен в дуговых сталеплавильных печах. Часть II. Влияние высоты шлака на тепловые нагрузки на стены и расход электроэнергии.... 80

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Белов В.В., Луцик В.И., Чурсанов Ю.В. Выбор методики и количественное определение содержания хлорид-ионов в образцах бетона мостовых конструкций…… 89

Курятников Ю.Ю. Исследование эффективности суперпластификаторов на основе полиметиленнафталинсульфокислот и поликарбоксилатных эфиров…….. 95

CONTENTS

Bolokina L.A. Restoration of the enterprises of the electrical, machine-building, chemical industry of Kalinin after liberation from the Nazi occupation…… 6

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Barkaya T.R., Gavrilenko A.V., Levikov A.V., Shevkina A.V. Consideration of erection stage in designing monolithic post-strained structures……. 19

Gavrilenko A.V., Levikov A.V., Barkaya T.R., Hanygin D.A. Experimental study of punching shear of unbonded post-tensioned reinforced concrete slabs…….. 26

Kurbatov N.P. Use of fractal theory in the assessment of agricultural areas….. 32

Levikov A.V., Gavrilenko A.V., Barkaya T.R., Hanygin D.A. Study of geometric and thermal parameters of wall ceramsite concrete blocks with a decorative façade…… 38

Trofimov V.I. To the issue of road construction in swamps……... 43

Fedorov V.V., Fedorov M.V. Sustainability issues and methodology urban settlement systems in the context of a pandemic……. 50

Cheremnykh S.V. Elastic-plastic stability of the steel rod 45 under combined loading…….. 56

ELECTRICAL ENGINEERING

Kachanovsky F.V. What happens of a lengthening of time series for electrical conductivity of the precipitation in Tver……... 66

Kuzmin G.S. Economic and mathematical model of optimization of repair and preventive maintenance of electric motors with diagnostics of the insulation condition…….. 74

Makarov A.N. Influence of atmospheric smoke and slag height on heat exchange in arc steel melting furnaces. Part II. Influence of slag height on wall thermal loads and electricity consumption……. 80

CHEMICAL TECHNOLOGY

Belov V.V., Lutsik V.I., Chursanov Yu.V. Method selection and quantification content of chloride ions in concrete samples of bridge structures……. 89

Kuryatnikov Y.Y. Investigation of the effectiveness of superplasticizers based on polymethylene naphthalene sulfonic acids and polycarboxylate esters…….. 95

К 100-летию Тверского государственного технического университета

УДК [94:[621+66]](470.331)1941/1942

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ, МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ, ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ГОРОДА КАЛИНИНА ПОСЛЕ ОСВОБОЖДЕНИЯ ОТ НЕМЕЦКОЙ ОККУПАЦИИ

Л.А. Болокина
Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Болокина Л.А., 2021

Аннотация. В статье рассматривается процесс восстановления калининских электростанций, электросетей, налаживания производства на Калининском вагоностроительном заводе и Калининском заводе резиновой подошвы в конце 1941 – начале 1942 г. Показан масштаб и характер разрушений, описаны этапы восстановительных работ. Выявлены причины, замедлявшие восстановление: острый дефицит энергетических ресурсов, транспорта, оборудования и инструментов, но прежде всего нехватка квалифицированных кадров.

Ключевые слова: Великая Отечественная война, восстановительные работы, Калининский вагоностроительный завод, Калининский завод резиновой подошвы (Калининский резино-подошвенный завод), квалифицированные кадры, цеха, электростанции, электросети.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-4-6-18

В декабре 2021 г. удивительным образом совпали две замечательные даты. Первая – юбилейная в полном смысле слова – связана с тем, что 100 лет назад был основан вуз, который теперь называется Тверской государственный технический университет и является крупным учебным заведением региона. Вторая напоминает нам одновременно о печальных и радостных событиях 1941 г., когда после двухмесячной оккупации 16 декабря город Калинин (ныне Тверь) был освобожден от немцев. В статье рассказывается о том, как жители областной столицы восстанавливали полуразрушенные городские коммуникации и объекты промышленности, на которых сегодня трудится немалое количество выпускников университета.

Цель публикации заключается в изучении процесса восстановительных работ, проводимых на нескольких крупных промышленных предприятиях г. Калинина в первые месяцы после снятия оккупации. Работа полностью основана на архивных материалах, часть из которых впервые вводится в научный оборот, что определяет научную новизну исследования. Более глубокому пониманию темы может способствовать знакомство с документами, тексты которых приводятся в виде приложений к статье. Их содержание помогает лучше представить механизмы принятия решений и взаимодействия между представителями разных уровней государственной власти, руководителями предприятий того времени.

На первом этапе восстановления городского хозяйства важнейшей задачей являлось налаживание энергосистемы. При планировании ремонтных работ на калининских

электростанциях учитывалось наличие и состояние основного и вспомогательного оборудования, зданий и сооружений, количество топлива на станциях и возможность подачи его в котельные, а также возможность пуска оборудования без постороннего источника тока. По результатам наружного осмотра выявилась целесообразность первоочередного пуска ГЭС № 3, затем ГЭС № 2 и ТЭЦ № 1. Первая турбина ГЭС № 3 была запущена 26–27 декабря 1941 г. и позволила получать энергию на собственные нужды предприятия, а с 28 января началась подача энергии в городские сети. Вторая турбина заработала 9–12 января 1942 г. [9, л. 28; 12, л. 37].

По плану в первых числах февраля должна была вступить в работу ГЭС № 2, но этому помешал «ряд узких неизжитых мест», в том числе то обстоятельство, что насосы, трубопроводы и вспомогательное оборудование очень сильно пострадали от холода. Почти все трубки маслоохладителя второго турбогенератора оказались порваны морозами, а запасные сгорели, поэтому пришлось установить резервный маслоохладитель с ТЭЦ № 1. Конденсатный насос первого турбогенератора пришлось запустить в работу с трещиной, корпус был стянут струбцинами. Разбитый тахометр второго турбогенератора был временно заменен вибрационным частомером с ТЭЦ № 1. Все питательные насосы были повреждены, и до их восстановления на станции был временно установлен питательный насос с ГЭС № 3, готовилась переброска питательного насоса со старой ТЭЦ. При высоком давлении в котлах эти насосы отказывали в работе, ввиду чего эксплуатировались при пониженном давлении [12, л. 38].

Для того чтобы современный читатель мог более ясно представить, какой объем работ нужно было выполнить перед началом функционирования всей станции, приведем в качестве иллюстрации данные о работах по восстановлению одного из цехов – котельного. Там были зашиты разбитые окна (напомним, что в период войны стекла в городе катастрофически не хватало – *Л.Б.*), разморожены питательные и дренажные линии трех котлов, при этом в двух котлах они были заменены. Отремонтированы трубы у бойлера с горячей водой, а также лопнувшие от морозов восемь труб пароперегревателя; произведены ревизия и замена ряда деталей турбонасоса, насоса, отопительной системы станции. Со всей площади зольного помещения убран лед толщиной в 35 см и откачана вода. Расчищены топочные пространства, удалена зола и шлак трех котлов [12, л. 42]. Пере-числить все выполненные работы непросто, а ведь одновременно восстанавливались топливный, турбинный цеха, электроцех, насосная станция. И все это было проделано, когда на дворе стояла зимняя стужа.

Турбогенератор ГЭС № 2 был запущен 14 февраля, однако в условиях ледового режима из-за образования промоин от спускной воды его пришлось остановить для отвода циркуляционных вод. В результате два котла и две турбины станции заработали лишь 28 февраля 1942 г. С почти месячным опозданием к 1 марта завершился ремонт на ТЭЦ № 1, но пуск турбины задерживался, так как не хватало турбинного масла. При этом вне плана на ТЭЦ № 1 была пущена плотина и три котла старой котельной [4, л. 10; 9, л. 28]. В январе 1942 г. ГЭС № 3 выработала 949,15 тыс. кВт·ч, в феврале – 1 087 тыс. кВт·ч; ТЭЦ № 1 в феврале поставила 438,35 тыс. кВт·ч электроэнергии [4, л. 11].

Решением исполкома горсовета от 2 января 1942 г. был утвержден график первоочередных неотложных работ по восстановлению г. Калинина. Управляющему «Калининэнерго» П.А. Баландину поручалось привести в порядок электросети, подводящие электроэнергию к городским домам [1, л. 1]. За время оккупации электросети оказались в значительной мере разрушенными: погорели и перебиты снарядами ряд опор и

столбов, порваны провода, повреждены основные кабели; в документах указывается, что масштаб разрушений достигал 80 % [9, л. 28].

Больше всего пострадала фидерная линия сети 6 кВ: поврежден парный кабель, проложенный по Волжскому мосту для связи с ГЭС № 2, разрушена воздушная линия электропередачи, связывающая ТЭЦ № 1 с ГЭС № 2, а также линия 35 кВ от ТЭЦ № 1 Новопромышленного района (сегодня Московский район Твери – *Л.Б.*) и др. В лучшем состоянии находилась шестикиловольтная кабельная распределительная сеть центральной части города. Большинство трансформаторных киосков, равно как и кабели, сохранились и были готовы к эксплуатации. Но по причине разрушения Тьмацкого моста были выведены из строя два основные фидера, из-за чего напряжение в центральную часть Калинина оказалось возможным подать только обходным путем. Во всех районах Калинина воздушная сеть 6 кВ была в той или иной степени разрушена, особенно сильно пострадали Заволжская и Затьмацкая части города. Примерно в том же состоянии находилась низковольтная сеть – во многих районах кроме обрыва проводов были расщеплены и срезаны опоры. Все подсобное хозяйство электросетей, расположенное при центральном фидерном пункте: трансформаторный цех (за исключением уцелевших в пристройке центрифуги и фильтпресса), механическая мастерская, помещение оперативной службы и конторы со всей документацией и приборами – было уничтожено в результате пожара [12, л. 6].

Первоочередной задачей, поставленной перед сотрудниками «Калининэнерго» после освобождения областной столицы, являлась подача энергии военным частям, партийным и советским учреждениям, а также уцелевшим городским предприятиям. Задействовав основную базу энергоснабжения – ГЭС № 3, проводили работу по восстановлению фидеров кабельной и воздушной сети 6 кВ, связывающей центр города с ГЭС № 3. Результаты работы, проделанной за период с 21 декабря 1941 г. по 15 февраля 1942 г., отражены в таблице. За это время энергия была подана на вагоностроительный завод, фабрику им. Ворошилова, Завод им. 1 Мая, завод силикатного кирпича, центральным мастерским Торфостроя и ряду мелких артелей [12, л. 6].

Ход работ по восстановлению электросетей в г. Калинине [12, л. 5, 41]

Наименование участка	Ед. изм.	По состоянию на 1 января 1941 г.	Введено в эксплуатацию на 21 января 1942 г.	Введено в эксплуатацию на 15 февраля 1942 г.	Примечания
Кабельная сеть 6 кВ	км	37,5	25,2	26,2 (70 %)	Проверена и поставлена под напряжение
Воздушная сеть 6 кВ	км	43,6	14,5	23 (52,7 %)	Отремонтирована и поставлена под напряжение
Фидерные пункты	шт.	3	3	3 (100 %)	Н/д
Трансформаторные киоски	шт.	83	69	80 (96,5 %)	Приведены в состояние, годное к эксплуатации, и подключены к сети

Окончание таблицы

Наименование участка	Ед. изм.	По состоянию на 1 января 1941 г.	Введено в эксплуатацию на 21 января 1942 г.	Введено в эксплуатацию на 15 февраля 1942 г.	Примечания
Низковольтная сеть	км	150	30	36 (24 %)	Отремонтирована и поставлена под напряжение
Силовые трансформаторы	шт.	92	59	71 (77,2 %)	Проверены и подключены
Сети 35 кВ	км/шт.	70,5/7	–	7,5/1	Восстановлена силами абонента линия на КРЕПЗ

Одной из главных причин, не позволявших ускорить темпы восстановительных работ, была нехватка кадров. 5 февраля 1942 г. глава «Калининэнерго» П.А. Баландин обратился к секретарю обкома по топливу и энергетике С.А. Веселову с просьбой поставить перед командованием Калининского фронта вопрос об отозвании из воинских частей высококвалифицированных специалистов калининских электростанций, мобилизованных в момент эвакуации из города. Обоснованием служило то обстоятельство, что они имели долговременный практический опыт работы на данных электростанциях, хорошо знали особенности выведенного из строя оборудования и могли принести большую пользу в деле восстановления энергосистемы города. В прилагаемом списке были указаны фамилии 15 военнослужащих, их должности на прежних местах работы и некоторые сведения о местонахождении в армейских частях. Среди них оказались прораб, старший машинист, мастер электроцеха, дежурный инженер и др. Уточнялось, что все они до оккупации состояли на спецучете. Из резолюции Веселова можно понять, что он договорился с облвоенкоматом о возврате некоторых из названных товарищей. Предположительно, речь шла о 8 сотрудниках, так как именно столько фамилий выделено в списке [12, л. 8, 8 об.].

В марте Баландин вновь сообщает о нехватке инженеров, квалифицированных рабочих в связи с чем эксплуатационный персонал работает в две смены, продолжительность которых составляет 12 часов. При этом глава «Калининэнерго» напоминает, что калининские специалисты осенью 1941 г. были не только призваны в армию, но и распределены по предприятиям «Востокэнерго», «ЗапСибэнерго» и другим согласно распоряжению Народного комиссариата электропромышленности СССР. По его мнению, возвращение этих сотрудников проходило слишком медленно, и к тому моменту вернулся 21 человек, а из армии было отозвано только двое. Помимо этого, в соответствии с постановлением ГКО от 11 февраля 1942 г. «О восстановлении энергетического хозяйства г. Калинина» городские электростанции получили в счет 250 мобилизованных рабочей колонны 195 человек, из которых 68 слесарей, 16 электриков, 15 плотников, 7 печников, 86 разнорабочих, но их квалификация за малым исключением оказалась очень низкой [12, л. 36].

«Калининэнерго» требовались дежурные у щита управления, монтеры, насосники, машинисты-турбинисты, мотористы, кочегары. Для подготовки необходимых кадров проводились курсы теоретического обучения без отрыва от производства, преподавать на которых было поручено начальникам цехов и другим инженерам. Квалифицированных сотрудников готовили также путем дублирования на рабочих местах, когда новичок получал инструкции от опытного специалиста прямо в процессе производственной деятельности.

Подобные меры оказались недостаточными, и нужно было обеспечить приток специалистов, а с учетом сложности и ответственности практически любых работ в энергохозяйстве выходом из положения могло бы стать создание привлекательных условий труда. Глава «Калининэнерго» считал необходимым увеличить нормы выдачи хлеба для рабочих электростанций с 500 до 800 г в сутки, сохранить закрытый статус столовой на ГЭС № 3 (который в тот момент нарушался по понятным причинам), открыть при столовых продовольственные магазины, которые позволили бы одиноким рабочим получать нормированные продукты по карточкам. С этими предложениями он обращался в обком и горком, указывая на то, что успешное выполнение постановления ГКО о восстановлении Калининских электростанций в кратчайший срок напрямую зависит от возможностей поддержать физические силы сотрудников станций путем организации соответствующего питания [6, л. 43; 12, л. 37].

Росту численности трудового коллектива «Калининэнерго» не способствовал тот факт, что у предприятия не всегда находились средства для выдачи заработной платы. Финансовые затруднения были обусловлены систематической неплатежеспособностью ряда крупных предприятий – потребителей электрической и тепловой энергии. К середине марта 1942 г. абонентская задолженность по энергосбыту составила около 1 млн руб. при плановой цифре не более 400 тыс. руб. Так, Калининский хлопчатобумажный комбинат с начала года задолжал «Калининэнерго» 572 тыс. руб., Калининский резино-подошвенный завод (КРЕПЗ) и вагонзавод с начала февраля соответственно 209 и 112 тыс. руб. В итоге долги уже «Калининэнерго» перед поставщиками торфа достигли почти 600 тыс. руб. Кроме того, отсутствовали средства для приобретения запчастей, что препятствовало нормальной работе предприятия. Исчерпав зависевшие от него меры воздействия на неплательщиков, за исключением прекращения подачи электроэнергии, управляющий «Калининэнерго» просил вмешательства партийных органов [2, л. 29].

Руководитель «Калининэнерго» называл и другие причины, задерживавшие восстановительные работы, в том числе низкие температуры, отсутствие автотранспорта, телефонной связи и тот факт, что восстановление электростанций и сетей долгое время проходило без всякой помощи материалами и оборудованием со стороны главка и наркомата [12, л. 36]. Подключение бытового освещения лимитировалось количеством топлива на складах и слабым завозом с болот. Отметим, что многие городские предприятия тогда нуждались в поставках торфа. Еще 26 февраля 1942 г. первый секретарь Калининского обкома партии И.П. Бойцов обращался к наркому путей сообщения СССР с просьбой дать указания о принятии срочных мер к восстановлению железнодорожного моста через р. Тверцу и железнодорожной ветки, ведущей на Решетниковское торфопредприятие (см. прил. 1). Из представленной справки (см. прил. 2) можно понять, как разворачивались работы по восстановлению упомянутого моста в марте 1942 г.

Выработка электроэнергии за апрель составила: на ГЭС № 3 – 72,4 %; на ГЭС № 2 – 63,1 %; на ТЭЦ № 1 – 61,7 % от плана [4, л. 25]. В течение последующих двух месяцев

ситуация не улучшилась, количество аварий на станциях возросло. Заместитель заведующего промышленно-транспортным отделом горкома объяснял низкие показатели отсутствием должной производственной дисциплины среди руководящего звена электростанций, нечетким исполнением приказов директоров станций, невыполнением приказов о доведении должностных инструкций до рабочих мест и проверке знаний персоналом правил технической эксплуатации. Последнее из названных обстоятельств нередко фиксировалось при анализе причин аварий. Так, 9 мая 1942 г. один из трансформаторов на ГЭС № 3 оказался выведен из строя после того, как его трижды пытались включить при явно выраженном аварийном состоянии, 15 мая авария в распределительном устройстве ТЭЦ № 1 была вызвана отсутствием масла и двукратным неселективным включением в работу генератора, 26 мая отказ от работы защиты фидера произошел по причине отсутствия предохранителей в цепи оперативного тока [4, л. 25]. Возникал замкнутый круг: из-за аварий в системе нагрузки часто перебрасывались с одной станции на другую, режим работы станций нарушался, что в свою очередь провоцировало новые аварийные ситуации. Важнейшей предпосылкой возникновения подобных обстоятельств являлся все тот же кадровый дефицит, вследствие которого людям приходилось, не обладая иногда даже самыми необходимыми знаниями и умениями, выполнять разнообразные виды работ, трудиться по многу часов без сна, испытывая голод и огромную физическую усталость. Возможности для полноценного отдыха не было и вне рабочих мест, поскольку из-за разрушения и повреждения жилых домов большинство работников проживало в тяжелых бытовых условиях, а восстановление жилого фонда в городе происходило гораздо медленнее, чем восстановление промышленных объектов и ряда учреждений.

К концу 1941 г. на крупнейшем городском предприятии – Калининском вагоностроительном заводе – полностью сохранились или получили частичные повреждения, при которых восстановление не требовало значительных капитальных затрат, следующие объекты: механический, литейный, прессовый, рессорный, ремонтно-строительный, тележно-сварочный, обрезной, железнодорожный, труборемонтный цеха и цех ширпотреба, а также паровозное депо, котельная, мостовой пролет кузницы, установка по производству кислорода, лесозавод на Волге, автогараж [3, л. 25; 11, л. 1]. Оказались сильно поврежденными и требовали больших капитальных затрат и длительного времени на восстановление сборочный, полускатный, раскройный, инструментальный, ремонтно-механический, электроремонтный цеха, часть деревообделочного цеха, штамповочный пролет кузницы, центральная электростанция, телефонная станция и здание заводоуправления. В перечисленных цехах до основания сгорели деревянные перекрытия, инструмент был уничтожен, оборудование значительно повреждено, а электрооборудование требовало перемотки или замены. Особенно трудным представлялось восстановление заводской измерительной лаборатории. Из имевшегося у завода жилого фонда в 25 тыс. кв. м 10 тыс. кв. м сгорело, а остальные требовали среднего или мелкого ремонта [3, л. 26]. Позже восстановление вагонного завода осложнялось тем, что в результате пожара 31 января 1942 г. был полностью уничтожен механический цех.

Первым на заводе стал функционировать цех ширпотреба, который с 9 января 1942 г. начал выпускать хлебные формы, тазы для бани. Прессовый цех наладил производство ломов, кувалд, топоров, клиньев и другой продукции, отсутствие которой существенно замедляло восстановительные работы в городе. К 18 февраля 1942 г. были частично введены в эксплуатацию кислородная станция, лесозавод, котельный, обрезной,

ремонтно-строительный цеха, инструментальная и тарная мастерские, приведен в порядок вагонный парк, налажено водо- и электроснабжение завода. Открылись столовая и здравпункт [3, л. 29, 30].

8 января 1942 г. на Калининском вагонном заводе работали 952 человека. Рабочих насчитывалось 826 человек, в том числе 161 в механическом цехе, 149 в ремонтно-строительном, 111 на заводском дворе, 94 в ЖКО, 90 в энергохозяйстве, 64 в сборочном цехе, 40 в кузнечном, 29 в железнодорожном, 23 в цехе ширпотреба и 16 в гараже. Кроме того, 54 человека относились к младшему обслуживающему персоналу, 51 к инженерно-техническим работникам и 21 к конторскому персоналу [11, л. 1]. Предполагалось расширение трудового коллектива завода до 3 тыс. работников, однако набор рабочей силы замедляло отсутствие жилья. Быстрого решения данного вопроса ожидать не приходилось, так как на восстановлении заводского жилого фонда в тот момент были задействованы только 94 человека. К началу марта число рабочих и служащих завода составило 1 678 человек, среди них 125 инженерно-технических работников [8, л. 58].

В ходе восстановления цехов не удавалось соблюдать намеченный график работ, особенно отставали строительный и энергетический участки завода. Причины этого заключались в низкой производительности труда, которая в свою очередь объяснялась острым дефицитом материалов, инструментов (так, продолжительное время оставалась буквально неразрешимой проблема с нехваткой мерительного инструмента, который завод не мог изготовить самостоятельно), а также преобладанием повременной оплаты и недостаточно неэффективной организацией труда, когда в течение рабочего времени часть рабочих оказывалась не полностью занятой. Наблюдалась явная диспропорция между объемом работ и количеством квалифицированной рабочей силы. На механической обработке спецдеталей, к примеру, вместо 20 слесарей на заводе трудились семеро, а литейный цех при потребности в 25 формовщиках имел только троих рабочих [3, л. 32, 33].

Работу вагоностроительного завода тормозила и вышеупомянутая проблема нехватки топлива. Основным поставщиком топлива в марте 1942 г. являлось Савватьевское торфопредприятие, по вине которого регулярно срывался график поставок фрезерного торфа, что приводило к производственным простоям. Завод оказал предприятию практическую помощь рабочей силой, специалистами, лесопиломатериалами, но объемы отправки торфа не увеличивались. Ежесуточно завод получал всего 16–18 т вместо надлежащих 130 т [4, л. 8].

По решению центральных властей заводские мощности с самого начала процесса восстановления стали использоваться для производства различной продукции оборонного назначения. Распоряжением СНК СССР от 6 февраля 1942 г. Калининскому вагонному заводу было дано задание на изготовление 122-миллиметровых снарядов и 120-миллиметровых мин и установлена следующая программа: уже в феврале заводу следовало произвести 10 тыс. снарядов и 6 тыс. мин, в марте – 20 тыс. снарядов и 16 тыс. мин. В феврале план выпуска оборонной продукции был сорван. Уполномоченный Комиссии партийного контроля при ЦК ВКП(б) по Калининской области Л.М. Зубынин указал причины срыва, заключавшиеся в недостаточном количестве металлорежущих станков и измерительного инструмента на заводе. Нужно было отремонтировать и установить 150 металлорежущих станков, в реальности же к 1 марта отремонтировали 48, из которых функционировали только 13. Необходимый измерительный инструмент по распоряжению заместителя наркома среднего машиностроения должны были изготовить заводы «Фрезер», «Калибр» и Московский инструментальный, которые данного распоряжения не выполнили, как не выполнили и вторичного распоряжения самого

наркома. Достаточным количеством квалифицированных кадров для производства боеприпасов вагонный завод также не располагал [8, л. 56, 57].

Очевидно, что выполнить задание правительства с самого начала было невозможно. Фактически это признает и сам Зубынин, оценивая роль некоторых руководителей наркомата в данной ситуации как «незавидную». Ведь одному из заместителей наркома понадобилось целых 11 дней для того, чтобы издать приказ во исполнение правительственного распоряжения от 6 февраля; по заводу же соответствующий приказ был издан 23 февраля. Времени для выполнения февральского задания почти не оставалось. Можно предположить, что в наркомате существовало понимание невыполнимости мартовской программы, поскольку партийный уполномоченный упоминает о том, что заместитель наркома посылал в правительство письмо с ходатайством о снижении мартовских программ по выпуску снарядов и мин на 10 тыс. шт. каждую [8, л. 58]. Однако конкретных решений по этому вопросу, по видимости, принято не было.

В прил. 3 приведен текст мартовского обращения первого секретаря Калининского обкома ВКП(б) И.П. Бойцова к наркому среднего машиностроения СССР с просьбой о помощи в обеспечении Калининского вагонного завода измерительными инструментами и возвращении ряда заводских специалистов. Проблемы с оборудованием и инструментами завод испытывал и в последующие месяцы. В прил. 4 содержится текст июльского обращения директора вагонзавода И.А. Морозова к Бойцову с просьбой о содействии в получении необходимого оборудования. Постепенно часть проблем разрешалась, заводу поступали новые оборонные заказы, справляться с которыми было так же сложно, но в конечном счете коллективу это удавалось. Документы, приведенные в прил. 5 и 6, позволяют увидеть, в какой форме руководители области отчитывались по данным вопросам перед представителями центральных органов власти.

Одним из ведущих предприятий химической промышленности в области был Калининский завод резиновой подошвы, трудовой коллектив которого до войны насчитывал 2,5 тыс. работников. Основные заводские цеха, за исключением отделочного, сохранились, и с 1 февраля 1942 г. планировалось возобновить работу, но из-за отсутствия электроэнергии пуск предприятия откладывался, и в феврале дирекция была вынуждена отправить в административный отпуск 200 человек из 540 рабочих, а значительную часть квалифицированных специалистов использовать не по назначению. В это же время заводу приходилось сжигать дефицитное топливо для поддержания парового и отопительного хозяйства, хотя производственное оборудование простаивало [8, л. 47, 48].

План восстановительных работ к марту 1942 г. в физическом объеме был выполнен уже на 130 %, и 2 марта завод вступил в строй. Оперативное задание по выпуску резины за март было выполнено на 102,7 %, в апреле по предприятию в целом план оказался перевыполнен на 16 % [5, л. 2]. К 18 мая были полностью восстановлены цех черной подошвы, механический и регенераторный цеха. Для полноценного функционирования имевшегося оборудования требовалось обеспечить предприятие топливом, в качестве которого мог послужить местный торф, сырьем в виде каучука, серы, сажи и других материалов, автотранспортом.

Директор завода Л.З. Минский указывал на необходимость приравнивания работников в части бронирования рабочей силы по строительству к строительным организациям. В этом вопросе его поддерживал начальник главного управления по выработке заменителей кожи Народного комиссариата легкой промышленности СССР (НКПЛ СССР), обратившийся к партийным органам города Калинина с просьбой об

оказании конкретной помощи КРЕПЗ. Он просил перебросить 3–4 квалифицированных токарей с других городских предприятий для укрепления коллектива механического цеха, а также временно прикрепить литейщика с одного из калининских заводов для инструктажа и обучения работника КРЕПЗ, так как отсутствие данного специалиста задерживало пуск литейной [5, л. 15].

В течение 1942 г. острота кадровой проблемы на предприятии не снижалась, и прежде всего это касалось цеха черной подошвы. Дело в том, что именно в этом цехе условия труда были самыми тяжелыми, требовали больших затрат физических сил, выносливости, и до войны коллектив работников составляли в основном мужчины. Теперь же приходилось набирать женщин, и обеспечить производство продукции запланированных объемов и качества по понятным причинам им оказалось гораздо сложнее. Значительная доля сотрудников не выходила на рабочие места по медицинским показаниям. В условиях сохранявшихся ограничений на въезд в областной центр набрать достаточное количество рабочих путем вербовки в самом городе и окрестных районах было практически невозможно.

В заключение отметим, что процесс восстановления городских коммуникаций, производственных предприятий, учреждений, жилых домов в г. Калинине после разрушений, причиненных в начале Великой Отечественной войны и в период оккупации, продолжался много месяцев. Первый этап был самым тяжелым. В условиях зимы, крайне скудного рациона питания, не имея никаких элементарных бытовых удобств, жители областного центра и окрестных районов приложили немалые усилия для скорейшего налаживания городского хозяйства. Ряд проблем замедлял темпы восстановительных работ. Это дефицит топлива, электроэнергии, отсутствие материалов, инструментов и оборудования, но в первую очередь хроническая нехватка кадров. Сразу после запуска на некоторых предприятиях начинался выпуск продукции для фронта. В такой сложной обстановке большинство калининцев проявили ответственность, трудолюбие, взаимовыручку, терпение, способность находить оптимальные решения в ситуации недостатка всяческих ресурсов и выдержали испытание, которое в то время переживала вся страна.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

26 января 1942 г.
Москва

НАРОДНОМУ КОМИССАРУ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
тов. Л.М. КАГАНОВИЧУ

Выполняя постановление Государственного комитета обороны от 11/I-42 г. о восстановлении электростанций г. Калинина, Калининэнерго по состоянию на 24/I-42 г. восстановлено 4 турбогенератора по 2 000 кв. каждый.

Для обеспечения топливом электростанций г. Калинина необходимо восстановить Тверецкий мост (ветка на торфопредприятие «Васильевский Мох») и восстановить железнодорожные ветки на Решетниковское торфопредприятие.

Прошу Ваших указаний о принятии срочных мер к восстановлению железнодорожного Тверецкого моста и железнодорожной ветки на Решетниково

Секретарь Калининского обкома ВКП(б) БОЙЦОВ

ТЦДНИ. Ф. 147. Оп. 3. Д. 341. Л. 1.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

26/III-42 г.

ЗАВ. ТРАНСПОРТНЫМ ОТДЕЛОМ ОБКОМА ВКП(б) тов. ВАСЕНЕВУ

СПРАВКА

о состоянии работ по восстановлению Тверецкого моста ветки «Васильевский Мох»

Мостоотряд Ленинской ж.д. (нач. тов. Генфер) прибыл к месту работ 14 марта 1942 г., согласно телеграммы наркома путей сообщения Л.М. Кагановича, восстановление моста должно быть закончено через 15 дней, т.е. к 29 марта 1942 г. Однако на 18 марта по существу к работам еще не приступили.

Тов. Генфер график работ составил не до 29 марта, а наметил срок окончания 20 апреля, объясняя это тем, что тот, кто сообщал Л.М. Кагановичу, не знал размеры разрушений.

Основной причиной медленного разворота работ руководители строительства считают отсутствие транспортных средств (лошадей), недостаток плотников и заготовок ряжа. Но на самом деле основной причиной является плохая организация работ самими руководителями.

В настоящий момент все недостатки, о которых говорили руководители, устранены и работы должны быть развернуты полным ходом.

Инструктор обкома ВКП(б) ИВАНОВ

ТЦДНИ. Ф. 147. Оп. 3. Д. 645. Л. 29.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

14 марта 1942 г.

НАРОДНОМУ КОМИССАРУ СРЕДНЕГО МАШИНОСТРОЕНИЯ
тов. АКОПОВУ

Вами на март месяц 1942 г. Калининскому вагоностроительному заводу установлена программа по выпуску боеприпасов.

Одновременно в приказе от 17.II.-42 г. Вы обязали т. Лившиц и т. Аравина обеспечить завод инструментами и материалами.

Проверкой установлено, что ни инструментов, ни материалов заводу до сих пор не выделено. Отсутствие на заводе соответствующего оборудования (резьбошлифовального станка и др.) не дает возможности произвести их на месте.

Прошу Вас выделить для изделия 122:

мерительный гладкий инструмент (скобы) по 6 наименований;

мерительный резьбовой инструмент (калибры) по 11 наименований;

режущий инструмент (сверла, резьборезы) по 11 наименований;

для изделия 120:

режущий инструмент (сверла, резьбофрезы) по 10 наименований;

мерительный резьбовой (калибры) по 11 наименований;

мерительный гладкий (скобы) по 25 наименований.

Возвратить на завод специалистов-литейщиков и инструментальщиков, бывших работников завода, в частности главного металлурга завода т. Лисенко, мастеров-

литейщиков тт. Павлова, Азолина, Сагусый, Игнатьева, Зубарева и инструментальщиков – тт. Баранова, Егорцева, Яснова.

Секретарь Калининского обкома ВКП(б) БОЙЦОВ

ТЦДНИ. Ф. 147. Оп. 3. Д. 341. Л. 4.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

II/VII-42 г.

СЕКРЕТАРЮ КАЛИНИНСКОГО ОБКОМА ВКП(б)
тов. БОЙЦОВУ И.П.

Для выполнения программы по боеприпасам заводу необходима помощь из Москвы:

1) резьбовым инструментом, мерительным и режущим (см. перечень по изделиям);

2) кругами для заточки инструмента экстра и карборундовые – 15 штук;

3) пластинками победит – 30 кг.

Прошу Вашего вмешательства и помощи, так как мои обращения в наркомат реальных результатов не дали.

Для дальнейшего расширения производства на заводе отсутствуют моторы, восстановить таковые своими силами мы не можем. Одновременно с этим на Ситцевой фабрике имеются бездействующие моторы.

Прошу Вашего содействия в получении таковых во временное пользование.

Литейный и механический цеха завода работают с применением сжатого воздуха. Воздух мы получаем от 4 малых компрессоров, которые не обеспечивают пуска пескоструя для детали нового изделия. На заводе КРЕПЗ имеется два компрессора ВК-200, который ими не используется, просим один передать нам.

Директор завода МОРОЗОВ

ТЦДНИ. Ф. 147. Оп. 3. Д. 341. Л. 24.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

13/VII-42 г.
МОСКВА НКВД БЕРИЯ

На Вашу телефонограмму № 10277 от 9/VII-42 г. по выполнению задания детали М-30 сообщаю следующее.

Начиная с восьмого июля производство изделия М-30 вагонзаводом идет выше среднесуточного графика. Отставание первых семи дней месяца будет устранено к шестнадцатому июля.

Установленный план ГОКО за июль месяц заводом будет выполнен.

ОБКОМПАРТ БОЙЦОВ

ТЦДНИ. Ф. 147. Оп. 3. Д. 341. Л. 30.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Москва ЦК ВКП(б) тов. МАЛЕНКОВУ
НКВД тов. БЕРИЯ

Постановлением ГОКО от 8 июня Калининскому вагонзаводу было дано задание освоить и организовать производство изделия М-30, с выпуском в июне 2 000 и в июле 4 000 штук.

Несмотря на большую работу, проведенную коллективом завода по восстановлению и монтажу горелого оборудования, изготовлению оснастки и штампов, все же июньский план был выполнен всего лишь на 21 %.

В июле месяце перед заводом была поставлена обкомом ВКП(б) задача не только выполнить месячный план, но и покрыть отставание июня.

Настоящим сообщаем, что коллектив вагонзавода постановление ГОКО от 8 июня о производстве в июне – июле 6 000 шт. изделия М-30 выполнил.

Начиная с 20 июня по 31 июля включительно заводом выпущено: сварено – 6 062 шт.; принято – 6 000 шт.; отгружено – 4 943 шт.

Недогруженные 1 057 шт. будут отправлены сегодня.

Секретарь Калининского обкома ВКП(б) БОЙЦОВ

ТЦДНИ. Ф. 147. Оп. 3. Д. 341. Л. 31.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный архив Тверской области. Ф. Р-487. Оп. 3. Д. 3.
2. Тверской центр документации новейшей истории (далее – ТЦДНИ). Ф. 90. Оп. 1. Д. 571.
3. ТЦДНИ. Ф. 90. Оп. 1. Д. 577.
4. ТЦДНИ.Ф. 90. Оп. 1. Д. 578.
5. ТЦДНИ. Ф. 90. Оп. 1. Д. 580.
6. ТЦДНИ. Ф. 90. Оп. 1. Д. 586.
7. ТЦДНИ. Ф. 147. Оп. 3. Д. 341.
8. ТЦДНИ. Ф. 147. Оп. 3. Д. 342.
9. ТЦДНИ. Ф. 147. Оп. 3. Д. 353.
10. ТЦДНИ. Ф. 147. Оп. 3. Д. 645.
11. ТЦДНИ. Ф. 147. Оп. 3. Д. 674.
12. ТЦДНИ. Ф. 147. Оп. 3. Д. 687.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

БОЛОКИНА Любовь Александровна – канд. ист. наук, доцент, доцент кафедры медиатехнологий и связей с общественностью, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: *bolokinal@mail.ru*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Болокина Л.А. Восстановление предприятий электротехнической, машиностроительной, химической промышленности города Калинина после освобождения от немецкой оккупации // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2021. № 4 (12). С. 6–18.

RESTORATION OF THE ENTERPRISES OF THE ELECTRICAL, MACHINE-BUILDING, CHEMICAL INDUSTRY OF KALININ AFTER LIBERATION FROM THE NAZI OCCUPATION

L.A. Bolokina
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The article discusses the process of restoring Kalinin power plants, power grids, and establishing production at the Kalinin Wagon Plant and the Kalinin Rubber Sole Plant in the end of 1941 – beginning of 1942. The scale and nature of the destruction, the stages of restoration work are shown. The reasons that slowed down the recovery were identified: an acute shortage of energy resources, transport, equipment and tools, but above all qualified personnel.

Keywords: Great Patriotic War, restoration work, Kalinin Carriage Factory, Kalinin Plant of Rubber Soles (Kalinin Rubber-Sole Plant), qualified personnel, workshops, power plants, power grids.

REFERENCES

1. State Archive of Tver' Region, F. P-487, Op. 3, D. 3.
2. Tver Center Documentation of Recent History (TTcDNI), F. 90, Op. 1, D. 571.
3. TTcDNI, F. 90, Op. 1, D. 577.
4. TTcDNI, F. 90, Op. 1, D. 578.
5. TTcDNI, F. 90, Op. 1, D. 586.
6. TTcDNI, F. 147, Op. 3, D. 341.
7. TTcDNI, F. 147, Op. 3, D. 342.
8. TTcDNI, F. 147, Op. 3, D. 353.
9. TTcDNI, F. 147, Op. 3, D. 645.
10. TTcDNI, F. 147, Op. 3, D. 674.
11. TTcDNI, F. 147, Op. 3. D. 687.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

BOLOKINA Lyubov' Aleksandrovna – Candidate of History, Associate Professor of the Department of Media Technologies and Public Relations, Tver State Technical University, 22, embankment of. Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *bolokinal@mail.ru*

CITATION FOR AN ARTICLE

Bolokina L.A. Restoration of the enterprises of the electrical, machine-building, chemical industry of Kalinin after liberation from the Nazi occupation // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2021. No. 4 (12), pp. 6–18.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 692.522.2

УЧЕТ СТАДИЙНОСТИ ВОЗВЕДЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОНОЛИТНЫХ ПОСТНАПРЯЖЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Т.Р. Баркая[1], А.В. Гавриленко[1], А.В. Левиков[1], А.В. Шевкина[2]
[1]Тверской государственный технический университет (г. Тверь)
[2]ООО «ПСК Позитив» (г. Тверь)

© Баркая Т.Р., Гавриленко А.В.,
Левиков А.В., Шевкина А.В., 2021

Аннотация. В статье представлены общие подходы к назначению усилий обжатия при расчете и конструировании постнапряженных монолитных конструкций с учетом технологии их дальнейшего возведения. Показаны взаимосвязи этапов возведения и эксплуатации и технико-экономических параметров конструктивного решения. Рассмотрено взаимное влияние конструкторских и технологических решений на основе анализа ряда соответствующих факторов, определяющих оптимальные показатели реализации проекта в целом.

Ключевые слова: железобетон, постнапряжение, напряжение без сцепления, моностренд, смятие бетона, монолитные работы, выдерживание бетона.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-4-19-26

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность применения постнапряженных плит в монолитном строительстве уже давно не вызывает сомнений и не нуждается в обосновании. Более чем полувековой зарубежный опыт практического применения и сложившаяся на сегодняшний день значительная экспериментально-теоретическая база проектирования создали предпосылки для повсеместного внедрения этих систем на практике, что в большинстве западных стран подкрепляется введением в национальные стандарты соответствующих правил проектирования и нормативно-технической документации [1]. Интерес к системам постнапряжения на постсоветском пространстве также растет. Так, в Беларуси нормы проектирования для напряженных конструкций без сцепления арматуры с бетоном появились еще в 2009 году, а в России в 2019 году было введено в действие соответствующее методическое пособие [2] (хотя и значительно в меньшем объеме). До этого отечественные проектировщики в качестве норматива могли использовать актуализированную версию СНиП 2.05.03-84 – «СП 35.13330.2011. Мосты и трубы», применение которой для проектирования конструкций зданий представляется не вполне корректным.

Тем не менее доступная широкому кругу инженеров научно-техническая литература в сочетании с широко применяемыми программно-вычислительными средствами

дает возможность реализовывать проекты с использованием постнапряженных систем и в условиях российского нормативно-технического регулирования.

Однако несмотря на то, что многие методики расчета постнапряженных элементов многократно апробированы [3–5] и разработано большое число конструктивных решений, которые могут применяться в качестве типовых, а технологии возведения достаточно просты и доступны [6], остались вопросы, требующие проработки и дополнительных исследований. При рассмотрении аспектов надежности и долговечности мы неминуемо сталкиваемся с практически полным отсутствием нормативной документации, определяющей значения параметров, обеспечивающие огнестойкость, сохранность при агрессивных воздействиях, «живучесть» конструктивных систем при аварийных ситуациях, особенно при так называемом «прогрессирующем обрушении». С точки зрения технолога, актуальными являются вопросы нормирования трудо- и материалоемкости, определения потребности в средствах механизации при разработке проектов производства работ и организации строительства.

Такие же сложности возникают при составлении сметной документации. Особое место в этом списке занимают проблемы расчета и конструирования, связанные со стадийностью загружения конструкций. В любой предварительно напряженной конструкции нагрузки при изготовлении (возведении) и эксплуатации могут иметь значительные отличия, что зачастую определяет диаметрально противоположное распределение усилий в элементе на этих этапах. Причем если в условиях заводского изготовления обжатие создается, как правило, в бетоне, имеющем характеристики, близкие к проектному классу, то при монолитном строительстве такой фактор, как сроки производства работ, в немалой степени определяющий экономические показатели, практически не оставляет для этого никакой возможности. Таким образом, натяжение арматуры производят на «созревающий» бетон. Тем самым создается начальное напряженно-деформированное состояние, которое в дальнейшем, после приложения эксплуатационных нагрузок, может повлиять как на расчетную схему, так и на итоговую несущую способность, трещиностойкость и деформативность конструкции. Очевидно, что это обстоятельство должно учитываться уже на этапе проектирования конструкции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эффективность применения конструктивных систем с постнапряжением определяется с учетом ряда достаточно простых принципов и условий. В первую очередь это следующие соображения расчетно-конструктивного характера:

максимальное использование прочностных свойств напрягаемых канатов;

снижение веса конструкций путем уменьшения размеров бетонных сечений за счет повышенной жесткости напряженных конструкций;

минимизация расхода ненапрягаемой арматуры за счет оптимального распределения монострендов;

повышение качества планировочных решений увеличением пролетов балок и плит и, как следствие, уменьшением количества вертикальных несущих элементов (стен, колонн и пр.).

С другой стороны, не менее важными являются и вопросы экономичности практической реализации проектных решений, которые в основном сводятся к снижению трудоемкости процессов и сокращению сроков выполнения работ. И если такие аспекты конструктивных решений, как снижение объема бетона и металлоемкости, вполне

согласуются с эффективностью организационно-технологического порядка, то некоторые другие принципы расчета и конструирования сталкиваются здесь с существенными противоречиями. Эти проблемы связаны с вопросами полного использования ресурса наиболее дорогостоящего элемента системы постнапряжения – моностренда.

Отечественные и зарубежные нормы допускают натяжение каната, при котором используется до 80 % его нормативной прочности R_{sn}. Однако это удается осуществить далеко не всегда в силу недостаточной прочности бетона как к моменту создания обжатия, так и в проектном возрасте. Это связано с особенностями работы бетона на смятие в зонах анкеровки канатов. Проблема смятия опорной зоны еще более усугубляется при использовании в перекрытиях и других относительно небольших по площади сечения конструкциях полосового армирования и, соответственно, концентрацией нескольких монострендов в пучок – так называемый мультистренд. Следует отметить, что этот прием, снижающий в том числе и трудоемкость армирования, нашел широкое применение в мостостроении и других крупногабаритных конструкциях, однако его реализация в конструкциях зданий связана с объективными трудностями. Вопросы оптимального сочетания пар «бетон – моностренд» с учетом их классов по прочности рассмотрена в работе [7]. Однако есть еще ряд подобных нюансов, требующих более подробного анализа.

Использование прочности каната ограничивается не только смятием бетона, но и особенностями работы системы в целом, которые зависят как от текущей прочности и жесткости элементов, монтажных нагрузок, так и от натекания потерь преднапряжения. Рассмотрим эти особенности на примере. Для армирования монолитной плиты перекрытия из бетона класса В30 используются напрягаемые канаты К7-15,2-1650/1860-ТУ100 с номинальным диаметром 15,2 мм и прочностью 1 860 Н/мм^2 с шагом раскладки 170 мм. Максимальное усилие, приложенное на конец напрягаемой арматуры в момент натяжения, определяется по формуле

$$P_{max} = G_{p\,max} \cdot A_p k_1,$$

где $G_{p\,max}$ – максимальное напряжение, приложенное к напрягающему элементу; A_p – площадь сечения напрягающего элемента; $k_1 = 0{,}8$ – рекомендуемый коэффициент уровня натяжения [5]. Вычисленное значение составит P = 202,4 кН/канат. Приложение такой величины проектного обжатия можно обеспечить при наборе бетоном прочности, соответствующей классу В27,5. В условиях выдерживания при температуре 10 °С эту прочность можно прогнозировать лишь на срок, не превышающий 24 суток. Следовательно, даже при минимальной оборачиваемости опалубки проектное натяжение придется создавать уже после распалубки конструкции. Очевидно, что распалубка напрягаемых плит возможна только после создания преднапряжения, которое обеспечит работоспособность плиты на восприятие монтажной нагрузки. В противном случае придется значительно повышать ненапрягаемое армирование, выступающее в качестве рабочей арматуры на этапе возведения.

Наиболее эффективным способом оптимизации работ с технологической точки зрения с одновременным обеспечением достаточной прочности конструкции является поэтапное натяжение канатов. В большинстве случаев для реализации постнапряжения оказывается достаточно двух этапов натяжения. Для полного использования прочности каната на первом этапе необходимо задать максимально допустимое значение усилия натяжения каната: практически все потери зависят от величины усилия натяжения, однако потери, возникшие на первом этапе, могут быть полностью компенсированы при

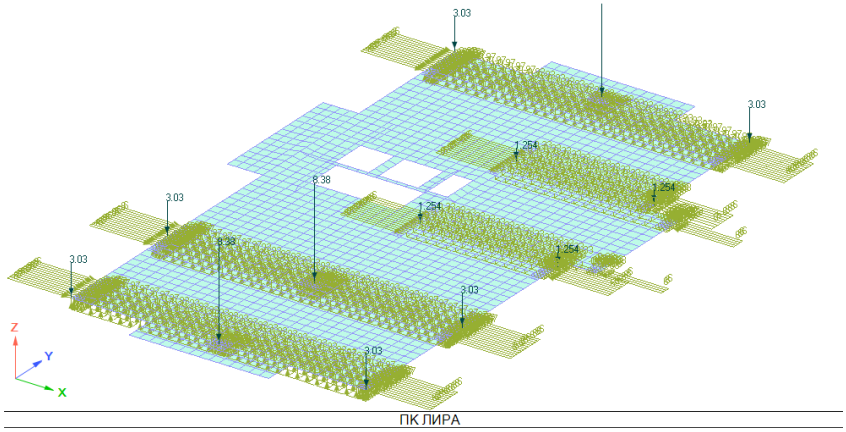
натяжении на втором этапе. Соответственно, чем выше усилие натяжения на первом этапе, тем большее количество потерь возможно компенсировать в процессе натяжения канатов на втором этапе. С другой стороны, усилие натяжения первого этапа должно быть достаточным для обеспечения прочности и трещиностойкости плиты в момент распалубки при минимальном количестве ненапрягаемой арматуры. Поэтому целесообразно назначать значение усилий первого этапа наибольшим, но допустимым из условия смятия бетона и его передаточной прочности.

При этом следует контролировать не только прочность плиты, но и деформации плиты, бетон которой не достиг проектной прочности. Очевидно, что дальнейший набор прочности бетона будет происходить в условиях ее деформированного состояния, т.е. прогибы, возникшие после первого натяжения и последующей распалубки, следует относить к необратимым и рассматривать как начальное несовершенство. После приложения полной эксплуатационной нагрузки общая величина прогибов будет складываться из величины начального прогиба и приращения прогиба от внешней нагрузки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Все перечисленные факторы в их взаимосвязи с последовательностью нагружения конструкции были рассмотрены в работе [8].

Для упомянутой выше плиты перекрытия здания назначались этапы натяжения и проверялось выполнение всех указанных условий расчетно-конструкторского и технологического характера. Усилие первого этапа должно было обеспечить восприятие монтажной нагрузки, учитывающей вес оборудования и рабочих при производстве работ (100 кг/м^2), и нагрузки от собственного веса напрягаемой конструкции. При этом величина усилия не превышала прочности бетона на смятие и оптимальных параметров, связанных с продолжительностью возведения конструкции в условиях строительной площадки. Затем определялись потери напряжения на этом этапе и вычислялось приращение усилия для второго этапа. Величина натяжения второго этапа обеспечивала компенсацию большей части потерь первого при полном использовании механических свойств каната, но не более значений, найденных по вышеприведенной формуле. Определялся также безопасный срок выполнения каждого этапа. Для каждого этапа с учетом соответствующих загружений в ПК LIRASoft была сформирована расчетная схема (рисунок).



Расчетная схема постнапряженной плиты в ПК LIRA Soft

По результатам расчета были получены параметры по несущей способности и деформациям плиты, которые были сопоставлены с аналогичными результатами расчета той же конструкции при одноэтапном загружении (таблица).

Усилия натяжения и основные результаты расчета перекрытия при различных комбинациях этапов натяжения арматуры

Первый этап					Второй этап				Проектное состояние	
Возраст, сут	$P^1_{нач}$, кН	$P^1_{кон}$, кН	M_{max}/M_{ult}	f, мм	$P^2_{нач}$, кН	$P^2_{кон}$, кН	M_{max}/M_{ult}	f, мм	$P_{полн}$, кН	f, мм
24	202	123,9	1,06	23,89	–	–	–	–	123,9	23,89
3	40	34,41	0,6	17,89	180	130,1	0,46	13,72	164,51	31,60
3	60	53,11	0,76	6,51	160	98,7	0,78	5,38	146,82	11,89

Из приведенных данных видно, что одноэтапное натяжение из-за высоких потерь не позволяет обеспечить требуемой несущей способности и характеризуется относительно высоким уровнем деформаций. Кроме того, как уже было указано, такое натяжение требует значительного времени выдерживания бетона и потому однозначно неприемлемо с позиций производства работ. Двухэтапное натяжение на 40 и 180 кН соответственно обеспечивает все технологические и конструктивные показатели, за исключением суммарного прогиба плиты по итогам загружения на этапах изготовления и эксплуатации, расчетное значение которого превышает нормативное. Увеличение натяжения на первом этапе до 60 кН дает положительный результат в отношении всех рассматриваемых параметров. Дальнейшее повышение усилия первичного обжатия приводит к нежелательному росту отрицательных выгибов плиты. При эксплуатации их компенсация будет зависеть от фактического загружения конструкции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при проектировании монолитных плит с постнапряжением уже на этапе назначения напрягаемого армирования следует учитывать конкретные условия строительства с параллельной проработкой принципиальной технологической схемы, учитывающей такие факторы, как обеспеченность технологической оснасткой, механизацией, трудовыми ресурсами, а также температурно-климатические условия возведения конструкций. Учет вышеупомянутых факторов позволяет получать эффективные конструктивные решения как с позиций материалоемкости, так и с точки зрения технологичности возведения. Очевидно, что задача получения оптимального решения является многофакторной, но при этом достаточно просто алгоритмизируется. Поэтому перспективным представляется ее решение путем перебора вариантов возможных комбинаций различных значений параметров и выбора наилучшего по конкретным критериям с помощью специализированных продуктов САПР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cross E. Post-tensioning in Building Structures // *Arts & Humanities Architecture.* https://studylib.net/doc/18487085/post-tensioning-in-building-structures (дата обращения: 19.10.2021).

2. Конструкции железобетонные монолитные с напрягаемой арматурой без сцепления с бетоном. Правила проектирования: методическое пособие. М.: НИИЖБ им. А.А. Гвоздева. 2017. 109 с.
3. Barkaya T.R., Gavrilenko A.V. Finite element modelling of unbonded post-tensioned simply supported beam // *J. Phys.: Conf. Ser*. 2020. 012131. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012131
4. Gavrilenko A.V., Barkaya T.R. Experimental and theoretical study of post-tensioned unbonded beams // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 1030.
5. Портаев Д.В. Расчет и конструирование монолитных преднапряженных конструкций гражданских зданий. М.: Ассоциация строительных вузов. 2011. 248 с.
6. Гавриленко А.В., Абдуллина Ю.Р., Баркая Т.Р. Особенности технологии преднапряжения железобетонных конструкций в условиях производства строительно-монтажных работ // *Саморазвивающаяся среда технического вуза: научные исследования и экспериментальные разработки: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции*. Тверь: ТвГТУ. 2020. С. 72–78.
7. Абдуллина Ю.Р., Баркая Т.Р., Гавриленко А.В., Куляев П.В. Оптимизация технологических процессов постнапряжения в построечных условиях // *Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура.* 2020. № 4 (15). С. 16–22.
8. Шевкина А.В. Многоквартирный жилой дом по адресу: г. Тверь, ул. Макарова, д. 4, к. 2 с постнапряжением перекрытий: магистерская дис. Тверь: ТвГТУ. 2021. 156 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

БАРКАЯ Темур Рауфович – канд. техн. наук, заведующий кафедрой конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: *btrs@list.ru*
ГАВРИЛЕНКО Алексей Владимирович – старший преподаватель кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: *GavrilenkoAV@tstu.tver.ru*
ЛЕВИКОВ Александр Валерьевич – канд. филос. наук, доцент кафедры конструкций и сооружений, инженерно-строительный факультет, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: *leviksa@mail.ru*
ШЕВКИНА Анна Владимировна – инженер-проектировщик, ООО «Проектно-строительная компания Позитив», 170019, Россия, г. Тверь, ул. Академика Туполева, д. 124 к. 1, помещ. 2. E-mail: *a_shevkina@list.ru*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Баркая Т.Р., Гавриленко А.В., Левиков А.В., Шевкина А.В. Учет стадийности возведения при проектировании монолитных постнапряженных конструкций // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2021. № 4 (12). С. 19–26.

CONSIDERATION OF ERECTION STAGE IN DESIGNING MONOLITHIC POST-STRAINED STRUCTURES

T.R. Barkaya[1], A.V. Gavrilenko[1], A.V. Levikov [1], A.V. Shevkina[2]
[1]Tver State Technical University (Tver)
[2]OOO «PSK Positive» (Tver)

Abstract. The article presents general approaches to the assignment of compression forces in the calculation and design of post-stressed monolithic structures, taking into account the technology of their further construction. The interrelationships of the stages of construction and operation and the technical and economic parameters of the design solution are shown. The mutual influence of design and technological solutions is considered based on the analysis of a number of relevant factors that determine the optimal performance of the project as a whole.

Keywords: reinforced concrete, post stress, stress without coupling, monostrend, concrete crumpling, monolithic works, concrete holding.

REFERENCES

1. Cross E. Post-tensioning in Building Structures // *Arts & Humanities Architecture.* https://studylib.net/doc/18487085/post-tensioning-in-building-structures (date of access: 19.10.2021).
2. Reinforced concrete monolithic structures with tensioned reinforcement without adhesion to concrete. Design rules: methodical manual. Moscow: NIIZhB im. A.A. Gvozdeva. 2017. 109 p.
3. Barkaya T.R., Gavrilenko A.V. Finite element modelling of unbonded post-tensioned simply supported beam. *J. Phys.: Conf. Ser*. 2020. 012131. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012131
4. Gavrilenko A.V., Barkaya T.R. Experimental and theoretical study of post-tensioned unbonded beams. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 1030.
5. Portaev D.V. Raschet i konstruirovanie monolitnyh prednapryazhennyh konstrukcij grazhdanskih zdanij [Calculation and construction of monolithic prestressed structures of civil buildings]. M.: Associaciya stroitel'nyh vuzov. 2011. 248 p.
6. Gavrilenko A.V., Abdullina Yu.R., Barkaya T.R. Features of the technology of prestressing reinforced concrete structures in the conditions of construction and installation works. *Self-developing environment of a technical university: scientific research and experimental developments: Materials of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference.* Tver: Tver State Technical University. 2020, pp. 72–78. (In Russian).
7. Abdullina Yu.R., Barkaya T.R., Gavrilenko A.V., Kulyaev P.V. Optimization of post-stress technological processes in building conditions. *Zhilishchnoe hozyajstvo i kommunal'naya infrastruktura.* 2020. No. 4 (15), pp. 16–22. (In Russian).
8. Shevkina A.V. Apartment house at the address: Tver, Makarova str., 4, room 2 with post-tension ceilings: master's thesis. Tver State Technical University. Tver: Tver State Technical University. 2021. 156 p. (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

BARKAYA Temur Raufovich – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *btrs@list.ru*
GAVRILENKO Alexey Vladimirovich – Assistant of the Department of Structures and Constructions, Assistant of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical

University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *GavrilenkoAV@tstu.tver.ru*
LEVIKOV Alexander Valeryevich – Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *leviksa@mail.ru*
SHEVKINA Anna Vladimirovna – design engineer, LLC «Design and construction company Positive», 170019, Russia, Tver, Akademika Tupoleva str., 124 building 1, room 2. E-mail: *a_shevkina@list.ru*

CITATION FOR AN ARTICLE
Barkaya T.R., Gavrilenko A.V., Levikov A.V., Shevkina A.V. Consideration of erection stage in designing monolithic post-strained structures // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2021. No. 4 (12), pp. 19–26.

УДК 691-431

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КЕРАМЗИТОБЕТОННЫХ БЛОКОВ ТОРГОВОЙ МАРКИ «БАЛАЕВ БЛОК»

А.В. Гавриленко, А.В. Левиков, Т.Р. Баркая, Д.А. Ханыгин
Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Гавриленко А.В., Левиков А.В.,
Баркая Т.Р., Ханыгин Д.А., 2021

Аннотация. В статье приводится описание трехслойных пазогребневых блоков, реализуемых под торговой маркой «Балаев блок». Приведены их основные преимущества и недостатки. Показано, что сложности с устройством перемычек над проемами в стенах индивидуальных жилых зданий, возводимых из данных блоков, обусловлены недостаточной прочностью среднего слоя из керамзитобетона при действии местных сжимающих нагрузок. Приведены результаты прочностных испытаний трех образцов блоков при различном положении и размерах штампа. Сделан вывод, что прочность керамзитобетонного слоя в ряде случаев оказывается достаточной для опирания перемычек на блок без устройства распределительных подушек.

Ключевые слова: керамзитобетон, стеновые блоки, испытания на местное сжатие.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-4-26-32

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сохраняется интерес частных и корпоративных застройщиков к стенам, выполненным из достаточно прочных и стойких к атмосферным воздействиям блоков, являющихся в то же время вполне эффективными в плане теплотехнических свойств.

Сложному комплексу указанных требований соответствуют некоторые из предложенных на рынке решений. Одним из них можно считать пазогребневые блоки, реализуемые под торговой маркой «Балаев блок».

Данные блоки многослойны по конструкции и поставляются заказчику в полной заводской готовности, что сокращает количество операций по устройству стен на строительной площадке до минимума. Общий вид рассматриваемых блоков представлен на рис. 1. Средний слой, занимающий основной объем блока, имеет толщину порядка 330 мм и выполнен из теплоэффективного капсулированного керамзита, пропитанного бетонным молочком и усиленного высокопрочными синтетическими волокнами, улучшающими прочность связей между гранулами керамзита. Внешний слой блока выполнен из бетона и имеет толщину порядка 40…50 мм. Наружная поверхность этого слоя выполняется фактурной. Верхняя и нижняя части внешнего слоя имеют соответствующие паз и гребень, что позволяет получить наружный слой стены, практически непроницаемый для ветра и атмосферных осадков. Благодаря стыку «паз – гребень» достигается также надежная защита керамзитового внутреннего слоя от увлажнения и инфильтрации воздуха. Внутренний слой блока имеет толщину порядка 15 мм и также представлен бетоном. Наружная поверхность внутреннего слоя выполняется ровной, что позволяет упростить процесс подготовки стен к нанесению чистовой отделки.

Рис. 1. Общий вид блоков компании «Балаев блок»

Кладка блоков производится на специальный клей-пену, что исключает «мокрые» процессы при возведении стен и позволяет вести работы даже в условиях отрицательных температур. При расширении клей-пена плотно заполняет пространство между блоками, позволяя получить теплый и герметичный шов.

Согласно данным, приведенным на сайте производителя, кладка из блоков «Балаев» со швами из клей-пены оказывается достаточно прочной для возведения зданий высотой

до трех этажей. Возможность выполнения стен из различных блоков со швами на клей-пене подтверждается приведенными в литературе данными [1–3].

Одним из основных минусов стен, выполненных из крупных керамзитобетонных или ячеистобетонных блоков, является их недостаточная прочность при местном действии нагрузки. Это приводит к необходимости устройства монолитных несущих поясов для опирания перекрытий, а также монолитных или сборных перемычек, толщина которых должна быть практически равна общей толщине стены для распределения опорной реакции по большей площади. Тяжелый бетон имеет высокую теплопроводность, поэтому его использование в составе стены из теплоэффективных блоков ведет к возникновению мостиков холода и нарушению нормальных микроклиматических условий в помещении.

Утепление перемычек позволяет решить проблему с их недостаточной теплоэффективностью, однако в этом случае уменьшается площадь передачи опорной реакции на стену из блоков.

В связи с этим оказывается актуальной проверка прочности керамзитового и внутреннего бетонного слоев блока при действии на них местных нагрузок, моделирующих опорную реакцию от перемычки, с целью выявления ресурса прочности этих слоев и оценки возможности опирания перемычки на керамзитобетонный слой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Прочностным испытаниям были подвергнуты три блока, предоставленные производителем. Размеры испытанных блоков сведены в табл. 1.

Согласно проведенным измерениям, плотность керамзитобетона в данных блоках составляет порядка 450 кг/куб. м.

Таблица 1

Размеры и масса образцов блоков

№ образца	Длина, мм	Высота, мм	Глубина, мм	Толщина внешнего слоя, мм	Толщина внутреннего слоя, мм	Масса, кг
1	399,3	190,7	398,7	47,5	15,0	21,7
2	399,0	190,7	399,3	47,5	11,5	20,7
3	398,3	190,7	399,7	47,5	20,0	23,5

Испытания проводились на материально-технической базе лаборатории кафедры «Конструкции и сооружения» Тверского государственного технического университета.

При испытаниях образцов № 1 и 2 применялся штамп размерами 140×197 мм, который располагался во внутренних углах блоков таким образом, чтобы большая его часть оказывалась на слое керамзитобетона (рис. 2).

На образец № 3 нагрузка прикладывалась через штамп размерами 200×340 мм, который располагался в средней части блока таким образом, чтобы нагрузка передавалась к керамзитобетонному слою и внутреннему бетонному слою блока.

Нагружение блоков № 1 и 2 производилось равномерно со скоростью 0,2 кН/с, а блока № 3 – со скоростью 0,5 кН/с.

Разрушение блоков происходило плавно и сопровождалось падением нагрузки на силоизмерителе пресса.

Рис. 2. Общий вид испытательного пресса
с помещенным в него образцом № 1

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты испытаний приведены в табл. 2, из которой следует, что блоки «Балаев» способны выдержать местную нагрузку до 33,2 кН при ее действии на площадку размерами 140×197 мм. В то же время следует обратить внимание на большой разброс в прочности блоков. Данное обстоятельство может быть связано с изменчивостью толщины внутреннего бетонного слоя (см. табл. 1).

Таблица 2

Результаты испытаний блоков

№ образца	Положение штампа	Размер штампа, мм	Разрушающая нагрузка, кН
1	Левый внутренний угол	140×197	49,87
	Правый внутренний угол		65,00
2	Левый внутренний угол		34,52
	Правый внутренний угол		33,21
3	Середина внутренней стороны	200×340	108,87

Характер разрушения блока при действии нагрузки на его внутренний угол показан на рис. 3. По данному рисунку можно заметить, что разрушение внутреннего слоя блока сопровождалось раскрашиванием гранул керамзитобетона и нарушением связей между ними. Во внутреннем бетонном слое блока образовывались трещины, которые при срастании приводили к нарушению целостности бетонного слоя. При разрушении всех блоков наблюдалось нарушение связи между слоями бетона и керамзитобетона.

Рис. 3. Характер разрушения блока при действии нагрузки на внутренние углы через штамп размерами 140×197 мм

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С целью выявления прочности блоков при действии сосредоточенных сжимающих нагрузок были проведены испытания трех образцов блоков фирмы «Балаев», предоставленных производителем. В рамках испытаний сжимающая нагрузка прикладывалась к блокам через штампы размерами 140×197 и 200×340 мм. Результаты проведенных испытаний показали, что прочность блоков оказывается исчерпанной при действии нагрузки величиной не менее 33,2 кН. При этом в исследованиях наблюдался большой разброс значений прочности блоков при действии нагрузки по одинаковым схемам нагружения. На основе проведенных испытаний можно сделать вывод о том, что в ряде случаев (например, при небольших пролетах перемычек или плит перекрытий и малых нагрузках на них) зафиксированная прочность блоков может оказаться достаточной для опирания балок перекрытий или перемычек без устройства распределительных подушек и монолитных поясов. Однако в каждом конкретном случае конструктивное решение узлов должно разрабатываться проектной организацией на основе исчерпывающего расчетного обоснования.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы статьи выражают благодарность ООО «Балаев блок» и лично А.А. Балаеву за предоставление образцов блоков для проведения их натурных испытаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Деркач В.Н. Прочность и деформативность каменной кладки из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения на полиуретановых швах. Ч. 1. Прочность и деформативность при сжатии // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 29–32.
2. Гринфельд Г.И., Харченко А.П. Сравнительные испытания фрагментов кладки из автоклавного газобетона с различным исполнением кладочного шва // *Жилищное строительство*. 2013. № 11. С. 30–34.
3. Техническое заключение о возможности использования полиуретанового клея в виде пены «TYTAN PROFESSIONAL. Клей для кладки газобетона и керамических блоков» для кладки стен из газобетонных блоков автоклавного твердения и других кладочных материалов с гладкими поверхностями в условиях России / О.И. Пономарев [и др.]. М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. 2016.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ГАВРИЛЕНКО Алексей Владимирович – старший преподаватель кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: *GavrilenkoAV@tstu.tver.ru*

ЛЕВИКОВ Александр Валерьевич – канд. филос. наук, доцент кафедры конструкций и сооружений, инженерно-строительный факультет, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: *leviksa@mail.ru*

БАРКАЯ Темур Рауфович – канд. техн. наук, заведующий кафедрой конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: *btrs@list.ru*

ХАНЫГИН Дмитрий Александрович – доцент кафедры конструкций и сооружений ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: *mityay1980@yandex.ru*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Гавриленко А.В., Левиков А.В., Баркая Т.Р., Ханыгин Д.А. Экспериментальное исследование прочности керамзитобетонных блоков торговой марки «Балаев блок» // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2021. № 4 (12). С. 26–32.

EXPERIMENTAL STUDY OF PUNCHING SHEAR OF UNBONDED POST-TENSIONED REINFORCED CONCRETE SLABS

A.V. Gavrilenko, A.V. Levikov, T.R. Barkaya, D.A. Hanygin
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. In this paper there is description of three-layer tongue-and-groove expanded clay concrete blocks, traded under mark “Balaev block”. Their main advantages and disadvantages are listed. It is shown, that there are difficulties with lintel placing above windows and doors in walls of individual houses, made of these blocks. It is connected with insufficiency of compressive strength of internal expanded clay concrete layer under acting of local compressive loads. Experimental study of three blocks were conducted. Blocks were exposed to acting of local compressive loads. Compressive test results are given. Variables were the placing and dimensions of a stamp. Conclusion is made that in some cases bearing capacity of the blocks is sufficient for placing lintels on internal layer without constructing extra bearing elements.

Keywords: expanded clay concrete, concrete blocks, local loading, compressive test.

REFERENCES

1. Derkach V.N. Strength and deformability of stone masonry made of cellular concrete blocks of autoclaved hardening with polyurethane joints. Part 1. Strength and deformability under compression. *Construction Materials*. 2017. No. 5, pp. 26–32. (In Russian).

2. Grinfeld G.I., Harchenko A.P. Comparative tests of fragments of autoclaved aerated concrete masonry with different designs of the masonry joint. *Housing construction*. 2013. No. 11, pp. 30–34. (In Russian).
3. Technical report on the possibility of using polyurethane foam adhesive «TYTAN PROFESSIONAL. Adhesive for masonry of aerated concrete and ceramic blocks» for masonry of walls made of autoclaved aerated concrete blocks and other masonry materials with smooth surfaces in the conditions of Russia / O.I. Ponomarev [et al.]. Moscow: TsNIISK named after V.A. Kucherenko, 2016. (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

GAVRILENKO Alexey Vladimirovich – Senior Teacher of the Department of Structures and Constructions, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *GavrilenkoAV@tstu.tver.ru*
LEVIKOV Alexander Valeryevich – Ph.D., Associate Professor of the Department of Structures and Constructions, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *leviksa@mail.ru*
BARKAYA Temur Raufovich – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Structures and Constructions, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *btrs@list.ru*
HANYGIN Dmitry Aleksandrovich – Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *mityay1980@yandex.ru*

CITATION FOR AN ARTICLE

Gavrilenko A.V., Levikov A.V., Barkaya T.R., Hanygin D.A. Experimental study of punching shear of unbonded post-tensioned reinforced concrete slabs // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2021. No. 4 (12), pp. 26–32.

УДК 615.035.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ПРИ ОЦЕНКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Н.П. Курбатов
Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Курбатов Н.П., 2021

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме применения математического аппарата для решения задач градостроительства и сельского хозяйства. Использование фрактальной теории позволяет разработать методы экспресс-прогнозирования и районирования осушительных и оросительных мелиораций.

Ключевые слова: фрактал, градостроительный анализ, экспресс-прогнозирование.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-4-32-37

При определенной агротехнике сельскохозяйственные земли оцениваются по степени засушливости через соотношение между потребностью данной культуры в воде на транспирацию растений плюс испарение почвы за вегетационный период и наличием естественных ресурсов влаги [1].

Деградация почв выражается уменьшением продуктивности, ухудшением физических, химических или биологических их свойств из-за ветровой или водной эрозии, долговременной утратой природной биоты. Деградация земель происходит в результате нарушения экологического баланса.

Рекомендованный коэффициент увлажнения К. Торнтвейта [6] представляет собой отношение ресурсов влаги к потребности в воде, определяемой через испаряемость:

$$\text{КУТ} = \frac{P_{\text{год}}}{E_{0\text{год}}},$$

где $P_{\text{год}}$ – годовая сумма осадков, мм; $E_{0\text{год}}$ – испаряемость за год, мм.

На карте России изолиния КУТ, равная 0,65, соответствует границе засушливых земель (северной границе сухих субгумидных) [5]. Эта граница проходит в пределах как типично степных, так и сухостепных ландшафтов. Границей между сухими субгумидными и полузасушливыми землями служит изолиния 0,50. Полузасушливые земли представлены отчасти сухостепными, большей частью – полупустынными и иногда пустынными ландшафтами.

С увеличением засушливости местности возрастает потребность культуры в воде. В результате возникает дефицит необходимой влаги и появляется необходимость в орошении.

Фрактальная теория, основанная на целостном представлении объекта как совокупности элементов, может быть использована для районирования территории.

Фракталы являются сугубо математическим понятием. В 1967 г. Б. Мандельброт [2] связал свойство природных объектов с фракталами. Он предложил новую характеристику их протяженности – фрактальную размерность (фрактал означает «фрагментированный» и представляет собой бесконечно самоподобную геометрическую фигуру). Использование фрактальной теории, основанной на целостном представлении объекта как совокупности элементов, взаимосвязь которых порождает свойство самоподобия, весьма эффективно как для описания морфологии рельефа, так и для выявления закономерностей динамики геоморфосистем, в том числе развития эрозии и увеличения эродированных сельскохозяйственных земель.

Охарактеризовать природный объект с помощью фрактальной размерности можно традиционным способом: исследуемый объект покрывают сеткой с размером ячейки ε и подсчитывают количество ячеек сетки $N(\varepsilon)$, покрывающих изучаемый объект. С уменьшением размера ε ячейки сетки количество таких ячеек $N(\varepsilon)$ увеличивается. Емкостная (фрактальная) размерность объекта определяется как

$$D = -\lim \frac{\lg N(\varepsilon)}{\lg \varepsilon}. \quad (1)$$

У природного фрактала интервал самоподобия ограничен размером ячейки покрытия. Все фракталы, обладающие хотя бы какими-нибудь признаками симметрии, самоподобны, т.е. некоторые фрагменты их структуры строго повторяются через определенные пространственные промежутки. Эти объекты могут иметь любую природу, причем их вид и форма остаются неизменными независимо от масштаба. Его размер может варьироваться в определенном диапазоне, максимальное значение которого определяется размерами объекта, а минимальное – его элементарным структурным элементом (размерами оцифрованной карты и минимальным элементом изображения – пикселем).

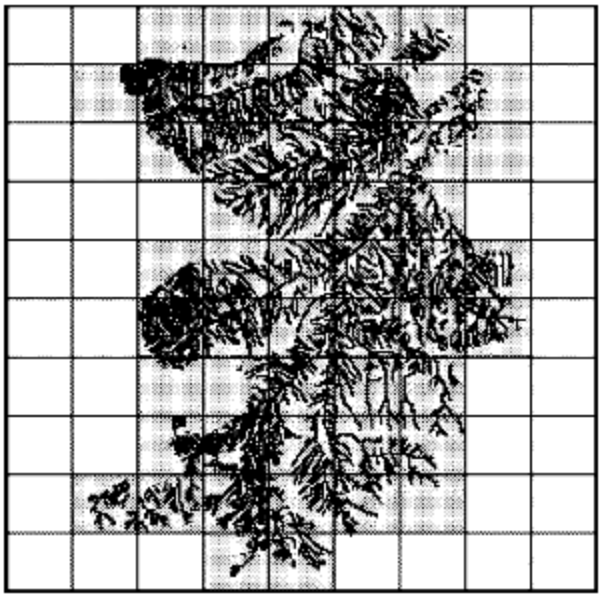
Формула (1) не всегда применима, и для оценки фрактальной размерности необходимо применение численного алгоритма, который заключается в получении зависимости числа ячеек покрытия фрактала от размера ячейки, выделении на ней линейного участка и аппроксимации зависимости на этом участке линейной функцией [3].

Фрактальный подход был впервые применен в градостроительном анализе для оценки размера, однородности, разнообразия и степени плотности планировочных элементов. Он считается более эффективным по сравнению с традиционными методами градостроительного анализа.

Будучи количественной характеристикой структуры объекта, фрактальная размерность (D) позволяет, например, находить параметры площади или периметр городской застройки с заданным уровнем приближения и независимо от единиц измерения. Согласно теоретическим положениям, фрактальная размерность на двумерном изображении варьируется от высоких значений ($D \to 2$), при которых структура объекта более однородна, полностью заполнена, до низких значений ($D \to 1$), присущих более фрагментарной («рваной») структуре, например городской планировке, характеризующейся наличием неосвоенных пространств либо естественных или искусственных ограничений.

Оценку фрактальной размерности методом плотности заполнения городской территории для разных городов П. Франкхаузер в 1998 г. предложил выполнять двумя способами: с помощью метода сетки и с помощью концентрических окружностей. Эти два метода могут быть комбинированы.

Теория фракталов была использована для изучения овражно-балочной сети (ОБС) на территории г. Саратова. Анализ показал, что значения фрактальной размерности D находятся в некотором интервале значений размерности, зависящей от выбора участков: D = 1,59–1,66 (рисунок) [3]. При исследовании Елшанского ландшафтного района была получена следующая зависимость числа ячеек покрытия от размера ячейки: D = 1,61. Отрезок, используемый для вычисления величины фрактальной размерности, характеризуется двумя числами: максимальным и минимальным размерами ячеек покрытия (ε_{max} и ε_{min} соответственно).



Структура ОБС Елашанского ландшафтного района (г. Саратов) [3]

Значение фрактальной размерности отражает энергетическую напряженность ОБС как геолого-геоморфологической системы на анализируемом участке. Овражно-балочная сеть, развивающаяся в более жестком, гетерогенном по вещественному составу горных пород геологическом субстрате, характеризуется более низким значением фрактальной размерности *D*. Например, ОБС Лысогорского ландшафтного района, плато которого сложено наиболее разновозрастными, разнофациальными отложениями, имеет наименьший показатель $D = 1{,}54$.

Потребность сельскохозяйственных культур в воде оценивается с помощью КУТ. Чем больше его значение, тем больше потребность сельскохозяйственных культур в воде. Она варьируется для одной и той же культуры не только в различных районах, но и в разные годы в одном и том же районе.

Для оценки и районирования территорий под орошение с помощью фрактальной размерности можно использовать следующую методику:

а) карта района разбивается на клетки, часть которых будет иметь площади под орошение, а часть будут пустыми (строения, дороги, леса, озера, скверы и т.п.); размер квадратов в сетке можно варьировать;

б) большой размер квадрата, охватывающий весь район, фрактальная размерность равна 2, если уменьшить размер квадрата до 20–50 м, то размерность уменьшится. При уменьшении размера квадрата (итерации) изменяются количество подсчитанных элементов – квадратов (N) и размер исследуемой площади (r);

в) фрактальная размерность подсчитывается по формуле

$$D = \lg N(r) / \lg(1/r), \qquad (2)$$

где r – коэффициент (т.е., например, если предыдущая клетка дробится на 16 клеток, то $r = 4$, если на 9, то $r = 3$). За N принимаем количество земельных квадратов, нуждающихся в орошении на анализируемом масштабе, т.е. если площадь под орошение имеется в 9 квадратах из 9, то $D = 2$, если в 4 квадратах из 9, то $D = 1{,}26$, и т.д.;

г) проводится следующая итерация и подсчитывается размерность на более мелкой сетке, т.е. идет поэтапное сокращение размера сетки элементов от крупно- к мелкозернистому;

д) на клетки разбиваются только площади под орошение, и проводится детализация по степени засушливости территории. По показателю фрактальности (*D*) можно подсчитать потребность в воде.

По количеству клеток и фрактальной размерности (*D*) устанавливаются:

отношение орошаемых площадей к общей площади района;

расстояния от полей орошения до дорог и между полями орошения;

формы и структуры сельскохозяйственных площадей с дефицитом влаги;

необходимое количество воды на орошение той или иной сельскохозяйственной культуры;

системы размещения механизмов для орошения и их привязка к транспортным сетям;

плотность населения и места приложения труда.

Фрактальное моделирование позволяет представить и классифицировать направления потенциального освоения площадей под производство сельскохозяйственных культур. Фрактал выглядит одинаково независимо от масштаба.

Методы фрактального анализа могут быть использованы для экспресс-прогнозирования и районирования осушительных и оросительных мелиораций. Однако располагая только внешним видом объекта и не используя никакой дополнительной информации, истинный его размер оценить невозможно.

Прикладной аспект фрактальной теории может быть использован при классификации территорий сельскохозяйственного назначения различных масштабов. Применение фрактального подхода позволяет выполнять качественную оценку сельскохозяйственных площадей с дефицитом или с недостатком влаги вне зависимости от их масштаба.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костяков А.Н. Основы мелиорации. М.: Сельхозгиз. 1960. 662 с.

2. Мандельброт Бенуа. Фрактальная геометрия природы. М.: Ин-т компьют. исслед. 2002. 656 с.

3. Иванов А.В., Короновский А.А., Минюхин И.М., Яшков И.А. Определение фрактальной размерности овражно-балочной сети города Саратова // *Известия вузов «ПНД»*. Т. 14. № 2. 2006.

4. Гущина Е.С., Смогунов В.В. Фрактальная размерность в оценке планировочной структуры крупного города // *Современные научные исследования и инновации*. 2016. № 2 (58). С. 110–116.

5. Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А. Площадь засушливых земель равнин России // *Аридные экосистемы*. 2009. Т. 15. № 1 (37). С. 5–12.

6. United Nations Convention to Combat Desertification. 1994. https://www.state.gov/wp-content/uploads/2019/02/01-215-Multilateral-Environ-Desertification.pdf (дата обращения: 19.10.2021).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

КУРБАТОВ Николай Павлович – канд. техн. наук, доцент кафедры гидравлики, теплотехники и гидропривода, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: *kurbatov.nikolai@rambler.ru*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Курбатов Н.П. Использование фрактальной теории при оценке сельскохозяйственных территорий // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии. 2021. № 4 (12). С. 32–37.

USE OF FRACTAL THEORY IN THE ASSESSMENT OF AGRICULTURAL AREAS

N.P. Kurbatov
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The article is devoted to the actual problem of using mathematical apparatus to solve problems of urban planning and agriculture. The use of fractal theory makes it possible to develop methods of express forecasting and zoning of drainage and irrigation reclamation.

Keywords: fractal, urban planning analysis, express forecasting.

REFERENCES

1. Kostyakov A.N. Osnovy melioracii [Basics of land reclamation]. Moscow: Sel'hozgiz. 1960. 662 p.
2. Mandel'brot Benua. Fraktal'naya geometriya prirody [Fractal geometry of nature]. Moscow: In-t komp'yut. issled. 2002. 656 p.
3. Ivanov A.V., Koronovskij A.A., Minyuhin I.M., Yashkov I.A. Determination of the fractal dimension of the gully-beam network of the city of Saratov / *Izvestiya vuzov «PND»*. Vol. 14. No. 2. 2006. (In Russian).
4. Gushchina E.S., Smogunov V.V. Fractal dimension in estimation of a large city planning structure. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii.* No. 2 (58), pp. 110–116. (In Russian).
5. Zolotokrylin A.N., Cherenkova E.A. The area of the arid lands of the plains of Russia. *Aridnye ekosistemy*. 2009. Vol. 15. No. 1 (37), pp. 5–12. (In Russian).
6. United Nations Convention to Combat Desertification. 1994. https://www.state.gov/wp-content/uploads/2019/02/01-215-Multilateral-Environ-Desertification.pdf (date of access: 19.10.2021).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

KURBATOV Nikolai Pavlovich – Ph.D., Associate Professor of the Department of Hydraulics, Heat Engineering and Hydraulic Drive, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *kurbatov.nikolai@rambler.ru*

CITATION FOR AN ARTICLE

Kurbatov N.P. Use of fractal theory in the assessment of agricultural areas // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2021. No. 4 (12), pp. 32–37.

УДК 691-431

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТЕНОВЫХ КЕРАМЗИТОБЕТОННЫХ БЛОКОВ С ДЕКОРАТИВНЫМ ФАСАДОМ

А.В. Левиков, А.В. Гавриленко, Т.Р. Баркая, Д.А. Ханыгин
Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Левиков А.В., Гавриленко А.В.,
Баркая Т.Р., Ханыгин Д.А., 2021

Аннотация. В статье представлены результаты исследования геометрических параметров пазогребневых керамзитобетонных блоков с декоративным фасадом. Натурным путем определен коэффициент теплопроводности керамзитобетонного слоя. Выполнен расчет сопротивления теплопередачи блока в целом. Представлено обоснование возможности использования в жилищном строительстве блоков как энергоэффективного материала. Даны рекомендации по дальнейшему совершенствованию технологии производства блоков с целью улучшения точности внутренних геометрических параметров каждого из слоев блока.

Ключевые слова: керамзитобетон, стеновые блоки, энергоэффективность.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-4-38-43

ВВЕДЕНИЕ

Систематический рост стоимости на строительные материалы и энергоносители заставляет застройщиков и инвесторов более рационально их использовать. Причем если до 2000-х гг. частного заказчика в большей степени интересовала стоимость возведения здания, а расходы на эксплуатацию в России были незначительными, то в настоящее время значимым стал вопрос экономии ресурсов на протяжении всего жизненного цикла здания, от проектирования до утилизации. Основные нормативные теплопотери здания до 2000-х гг. распределялись примерно следующим образом: 39 % – стены; 8 % – перекрытия; 21 % – окна; 32 % – воздухообмен. С 2016 г., согласно требованиям Постановления Правительства РФ № 181 о повышении энергоэффективности зданий, распределение теплопотерь следующее: 17 % – стены и перекрытия, 25 % – окна и 58 % – воздухообмен. При этом расчетный расход теплоты на отопление и вентиляцию снизился с 160–200 до 66–74 кВт·ч/м^2 [2]. Как видно, наиболее доступным и простым способом повышения энергоэффективности здания оказалось повышение эффективности внешней оболочки здания, в частности стеновых конструкций [1].

Газобетонные блоки автоклавного твердения, получившие широкое распространение, полностью отвечают современным требованиям теплоизоляции для однослойных конструкций, однако имеют существенный недостаток: они требуют соблюдения особых мероприятий по гидроизоляции и последующей наружной отделки для защиты от агрессивного воздействия окружающей среды. Одним из альтернативных вариантов газобетонным блокам являются пазогребневые керамзитобетонные блоки с декоративным фасадом, запатентованные в 2015 г. [3]. Отличительной особенностью данных стеновых блоков является наличие чистовой наружной отделки и 100%-я готовность под

внутреннюю отделку. Сравнительно новый материал используется для возведения несущих стен одноквартирных жилых зданий и самонесущих ограждающих конструкций в монолитном домостроении. Несмотря на начало практического применения, малоизученным и спорным остается вопрос теплотехнических характеристик блока и кладки из блоков в целом.

Целью статьи является исследование керамзитобетонных блоков с декоративным фасадом с возможностью применения в качестве энергосберегающих стеновых конструкций. Для достижения цели работы поставлены задачи:

а) исследовать геометрические параметры слоев блока и целостность стеновой кладки;

б) опытным путем определить сопротивление теплопередачи стеновых блоков;

Исследование проводилось на трех образцах прямоугольной формы с заявленными размерами: ширина 400 мм, длина 398 мм и высота 190 мм. Керамзитобетонные блоки с декоративным фасадом представляют собой слитые воедино лицевой фасадный бетонный, основной слой из керамзита и внутренний бетонный слой. В лицевом бетонном слое на верхней и боковой сторонах блока расположен гребень, а на нижней стороне блока и противоположной боковой – выемки. Во время кладки стен пазогребневая форма позволяет точно позиционировать вышележащие ряды блоков над нижележащими, исключает смещение кладки из вертикальной плоскости стены, улучшает устойчивость кладки и сцепление блоков, препятствует сквозному продуванию швов между блоками. Фрагменты кладки стены с пазогребневой системой представлены на рис. 1, 2.

Рис. 1. Фрагмент кладки стены со стороны лицевого бетонного слоя

Рис. 2. Фрагмент кладки стены со стороны внутреннего бетонного слоя

Лицевой бетонный слой может иметь разную фактуру отделки, исходя из пожеланий потребителя. После кладки блоков стена окрашивается в соответствии с цветовыми решениями фасадов, более никаких строительных работ по отделке фасада производить не требуется, что является значительным плюсом данных блоков по сравнению с блоками из ячеистых бетонов.

Представленные образцы блоков были исследованы визуально на наличие сколов, трещин, произведены обмеры основных слоев, определен вес в естественном состоянии. Результаты измерений приведены в таблице.

Результат измерений блоков стеновых керамзитобетонных с пазогребневым фактурным слоем, мм

№	Измеряемый показатель	Заявленное значение показателя	Результат изменения	Отклонение	
				Измеренное	Нормативное
1	Ширина изделия	400	400; 399; 399; 399; 399; 399; 400; 400; 399	±1,0	±1,5
2	Длина изделия	398	399; 399; 398; 397; 399; 399; 398; 399; 398	±1,0	±1,5
3	Высота изделия	190	190; 191; 191; 191; 190; 191; 191; 190; 191	±1,0	±1,5
4	Ширина лицевого бетонного слоя	–	48; 45; 49; 50; 46; 45; 47; 49; 50	±2,5	–
5	Ширина слоя керамзитобетона	–	12; 15; 20; 9; 15; 14; 15; 18; 25	±8,0	–
6	Ширина внутреннего бетонного слоя	–	339; 339; 329; 338; 338; 340; 336; 332; 323	±7,5	–

Анализируя полученные результаты, отметим хорошую геометрию габаритных размеров блоков. Ширина внутренних слоев имеет значительные отклонения (до ±8 мм), что связано с особенностями производства. Во время изготовления бетонная и керамзитобетонная смеси трамбуются на вибростоле. В процессе вибрации гранулы керамзита неравномерно вдавливаются и выдавливаются из бетонных растворов, в результате чего лицевой и внутренний бетонный слои имеют разную ширину по длине даже в пределах одного блока.

Теплотехнические параметры блоков определялись измерителем теплопроводности ИТП-МГ4 «ЗОНД» (рис. 3). Данный прибор предназначен для оперативного определения теплопроводности строительных материалов методом теплового зонда по ГОСТ 30256. Измерение производилось при температуре воздуха +22 ºС и относительной влажности воздуха 34 %.

Были получены следующие результаты измерений коэффициента теплопроводности λ блоков стеновых керамзитобетонных:

Номер измерения	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Результат изменения λ, Вт/м·ºС	0,197	0,324	0,288	0,255	0,218	0,291	0,345	0,202	0,243

Рис. 3. Процесс определения параметров теплопроводности керамзитобетонного слоя при разном увеличении

Результаты измерения коэффициента теплопроводности показали существенные отклонения в пределах 25 % от среднего, что объясняется неоднородностью распределения керамзита и воздушных прослоек в керамзитобетонном слое блоков. Отбросим пиковые результаты отклонений и примем среднее значение коэффициента теплопроводности керамзитобетонного слоя λ = 0,202 Вт/м·ºС. Используя формулы (6.6) и (7.4) СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», вычислим среднее сопротивление теплопередачи многослойной ограждающей конструкции блока как сумму сопротивлений теплопередачи отдельных бетонных слоев и слоя керамзитобетона. В итоге среднее значение сопротивления теплопередачи блоков R = 1,71 м^2·ºС/Вт. Сравнив полученное значение сопротивления теплопередачи и требуемое СП 50.13330.2012 сопротивление теплопередачи из условий энергосбережения (значение которого для многих городов России выше трех единиц), можно сделать вывод о несоответствии современным требованиям теплопроводности представленных блоков и кладки из них для большинства регионов РФ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты опытных испытаний представленных образцов керамзитобетонных блоков с декоративным фасадом показали высокую геометрическую точность внешних размеров. Пазогребневая система блоков вызволяет выполнить целостную однородную устойчивую кладку стены. Высокая заводская готовность блоков и минимальные затраты на финишную наружную и внутреннюю отделку делают их конкурентоспособным материалом. Наличие значимых отклонений внутренних геометрических размеров слоев ограничивает расчет стеновых конструкций, сужает использование блоков на рынке строительных материалов многоэтажных зданий. Опытным путем было определено сопротивление теплопередачи блоков, среднее значение которого составило R = = 1,71 м^2·ºС/Вт. Этого недостаточно для массового использования во многих регионах

России, а учитывая вектор развития энергосберегающих технологий в строительстве, можно утверждать, что со временем блоки окажутся и вовсе неприменимы на территории РФ исходя из условий энергосбережения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Детлеф В. Энергоэффективное строительство – это мировая тенденция // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2008. № 10. С. 40–41.
2. Ливчак В.И. Еще один довод в пользу повышения тепловой защиты зданий // *Энергосбережение*. 2012. № 6. С. 14–20.
3. Патент РФ № 157701. *Стеновой блок* / Балаев А.М., Балаев А.А, Балаев Е.А. Заявл. 31.03.2015. Опубл. 17.11.2015, Бюл. № 34.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ЛЕВИКОВ Александр Валерьевич – канд. филос. наук, доцент кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: *leviksa@mail.ru*
ГАВРИЛЕНКО Алексей Владимирович – ассистент кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: *gawaw@mail.ru*
БАРКАЯ Темур Рауфович – канд. техн. наук, заведующий кафедрой конструкций и сооружений, инженерно-строительный факультет, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: *btrs@list.ru*
ХАНЫГИН Дмитрий Александрович – доцент кафедры конструкций и сооружений ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: *mityay1980@yandex.ru*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Левиков А.В., Гаврилено А.В., Баркая Т.Р., Ханыгин Д.А. Исследование геометрических и теплотехнических параметров стеновых керамзитобетонных блоков с декоративным фасадом // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2021. № 4 (12). С. 38–43.

STUDY OF GEOMETRIC AND THERMAL PARAMETERS OF WALL CERAMSITE CONCRETE BLOCKS WITH A DECORATIVE FACADE

A.V. Levikov, A.V. Gavrilenko, T.R. Barkaya, D.A. Hanygin
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The article presents the results of a study of the geometric parameters of tongue-and-groove expanded clay concrete blocks with a decorative facade. The thermal conductivity coefficient of the expanded clay concrete layer was determined in a natural way and the heat transfer resistance of the block as a whole was calculated. The substantiation of the possibility of using blocks in housing construction as an energy-efficient material is presented.

Recommendations are given for further improvement of the block production technology in order to improve the accuracy of the internal geometric parameters of each of the block layers.

Keywords: expanded clay concrete, wall blocks, energy efficiency.

REFERENCES

1. Detlef V. Energy efficient construction is a global trend. *Building materials, equipment, technologies of the XXI century*. 2008. No. 10, pp. 40–41. (In Russian).
2. Livchak V.I. Another argument in favor of increasing the thermal protection of buildings. *Energy saving*. 2012. No 6, pp. 14–20. (In Russian).
3. Patent RF 157701. Stenovoj blok [Wall block]. Balaev A.M., Balaev A.A., Balaev E.A. Declared 31.03.2015. Published 17.11.2015, Bulletin No. 34. (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

LEVIKOV Alexander Valeryevich – Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *leviksa@mail.ru*
GAVRILENKO Alexey Vladimirovich – Assistant of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *GavrilenkoAV@tstu.tver.ru*
BARKAYA Temur Raufovich – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *btrs@list.ru*
HANYGIN Dmitry Aleksandrovich – Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *mityay1980@yandex.ru*

CITATION FOR AN ARTICLE

Levikov A.V., Gavrilenko A.V., Barkaya T.R., Hanygin D.A. Study of geometric and thermal parameters of wall ceramsite concrete blocks with a decorative facade // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2021. No. 4 (12), pp. 38–43.

УДК 625.731:625.711.83

К ВОПРОСУ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОРОГ НА БОЛОТАХ

В.И. Трофимов
Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Трофимов В.И., 2021

Аннотация. В статье исследуется актуальная проблема повышения эффективности строительства дорог на слабых грунтах. Обосновывается, что при возведении транспортных сооружений на болотах необходимо учитывать сложные природно-климатические условия строительства, высокую степень сжимаемости торфяных грунтов и

высокую себестоимость работ. Кроме особенностей грунтовых условий, влияющих на устойчивость дорог на болотах, необходимо совершенствовать методику расчета поведения насыпи на слабом торфяном основании и технологию их возведения. Высокая стоимость строительства и повышенная трудоемкость возведения транспортной инфраструктуры на болотах требуют разработки новых проектных решений. Рассматривается вопрос выбора расчетной модели по оценке устойчивости насыпи на слабом торфяном основании. Предлагается учитывать в расчетной модели инерционную составляющую, возникающую при отсыпке насыпи. Разработана оригинальная технология возведения дорожной насыпи на болоте.

Ключевые слова: строительство дорог, основание, торфяные грунты, болота, расчетная модель, сила инерции.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-4-43-49

Строительство дорог на болотах связано с серьезными трудностями, возникающими как при возведении непосредственно самой насыпи, так и при ее эксплуатации, что обусловлено вопросом стабилизации ее осадки. Возникают серьезные проблемы на этапах проектирования и строительства. Поэтому для того, чтобы дорога была пригодна к использованию в течение заданного срока, проектировщики и строители применяют нестандартные решения [1].

Торфяное основание болот при положительной температуре по своим деформационным свойствам является сильно и быстро сжимаемым реологическим телом [2]. Кроме того, согласно Л.Т. Роман, при довольно широком диапазоне даже отрицательных температур (от 0 до –8 ºС) торфяные грунты находятся в пластично мерзлом состоянии, что также говорит о значительной степени их деформируемости под нагрузкой [3].

Анализ выполненных работ, посвященных проблемам устойчивости насыпи, в частности дорожной насыпи на слабом торфяном основании, показывает, что имеются два основных подхода к решению данного вопроса. Первый опирается на деформационную теорию с расчетом осадок и предполагает использование теории фильтрационной консолидации. Второй базируется на использовании принципов механики сплошных сред, согласно которым торфяное основание рассматривается как вязкоупругопластическое тело с оценкой устойчивости насыпи через его реологические свойства с учетом изменения напряженно-деформированного состояния (НДС).

Оценка устойчивости дорожной насыпи на болоте может выполняться по осадке насыпи или по несущей способности торфяного основания.

При расчете конечной осадки насыпи на слабом торфяном основании или по несущей способности исходят из того, что нагрузка на основание F_m, равная массе насыпи m ($F_m = m$), остается постоянной [2]. Однако в процессе строительства, реконструкции и эксплуатации нагруженное основание деформируется с переменной скоростью. Эта скорость максимальна в начальный момент нагружения (отсыпки), а в процессе деформирования основания постепенно уменьшается, стремясь к нулю, т.е. насыпь и, соответственно, торфяное основание перемещаются с замедлением – отрицательным ускорением, что вызывает появление, кроме массы насыпи, дополнительной силы – силы инерции, по Ньютону равной произведению движущейся массы на ускорение:

$$F_i = m \cdot dv/dt, \quad (1)$$

где m – масса насыпи; dv/dt – ускорение перемещения насыпи.

Следовательно, фактическая сила, действующая на торфяное основание в момент (в процессе) его нагружения, больше и определяется как

$$F = F_m + F_i, \quad (2)$$

где $F_m = m$. Тогда с учетом формулы (1) можно записать:

$$F = m(1 + dv/dt). \quad (3)$$

В этом случае скорость осадки v изменяется от максимального значения до нуля.

После стабилизации осадки насыпи сила инерции практически исчезает и на основание действует только одна сила F_m, равная массе насыпи m, однако общая осадка насыпи вызвана действием двух сил – F_m и F_i.

В известных методиках расчета конечной осадки S_k сила инерции F_i не учитывалась, так как ее влияние на величину S_k считалось исчезающе малым. Однако, как доказал И.И. Берней, при проведении исследований по обоснованию нового метода оценки реологических характеристик дисперсных систем на основе изучения процесса погружения в них конических инденторов неучет силы инерции, возникающей при ускоренном или замедленном движении тела, приводит к снижению точности их определения [4]. Им были проведены исследования по свободному внедрению конического индентора в различные дисперсные сыпучие и связные системы (песок, глина, цементное тесто и др.) с замером силы инерции. Оказалось, что максимальное значение этой силы, в зависимости от величины двигавшихся масс, на 20–50 % превышает силу тяжести, действующую на конус.

Данное обстоятельство позволяет сделать вывод, что при расчете осадки насыпи необходимо учитывать действие дополнительной силы инерции. Особенно важно учитывать данный фактор при строительстве дорог и дамб на болотах, где в основании находится сильносжимаемая горная порода – торф, в отличие от малосжимаемых – минеральных грунтов. По данным Л.С. Амаряна модуль деформации и коэффициент сжимаемости водонасыщенного торфа на порядок отличаются от аналогичных характеристик песка, глины и др. [2]. Это говорит о том, что и скорость их деформирования под нагрузкой также существенно различается.

Безусловно, на скорость деформирования основания, а соответственно, и на скорость осадки насыпи будут влиять также и величина распределенной нагрузки, технология отсыпки насыпи, физико-механические свойства торфяного основания и другие факторы.

Известно, что пластические деформации связаны со взаимным перемещением частиц при сдвиге относительно друг друга. Частицы распределены по объему деформированной зоны (ядра и активной зоны деформирования) неравномерно, поэтому рассматривать пластическую деформацию как относительную по отношению ко всему объему не вполне корректно. Аналогично с площадью воздействия нагрузки. Во время пластического течения нельзя однозначно сказать, по какой площади распределена сила, так как происходят процессы перемещения за счет сдвига и развития дилатансии грунта. Значит, необходимо установить зависимость деформации от геометрических размеров воздействующего силового элемента – насыпи (ядра, объемных частей – зон деформированного основания).

Рассмотрим пример работы дорожной насыпи на торфяном основании. Пластическому деформированию (перемещению) определенной зоны основания – ядра уплот-

нения и активной зоны деформирования противодействует со стороны остальной части основания сила сопротивления среды F_s, которая зависит от ряда факторов, в частности от скорости нагружения – скорости отсыпки насыпи.

Для описания процесса деформирования торфяного основания от действия постоянной нагрузки – массы насыпи m_1 используем второй закон Ньютона (1). Сила инерции F_i складывается из силы тяжести mg и силы сопротивления F_s (силы отпора упругой – ненарушенной зоны торфяного основания) активной зоны деформирования ядру уплотнения, т.е. можно записать

$$m \cdot dv/dt = mg - F_s, \quad (4)$$

или

$$m \cdot dv/dt = mg - kv, \quad (5)$$

где k – коэффициент пропорциональности между скоростью осадки насыпи v (и ядра) и силой сопротивления, оказываемой ядру активной зоной деформирования.

Однако с учетом того, что в процессе осадки насыпи формируется область с повышенной плотностью – ядром уплотнения 3, сила инерции F_i будет зависеть от двух составляющих: массы насыпи m и прироста массы ядра уплотнения Δm. Можно записать

$$\Delta m = m_i - m_0, \quad (6)$$

где m_i – масса ядра уплотнения; m_0 – масса объема ядра до уплотнения.

Зная плотность ядра ρ_i, плотность ненарушенной зоны (природная плотность данного слоя) ρ_0 и объем ядра уплотнения V получим

$$\Delta m = \rho_i V - \rho_0 V, \text{ или } \Delta m = V(\rho_i - \rho_0). \quad (7)$$

Вставим полученное выражение в формулу (5), тогда

$$(m + \Delta m)dv/dt = (m + \Delta m)g - kv. \quad (8)$$

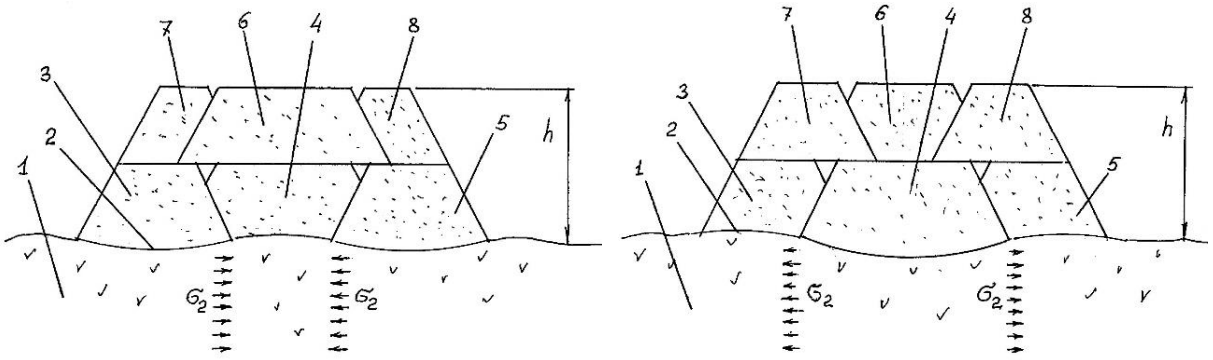
Для снижения влияния фактора инерционной составляющей осадки насыпи в процессе ее отсыпки на болоте предлагается новая технология [5]. Ее особенность заключается в том, что насыпь отсыпают вертикальными слоями (рис. 1, 2).

Строительство дороги на болоте осуществляют следующим образом.

При строительстве двухслойной дороги в летнее время (рис. 1а, 2а) вначале расчищают трассу дороги и подготавливают основание 1 с подошвой 2. После этого подошву 2 делят по ширине на три продольные полосы 3, 4 и 5 в пределах деляны. Затем начинают отсыпку первого слоя насыпи с краев полос 3, 5, включая откосы, например на ширину одной полосы дороги и на длину, равную половине ширине насыпи, но не менее $2{,}5b_{кр}$. Далее начинают отсыпку средней части насыпи полосы 4, продолжая при этом выполнять отсыпку насыпи по крайним полосам 3, 4.

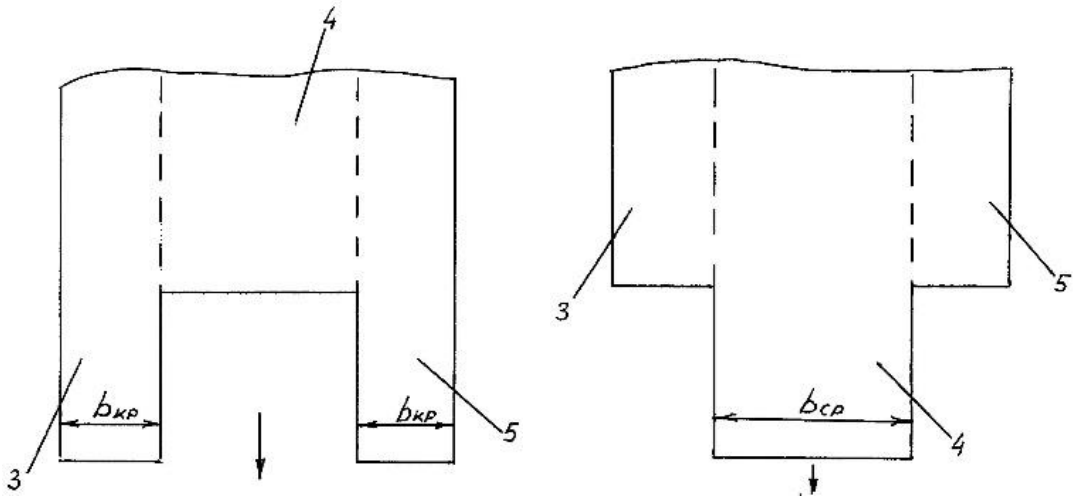
Второй слой формируют в обратном порядке. Отсыпают среднюю часть – полосу 6, например на длину, равную половине ширины насыпи, но не менее $2{,}5b_{ср}$. После этого начинают отсыпку крайних полос 7, 8, продолжая при этом выполнять отсыпку средней части – полосы 4. В процессе отсыпки первого слоя насыпи происходит формирование в основании насыпи НДС, характеризуемого сжатием (параметр Лоде, определяющий вид напряженного состояния, $\mu_\sigma = -1$), и более плотной структуры, что повышает устойчивость системы и эффективность способа. В процессе отсыпки второго слоя в обратном порядке происходит выравнивание поля напряжений в торфяном основании и разброс стыко-

вочных швов – несовпадение продольных швов по высоте насыпи, что обеспечивает однородность грунта земляного полотна по плотности.



а б

Рис. 1. Схема отсыпки насыпи на болоте в летнее (а) и в зимнее (б) время



а б

Рис. 2. План отсыпки насыпи в летнее (а) и в зимнее (б) время

Длина отсыпки полос, равная $2{,}5b_{кр}$($2{,}5b_{ср}$) и более, выбрана из условия снижения взаимного влияния зоны деформаций в основании под средней полосой и зоны деформаций в основании под крайними полосами в процессе отсыпки насыпи земляного полотна.

При строительстве дороги в зимнее время (см. рис. 1б, 2б) вначале расчищают от снега трассу дороги и подготавливают основание 1 с подошвой 2. После этого подошву 2 делят по ширине на три продольные полосы 3, 4 и 5 в пределах деляны. Затем начинают отсыпку первого слоя со средней части 4 насыпи, например на ширину, равную двум полосам дороги и длину, равную половине ширине насыпи, но не менее $2{,}5b_{ср}$. Далее начинают отсыпку крайних полос 3, 5 насыпи, продолжая при этом выполнять отсыпку средней части насыпи – полосы 4.

Отсыпку последующих слоев выполняют в обратном порядке или по всей ширине дороги в зависимости от глубины болота, условий строительства и условий эксплуатации. В процессе отсыпки насыпи происходит формирование в основании насыпи НДС, характеризуемого растяжением (параметр Лоде, определяющий вид напряженного состояния, $\mu_\sigma = +1$), что приводит к более быстрой осадке насыпи в зимнее время и, соответственно, ее стабилизации. При этом сокращаются сроки строительства и повышается эффективность способа.

В заключение отметим, что для снижения влияния фактора инерционной составляющей осадки насыпи на торфяном основании необходимо в процессе строительства, особенно в летний период, проводить технологические мероприятия: снижать скорость отсыпки насыпи, изменять технологию строительства (например, вести в определенной последовательности отсыпку слоями или отсыпку крайними полосами одновременно), а также по возможности применять в торфяном основании систему песчаных дрен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Войтов М.А., Никольцев П.К., Бестаев В.И., Жирнов К.Ф., Комраков Ю.В. Современные методы строительства автомобильных дорог в болотистой местности // Инженерный *Вестник Дона.* 2020. № 1 (61). 10 с.
2. Амарян Л.С. Свойства слабых грунтов и методы их изучения. М.: Недра. 1990. 220 с.
3. Роман Л.Т. Мерзлые торфяные грунты как основания сооружений. Новосибирск: Наука. 1987. 223 с.
4. Берней И.И. Исследование структурно-механических пластично-вязких сред на конических пластометрах // *Строительные материалы*. 1973. № 7. С. 45–47.
5. Патент РФ 2293814. *Способ строительства дорог на болотах (варианты)* / Трофимов В.И.; Заявл. 30.08.2005. Опубл. 20.02.2007, Бюл. № 5.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

ТРОФИМОВ Валерий Иванович – канд. техн. наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: *vitrofa@mail.ru*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Трофимов В.И. К вопросу строительства дорог на болотах // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2021. № 4 (12). С. 43–49.

TO THE ISSUE OF ROAD CONSTRUCTION IN SWAMPS

V.I. Trofimov
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The article deals with the current problem of increasing the efficiency of road construction on weak soils. When erecting transport facilities in swamps, it is necessary to take into account the complex natural and climatic conditions of construction, the high

degree of compressibility of peat soils and the high cost of work. In addition to the features of soil conditions that affect the stability of roads in swamps, it is necessary to improve the methodology for calculating the behavior of the embankment on a weak peat base and the technology for their construction. The high cost of construction and the increased labor intensity of the construction of transport infrastructure on swamps and soils require the development of new design solutions. The issue of choosing a calculation model for assessing the stability of the embankment on a weak peat base is being considered. It is proposed to take into account in the calculation model the inertial component that occurs when filling the embankment. An original technology for erecting a road embankment on a swamp has been developed.

Keywords: road construction, foundation, peat soils, swamps, design model, inertia force.

REFERENCES

1. Vojtov M.A., Nikol'cev P.K., Bestaev V.I., Zhirnov K.F., Komrakov Yu.V. Modern methods of road construction in swampy areas. *Inzhenernyj Vestnik Dona*. 2020. No. 1 (61). (In Russian).
2. Amaryan L.S. Svoistva slabyh gruntov i metody ih izucheniya [Properties of soft soils and methods of their study]. Moscow: Nedra. 1990. 220 c.
3. Roman L.T. Merzlye torfyanye grunty kak osnovaniya sooruzhenij [Frozen peat soils as the foundations of structures]. Novosibirsk: Nauka. 1987. 223 p.
4. Bernej I.I. Investigation of structural-mechanical ductile-viscous media on conical plasmeters. *Stroitel'nye materialy*. 1973. No. 7, pp. 45–47. (In Russian).
5. Patent RF 2293814. Sposob stroitel'stva dorog na bolotah (varianty) [Method of road construction in swamps (options)]. Trofimov V.I. Declared 30.08.2005. Published 20.02.2007. Bulletin No. 5. (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

TROFIMOV Valery Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Products and Constructions, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *vitrofa@mail.ru*

CITATION FOR AN ARTICLE

Trofimov V.I. To the issue of road construction in swamps // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2021. No. 4 (12), pp. 43–49.

УДК 712.253.011

ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДОЛОГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРОДСКИХ СИСТЕМ РАССЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ

В.В. Федоров, М.В. Федоров
Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Федоров В.В., Федоров М.В., 2021

Аннотация. С позиций системного анализа рассматриваются различные аспекты формирования проблемного поля (обеспечения устойчивости функционирования территориальных систем расселения). Определены особенности разноуровневых систем расселения Российской Федерации. Обсуждается методология решения проблем различного уровня. Показано, что в анализируемой ситуации превалирует конкретно-научная методология, имеющая дело с техническими правилами, предписаниями, способами научного обоснования концептуальных и проектно-конструкторских решений. Наряду с проблемами переустройства архитектурно-ландшафтной среды рассматриваются задачи совершенствования моделей и каналов социального взаимодействия, а также распространения представлений о «правильном» поведении, создания идеологической основы беспрепятственного осуществления мер противодействия эпидемиологической угрозе.

Ключевые слова: система расселения, устойчивость урбанизированных территорий, эпидемиологическая угроза, методология формирования проблемного поля.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-4-50-55

Актуальность обеспечения устойчивого функционирования городских систем расселения в сложных эпидемиологических условиях связана с глобальной задачей поддержания (как минимум) условий жизни населения. Наряду с такими неизбежными последствиями пандемии, как ухудшение экономических показателей и экологической обстановки, рост социальной напряженности и пр., меняются также представления о целесообразной функционально-пространственной организации систем расселения. Современный мир имеет выраженный урбанизированный характер, поэтому речь идет прежде всего о городской (архитектурно-ландшафтной) среде, в которой, собственно, и протекает жизнь социума [1, с. 52; 2, с. 34; 3, с. 177].

Наличие архитектурно-градостроительного аспекта противодействия эпидемиологическим угрозам (условия воспроизводства социального бытия) стало очевидно с середины XIV века. Начиная с этого времени чума, оспа, холера унесли в Европе миллионы жизней. Сегодня существует четкое понимание важности проведения постоянных или временных мероприятий [4, с. 32; 5; 6]:

а) санитарии (обеспечения охраны здоровья и профилактики заболеваний, а также практического применения санитарных норм и правил);

б) тотальных ограничений – строгая изоляция инфицированных (госпитали, локдауны), установление пропускных режимов, работа и обучение в режиме онлайн;

в) совершенствования объемно-планировочных и градостроительных решений зданий, сооружений и систем расселения.

Этот перечень охватывает меры разного масштаба и времени реализации (таблица): от аэрации и инсолирования помещений и городских пространств, удаления мусора, систем водоснабжения и канализации до обеспечения санитарно-бытовых разрывов между зданиями и пространственных решений территориальных систем расселения. Пандемия COVID-19 вносит свой вклад в практику создания безопасной и комфортной городской среды. В этой связи нам представляется актуальным и очень важным не только определение проблемного поля, но и выбор адекватной методологии решения столь масштабных задач [7, с. 17–20]. Методологический анализ определяет способы совмещения знаний и практической деятельности. Речь идет о конкретно-научной методологии, которая имеет дело с техническими правилами, предписаниями, формулирует и описывает принципы конкретно-научной и практической деятельности (научного обоснования концептуальных и проектно-конструкторских решений, выполнения санитарных правил и норм, рекомендаций по эксплуатации и пр.).

Проблемное поле обеспечения устойчивости систем расселения

Ключевые проблемы	Актуальные проблемы	
	Направление	Содержание
1	2	3
Научные исследования и проектно-конструкторские решения зданий и сооружений	Научные исследования характера распространения инфекции в городской среде	Влияние характера людских потоков, локальных сгущений, возникновения очередей на транспорте и в зонах культурно-бытового обслуживания населения
		Характер аэрации (циркуляции воздушных потоков) в кварталах и микрорайонах, обусловленный конфигурацией и этажностью застройки, розой ветров, наличием акваторий, рельефом и характером озеленения
	Научное обоснование, разработка и внедрение систем повсеместного и всеохватывающего контроля состояния людей	Увеличение количества полос дистанционного приборного контроля (бесконтактного скрининга) в каждом людском потоке. Уменьшение (исключение) зон пересечения потоков пассажиров и посетителей учреждений обслуживания. Минимизация количества технологически неизбежных зон контакта работников транспорта и пассажиров
	Совершенствование объемно-планировочных и конструктивных решений зданий и сооружений	Повсеместное внедрение технологий обеспечения бесфильтровой обработки воздуха. Совершенствование систем доставки и удаления воздуха из помещений и мест массового скопления людей
		Обеспечение автономизации канализационных стоков из разных зон зданий различного функционального назначения, а также систем удаления бытового мусора
		Создание разветвленных сетей доступных санитайзеров и умывальных раковин
		Уменьшение пространственных масштабов и диверсификация объектов торговли, культурно-зрелищных помещений, рассчитанных на массовое пребывание людей
		Отказ от эксплуатации встроенно-пристроенных хостелов в многоквартирных домах

Окончание таблицы

1	2	3
Влияние характера застройки	Влияние конфигурации и этажности	Здания повышенной этажности с хорошей доступностью для личного транспорта оцениваются как эпидемиологически рискованный вариант, поскольку людские потоки объединяются у входов в здания. Малоэтажная жилая застройка обеспечивает высокую пешеходную доступность, но также неэффективна с эпидемиологической точки зрения, так как не позволяет создать полноценный комплекс обслуживания в пешеходной доступности. Среднеэтажная застройка, ориентированная на пешеходную доступность услуг, является наиболее выигрышным вариантом в условиях пандемии
		Создание «зон здоровья», где оптимизированы условия для отдыха и занятий физкультурой
	Влияние плотности населения	Высокая плотность населения – побудительный фактор пользования общественным транспортом (возникают устойчивые группы пользования, санитарно-эпидемиологическая угроза не выходит за пределы этих групп). Зоны низкой плотности населения представляют собой места расселения, где созданы наилучшие условия для самоизоляции. Наиболее пострадавшими от пандемии районами являются места со средней плотностью населения
Градостроительные решения	Объемно-планировочные решения	Возведение многофункциональных зданий, которые могут быть использованы в соответствии с меняющейся эпидемиологической обстановкой (для развертывания дополнительных мест размещения инфицированных, пунктов помощи, стоянок спецтранспорта и пр.)
		Подготовка условий для быстрого возведения временных зданий и сооружений (временных палат и госпиталей, складов медикаментов и больничного оборудования и пр.)
	Системы расселения	Приоритетное развитие полицентрических агломераций, отличающихся меньшей интенсивностью внутриагломерационных связей и размерами поселений. Основной подход – сбалансированные решения по реконструкции и развитию территорий на основе многофакторного анализа потенциала развития

Важным моментом формирования проблемного поля и методологии решения задач (обеспечения устойчивого функционирования систем расселения в условиях пандемии) является определение объекта и предмета исследования. Фиксируя в качестве объекта исследования *городскую систему расселения*, мы можем ее редуцировать к городу, ключевой чертой которого является не только размер, но и, главным образом, характер занятости населения (т.е. различные аспекты поведения людей). Предмет исследования – *совокупность ключевых и актуальных проблем противостояния эпидемиологической угрозе методами архитектурно-градостроительного проектирования.*

Таким образом, выбор научного метода (способа исследования) означает применение определенного инструментария для решения главной задачи, включая синхронно-диахронный подход, а также абстрагирование и конкретизацию в определении роли конструктивных и объемно-планировочных решений зданий, сооружений и застройки в целом, анализ и синтез теоретических и эмпирических данных различных исследований.

В связи со сложностью сопоставления проблем разного масштаба и актуальности целесообразно развести понятия «ключевая проблема» и «актуальная проблема» [7, с. 33]. В рассматриваемом контексте *ключевая проблема представляет собой развернутый (детализированный) вариант определенного направления научной и практической (проектно-конструкторской) деятельности.* В структурно-содержательном плане каждая из ключевых проблем (т.е. отправной пункт более широкого взгляда) содержит определенное количество *актуальных проблем* следующего уровня детализации исследования.

Типология ключевых и актуальных проблем обеспечения устойчивого функционирования территориальных систем расселения в условиях пандемии представляет собой объективно неполный и постоянно пополняемый/открытый список (см. таблицу). Понятно, что проблемы отличаются масштабом (ресурсов, необходимых для достижения поставленной цели), временем реализации и уровнем психологической готовности массового сознания [8; 9]. Некоторые проблемы не могут быть решены в обозримом будущем, но – как минимум – должны быть поставлены в повестку дня на перспективу. Например, доминирующие в России моноцентрические агломерации в действующих нормативных документах определяются как «точки роста», которые будут определять национальную систему расселения в обозримом будущем. Однако опыт прохождения пандемии COVID-19 свидетельствует, что полицентрические агломерации более целесообразны с точки зрения внутрисистемных связей и их меньшей интенсивности.

ВЫВОДЫ

1. Многомерное проблемное поле обеспечения устойчивости территориальных систем расселения может быть структурировано по различным измерениям:

а) масштаба проблемы, решаемой на уровне архитектурно-конструктивных и объемно-планировочных решений зданий и сооружений, городской застройки или территориальной системы расселения;

б) компаративного анализа необходимых материально-технических и финансовых ресурсов, а также трудоемкости, т.е. затрат времени на достижение желаемых результатов в сфере предотвращения эпидемиологической угрозы.

2. Практическими формами реализации структурно-преобразовательного потенциала архитектурно-градостроительных мер обеспечения устойчивости развития территориальных систем расселения в условиях пандемии могут выступать:

а) переустройство пространства социального бытия (преобразование архитектурно-ландшафтной среды в диапазоне от зданий/сооружений до системы расселения);

б) совершенствование моделей и каналов социального взаимодействия (соблюдение социальной дистанции, использование санитарных средств предотвращения контактов и пр.);

в) распространение в обществе представлений о «правильном» поведении, создание идеологической основы беспрепятственного осуществления мер противодействия эпидемиологической угрозе в настоящем и будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маслов Н.В. Градостроительная экология. М.: Высшая школа. 2002. 284 с.
2. Зеленов Л.А. Социология города. М.: ВЛАДОС. 2000. 192 с.
3. Штомпка П. Социология социальных изменений. М.: Аспект Пресс. 1996. 416 с.
4. Гроппиус В. Круг тотальной архитектуры. М.: Ad Marginem Press. 2017. 208 с.
5. Федоров В.В., Баркая Т.Р., Гавриленко А.В., Бровкин А.В. Влияние эпидемиологического фактора на градостроительное развитие крупных городов // *Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура*. 2020. № 3 (14). С. 55–60.
6. Федоров В.В., Левиков А.В., Ханыгин Д.А. Пандемический фактор обусловливания развития территориальных систем расселения // *Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура*. № 4 (15). 2020. С. 62–69.
7. Федоров В.В., Субботин С.Л., Баркая Т.Р., Скудалов П.О. Актуальные проблемы и методология строительной науки. М.: ИНФРА-М. 2020. 202 с.
8. Котельников Г.А., Поддубный Н.В. Современное российское общество: феноменология нестабильности. Синергетическая парадигма: Человек и общество в условиях нестабильности. М.: Прогресс-Традиция. 2003. 548 с.
9. Социальная психология в современном мире. М.: Аспект Пресс, 2002. 335 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ФЕДОРОВ Виктор Владимирович – доктор культурологии, профессор кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: *vvf322@yandex.ru*

ФЕДОРОВ Михаил Викторович – доцент кафедры менеджмента, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: *vvf322@yandex.ru*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Федоров В.В., Федоров М.В. Проблемы и методология обеспечения устойчивости городских систем расселения в условиях пандемии // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии. 2021. № 4 (12). С. 50–55.

SUSTAINABILITY ISSUES AND METHODOLOGY URBAN SETTLEMENT SYSTEMS IN THE CONTEXT OF A PANDEMIC

V.V. Fedorov, M.V. Fedorov
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. From the standpoint of system analysis, various aspects of the formation of the problem field (ensuring the stability of the functioning of territorial settlement systems) are considered. The features of the multi-level settlement systems of the Russian Federation are determined. The methodology of solving problems of various levels is discussed. It is shown that

in the analyzed situation, a specific scientific methodology prevails, dealing with technical rules, regulations, and methods of scientific substantiation of conceptual and design solutions. Along with the problems of reconstruction of the architectural and landscape environment, the problems of improving models and channels of social interaction, as well as the dissemination of ideas about "correct" behavior, creating an ideological basis for the unhindered implementation of measures to counter the epidemiological threat are considered.

Keywords: settlement system, stability of urbanized territories, epidemiological threat, methodology of problem field formation.

REFERENCES

1. Maslov N.V. Gradostroitel'naya ekologiya [Urban ecology]. Moscow: Vysshaya shkola. 2002. 284 p.
2. Zelenov L.A. Sociologiya goroda [Uhe Sociology of the city]. Moscow: VLADOS. 2000. 192 p.
3. Shtompka P. Sociologiya social'nyh izmenenij [The Sociology of change]. Moscow: Aspect Press. 1996. 416 p.
4. Groppius V. Krug total'noj arhitektury [The Circle of total architecture]. Moscow: Ad Marginem Press, 2017. 208 p.
5. Fedorov V.V., Barkim T.R., Gavrilenko A.V., Brovkin A.V. Influence of epidemiological factors on urban settlement systems. *Housing and communal infrastructure*. No. 3 (14). 2020, pp. 55–60. (In Russian).
6. Fedorov V.V., Levick A.V., Khanygin D.A. Pandemic factor conditioning the development of territorial systems of settlement. *Housing and municipal infrastructure*. No. 4 (15). 2020. P. 62–69. (In Russian).
7. Fedorov V.V., Subbotin S.L., Barkaya T.R., Skudalov P.O. Aktual'nye problemy i metodologiya stroitel'noj nauki [Actual problems and methodology of construction science]. Moscow: INFRA-M. 2020. 202 p.
8. Kotelnikov G.A., Poddubny N.In. Sovremennoe rossijskoe obshchestvo: fenomenologiya nestabil'nosti [Modern Russian society: the phenomenology of instability]. Synergetic paradigm: Man and society in conditions of instability. Moscow: Progress-Traditsiya. 2003. 548 p.
9. Social'naya psihologiya v sovremennom mire [Social psychology in the modern world]. Moscow: Aspekt Press. 2002. 335 p.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

FEDOROV Viktor Vladimirovich – Doctor of Cultural Sciences, Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *vvf322@yandex.ru*
FEDOROV Mikhail Viktorovich – Associate Professor of the Department of Management, Tver State Technical University, 22, embankment Af. Nikitin, Tver, 170026. E-mail: *vvf322@yandex.ru*

CITATION FOR AN ARTICLE

Fedorov V.V., Fedorov M.V. Sustainability issues and methodology urban settlement systems in the context of a pandemic // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2021. No. 4 (12), pp. 50–55.

УДК 624.046.3

УПРУГОПЛАСТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СТЕРЖНЯ ИЗ СТАЛИ 45 ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ НАГРУЖЕНИИ

С.В. Черемных
Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Черемных С.В., 2021

Аннотация. Решается задача бифуркации шарнирно подкрепленного стержня при простом комбинированном докритическом нагружении с учетом упругой и упруго-пластической стадии деформирования материала. Рассмотрено поведение прямолинейного стержня в некоторой упругопластической системе, подвергающейся действию внешних сил в плоскости $Э_1 - Э_3$ девиаторного пространства деформаций А.А. Ильюшина. Установлено, что потеря устойчивости стержня развивается в процессе роста нагрузки весьма медленно и на практике ее трудно заметить. Получены расчетные формулы для критической нагрузки. Показано, что в зависимости от условий работы стержня в конструкции критическая нагрузка может оказаться любой из интервала от касательно-модульного значения Энгессера до значения Эйлера, исключая само значение Эйлера, которое достигается только упругим стержнем.

Ключевые слова: стержень, комбинированное нагружение, бифуркация, прогиб, касательно-модульная теория, приведенно-модульная теория.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-4-56-65

ВВЕДЕНИЕ

В существующих теориях устойчивости за пределом упругости стержней, пластинок и оболочек последние рассматриваются изолированно от окружающих элементов конструкций, что не позволяет достаточно полно отразить их поведение в момент потери устойчивости. В настоящей работе используется предложенная А.А. Ильюшиным [1] новая постановка задач упругопластической устойчивости в применении к устойчивости стержней.

Известно, что в зависимости от истории процесса нагружения упругопластической системы ее окончательная деформация, соответствующая одной и той же внешней нагрузке, будет различной. Поэтому при исследовании задач неупругой устойчивости следует исходить из анализа различных процессов нагружения, приводящих к различным критическим нагрузкам и деформациям. В связи с этим возникает не только вопрос о той истории нагружения, которая приводит к минимальному значению критических нагрузок, но и не менее важный вопрос о выборе и осуществлении такой истории нагружения данной системы, которая дает для нее максимальное значение предела устойчивости и несущей способности [2, 3].

Бифуркацию по Эйлеру и Карману называют иногда бифуркацией состояния, так как она происходит при постоянном значении сжимающей нагрузки. Часто бифуркацию состояния противопоставляют бифуркации процесса нагружения и деформирования. Такое

противопоставление является искусственным, ибо любое состояние равновесиия может быть достигнуто только после осуществления некоторого процесса нагружения, историю которого неупругая система запоминает, в отличие от упругой системы [2, 4].

В работе рассмотрена устойчивость шарнирно опертых стержней и получены расчетные формулы для критической нагрузки [3]. Показано, что в зависимости от условий работы стержня в конструкции критическая нагрузка может оказаться любой из интервала от касательно-модульного значения Энгессера до значения Эйлера, исключая само значение Эйлера, которое достигается только упругим стержнем [5–8]. Послекритическое поведение стержней в конструкциях в работе не изучается.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пусть прямолинейный стержень сжат в некоторой конструкции силами, причем осевое напряжение σ превосходит предел упругости материала. Будем считать, что при потере устойчивости такого стержня передаваемая на него нагрузка P может как измениться на некоторую величину δP, так и остаться постоянной. Рассмотрим такие стержни, концы которых шарнирно соединены с остальной частью конструкции [3].

Рассматриваем процессы простого (пропорционального) нагружения в девиаторном пространстве напряжений А.А. Ильюшина [9–11] в соответствии с рис. 1.

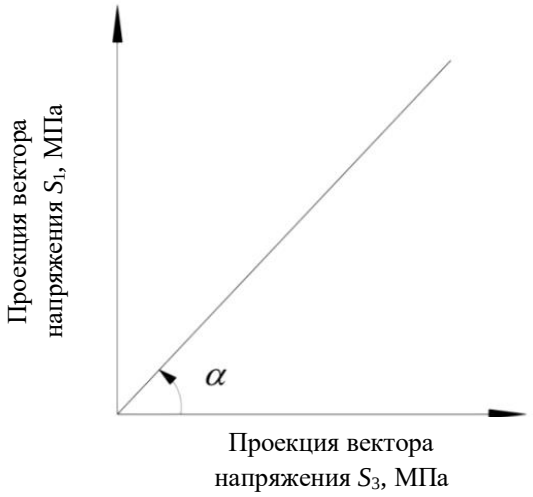


Рис. 1. Траектория нагружения

Принимаем [2]

$$\mathrm{tg}\alpha = S_1 / S_3, \tag{1}$$

где S_1, S_3 – компоненты вектора напряжений, принятые в соответствии с условием [2]:

$$\begin{gathered} S_1 = \sqrt{\frac{3}{2}} S_{11} = \sqrt{\frac{2}{3}} \sigma_{11}; S_3 = \sqrt{2}\sigma_{12}; \\ S_{11} = \sigma_{11} - \sigma_0 = \frac{2}{3}\sigma_{11}; \sigma_0 = \frac{1}{3}\sigma_{11}, \end{gathered} \tag{2}$$

где S_{11}; $S_{12} = \sigma_{12}$ – компоненты тензора-девиатора напряжений; σ_0 – среднее напряжение в точке тела.

Подставив в выражение (2) значения (1), имеем

$$\mathrm{tg}\alpha = \frac{\sqrt{2}\sigma_{11}}{\sqrt{3}\sqrt{2}\sigma_{12}} = \frac{1}{\sqrt{3}}\frac{\sigma_{11}}{\sigma_{12}} \ . \quad (3)$$

В тонкостенном круговом поперечном сечении оболочки напряжения примем:

$$\tau = \frac{M_к}{2\pi R^2 t} = \sigma_{12}; \sigma_{11} = \frac{P}{2\pi Rt}. \quad (4)$$

Получим уравнение

$$\mathrm{tg}\alpha = \frac{1}{\sqrt{3}}\frac{P2\pi R^2 t}{2\pi RtM_к} = \frac{PR}{\sqrt{3}M_к}. \quad (5)$$

В результате преобразований при $P = \sigma_{11} 2\pi Rt$, а также введя дополнительные безразмерные величины $\lambda' = l / R,$ решим квадратное уравнение

$$\frac{\lambda'^2}{E^2 \cdot 3tg^2\alpha} \cdot \sigma_{11}^2 + \frac{2 \cdot \lambda'^2}{E} \cdot \sigma_{11} - \pi^2 = 0. \quad (6)$$

Окончательно имеем [2]

$$\sigma_{11} = 3tg^2\alpha \cdot E \cdot \left[-1 \pm \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{3tg^2\alpha \cdot \lambda'^2}} \right]. \quad (7)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для нелинейно-упругих систем задача о бифуркации упругого стержня была впервые решена Энгессером на основе критерия Эйлера и получена так называемая касательно-модульная нагрузка [12, 13].

При решении задачи бифуркации стержня за пределом упругости по теориям Энгессера и Кармана в формулу (7) вместо модуля Юнга E необходимо подставить касательный модуль материала $E_к$ либо приведенный модуль $E_{пр}$ соответственно. При этом решение, в силу нелинейной зависимости критического напряжения от значений соответствующих модулей, не является однозначным. Поэтому расчет будем вести по следующему алгоритму [2].

В результате потери устойчивости центрально сжатого стержня в некоторой конструкции происходит перераспределение усилий между ее элементами.

Приведем уравнение (7) к квазилинейному виду

$$\sigma_{11} = a \cdot E_k(E_{пр}), \quad (8)$$

где

$$a = 3tg^2\alpha \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{3tg^2\alpha \cdot \lambda'^2}} \right]. \quad (9)$$

Зададимся значением угла α (см. рис. 1). При принятом α построим графики квазилинейной функции (8), дискретно варьируя значения гибкости λ' в выражении (8), до пересечения данных графиков с графиками зависимостей $\sigma_{кр}$ □ $E_к(E_{пр})$.

Для стержней после бифуркации при нагрузке наблюдается неединственность решения задачи, а также резкое возрастание прогибов, которое, как правило, приводит либо к разрушению стержней, либо к недопустимо большим их деформациям. У стержней после бифуркации отмечается резкое падение сжимающей нагрузки при одновременном росте перемещений. Стержни весьма чувствительны к начальным несовершенствам формы, поэтому при анализе их поведения основное значение имеет максимальная нагрузка, которую стержень выдерживает перед наступлением катастрофического выпучивания. Для определения же максимальной нагрузки необходимо решить нелинейную задачу о выпучивании с учетом начальных прогибов либо других начальных несовершенств [14–17].

Точки пересечения графиков позволяют определить значение критического напряжения, соответствующего принятой гибкости λ. В качестве примера на рис. 2, 3 проиллюстрирована процедура вычисления критических напряжений для различных углов α. Цифрами на рисунках обозначены: 1 – расчет по приведенно-модульной теории; 2 – расчет по касательно-модульной теории.

1. При $\alpha = 80^0$

$$\sigma_{11} = 3 \cdot 5,67^2 \cdot E_{к,пр} \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{3 \cdot 5,67^2} \cdot \frac{1}{\lambda'^2}} \right] = 96,446 \cdot E_{к,пр} \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{0,10233}{\lambda'^2}} \right].$$

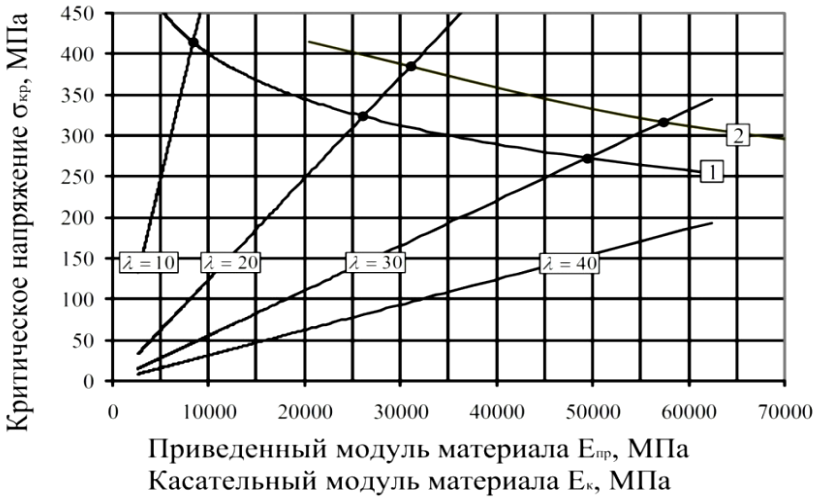


Рис. 2. Критическое напряжение при расчете стержней по теориям Энгессера и Кармана ($\alpha = 80^0$)

2. При $\alpha = 15^0$

$$\sigma_{11} = 3 \cdot 0,267^2 \cdot E_{к,пр} \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{3 \cdot 0,267^2} \cdot \frac{1}{\lambda'^2}} \right] = 0,215 \cdot E_{к,пр} \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{46,148}{\lambda'^2}} \right].$$

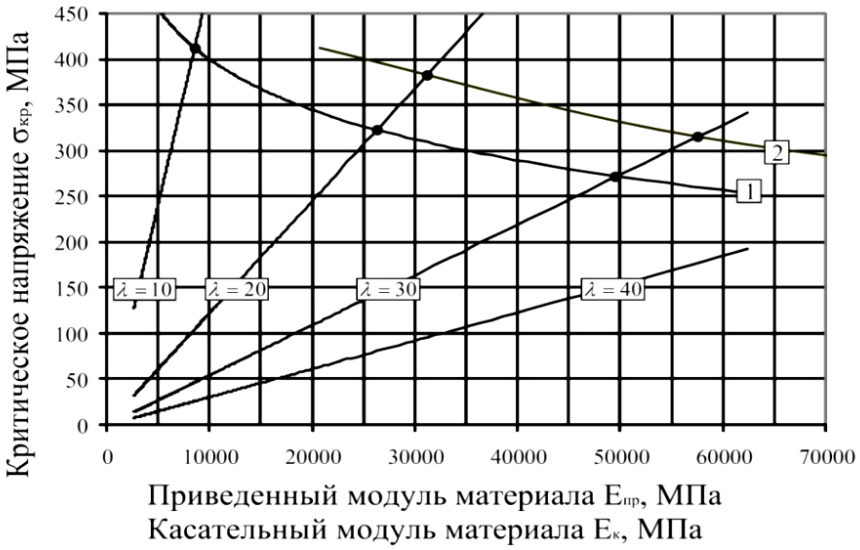


Рис. 3. Критическое напряжение при расчете стержней
по теориям Энгессера и Кармана ($\alpha = 15^0$)

Кроме того, проведены расчеты и построены графики зависимостей критических напряжений от значений приведенного и касательного модуля материала:

при $\alpha = 70^0$

$$\sigma_{11} = 3 \cdot 2,74^2 \cdot E_{к,пр} \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{3 \cdot 2,74^2} \cdot \frac{1}{\lambda'^2}} \right] = 22,64 \cdot E_{к,пр} \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{0,438}{\lambda'^2}} \right];$$

при $\alpha = 60^0$

$$\sigma_{11} = 3 \cdot 1,73^2 \cdot E_{к,пр} \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{3 \cdot 1,73^2} \cdot \frac{1}{\lambda'^2}} \right] = 8,97 \cdot E_{к,пр} \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{1,099}{\lambda'^2}} \right];$$

при $\alpha = 30^0$

$$\sigma_{11} = 3 \cdot 0,577^2 \cdot E_{к,пр} \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{3 \cdot 0,577^2} \cdot \frac{1}{\lambda'^2}} \right] = E_{к,пр} \cdot \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{9,88159}{\lambda'^2}} \right].$$

В результате получим зависимость критического напряжения от гибкости стержня для приведенно-модульной и касательно-модульной теории. В упругой стадии работы материала, при $\sigma < 250$ МПа и $E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа, решение строим по формуле (9).

Результаты расчетов критических напряжений в зависимости от гибкости стержня представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Расчет по касательно-модульной теории

α, град	Критическое напряжение σ, МПа, при гибкости стержня λ		
	$\lambda = 10$	$\lambda = 20$	$\lambda = 30$
15	407,9	320,8	271,3
30	411,8	322,1	271,5
60	413,5	323,2	272,0
70	414,6	323,9	272,6
80	414,8	324,0	272,9
85	414,9	324,1	273

Таблица 2

Расчет по приведенно-модульной теории

α, град	Критическое напряжение σ, МПа, при гибкости стержня λ			
	$\lambda = 10$	$\lambda = 20$	$\lambda = 30$	$\lambda = 40$
15	462,2	381,0	314,9	269,0
30	463,0	381,8	315,2	269,5
60	463,9	383,2	315,6	270,2
70	464,5	384,0	315,9	270,5
80	464,9	384,5	316,1	270,8
85	467,1	384,7	316,2	270,9

На рис. 4 приведен расчетный график зависимости критического напряжения от гибкости стержня для процесса комбинированного нагружения при $\alpha = 80^0$.

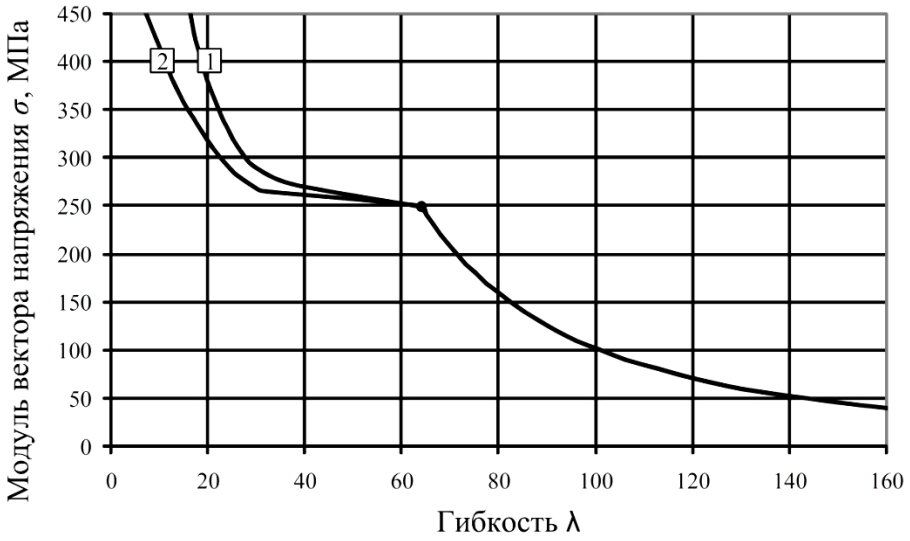


Рис. 4. Зависимость критического напряжения от гибкости стержня ($\alpha = 80^0$)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных решений можно сделать вывод, что для стали 45 значения угла α не играют существенной роли при итоговом определении критических напряжений. Следует отметить, что при уменьшении гибкости разница между напряжениями, вычисленными по касательно-модульной теории и приведенно-модульной теории, увеличивается. Так, при $\alpha = 15^0$ и $\lambda = 30$ значения напряжений по касательно-модульной теории $\sigma = 271{,}3$ МПа, а по приведенно-модульной теории $\sigma = 314{,}9$ МПа. При $\lambda = 20$ значения напряжений по касательно-модульной теории $\sigma = 320{,}8$ МПа, по приведенно-модульной теории $\sigma = 381{,}0$ МПа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильюшин А.А. Механика сплошной среды. М.: МГУ, 1990. 310 с.
2. Зубчанинов В.Г. Устойчивость и пластичность. Т. 1. Устойчивость. М.: Физматлит. 2007. 448 с.
3. Устойчивость упругопластических оболочек при сложных процессах комбинированного нагружения: монография / С.В. Черемных [и др.]. Тверь: ТвГТУ. 2021. 160 с.
4. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем. М.: Наука. 1967. 984 с.
5. Leung A.Y.T., Rajendran S. Global bifurcation of a three-hinged rod subject to a kind of follower force // *Computers & Structures*. 1996. V. 58. № 3, pp. 513–534.
6. Wolfe P. Bifurcation theory of an elastic conducting rod in a magnetic field // *Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics*. 1988. V. 41. № 2. P. 265.
7. Wang Ch.Yi. On the bifurcation solutions of an axially rotating rod // *Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics*. 1982. V. 35. № 3. P. 391.
8. Liu Y.Z., Zu J.W. Stability and bifurcation of helical equilibrium of a thin elastic rod // *Acta Mechanica*. 2004. V. 167. № 1-2, pp. 29–39. DOI: 10.1007/s00707-003-0060-3

9. Охлопков Н.Л., Черемных С.В. Устойчивость тонкостенных упругопластических конструкций при реализации процессов сложного комбинированного деформирования // *Известия МГТУ «МАМИ». Естественные науки.* 2013. № 2 (24). Т. 4. С. 109–114.
10. Охлопков Н.Л., Черемных С.В. О предельных поверхностях критических напряжений и деформаций материала в решении задачи устойчивости круговой цилиндрической оболочки при простых процессах // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. Орел: Госуниверситет УНПК. 2012. № 5 (295). С. 30–36.
11. Cheremnykh S., Zubchaninov V., Gultyaev V. Deformation of Cylindrical Shells of Steel 45 under Complex Loading. *XXII Int. Scientific Conf. «Construction the Formation of Living Environment» (FORM-2019)*. V. 97, pp. 1–8. DOI: 10.1051/e3sconf/20199704025
12. Glavardanov V.B., Maretic R.B. Secondary bifurcation of a compressible rod with spring-supports // *European Journal of Mechanics – A/Solids*. 2014. V. 46, pp. 72–83. DOI: 10.1016/j.euromechsol.2014.02.002
13. Glavardanov V.B., Maretic R.B., Zigic M.M., Grahovac N.M. Secondary bifurcation of a shearable rod with nonlinear spring supports // *European Journal of Mechanics – A/Solids*. 2017. V. 66, pp. 433–445. DOI: 10.1016/j.euromechsol.2017.08.007
14. Eremin A.V., Zhukov V.V., Kudinov V.A., Kudinov I.V. Resonant and bifurcation oscillations of the rod with regard to the resistance forces and relaxation properties of the medium // *Mechanics of Solids*. 2018. V. 53. № 5, pp. 584–590. DOI: 10.3103/S0025654418080125
15. Шейдаков Д.Н., Михайлова И.Б. Бифуркация равновесия микрополярного стержня из функционально-градиентного материала в условиях комбинированного нагружения // *Вестник Южного научного центра РАН*. 2014. Т. 10. № 3. С. 3–9.
16. Еремин А.В., Жуков В.В., Кудинов И.В., Кудинов В.А. Резонансные и бифуркационные колебания стержня с учетом сил сопротивления и релаксационных свойств среды // *Известия Российской академии наук. Механика твердого тела*. 2018. № 5. С. 124–132.
17. Sharafutdinova G.G. An operator method for studying the euler problem on types of the loss of stability for a pivoted rod under buckling load // *Russian Mathematics*. 2010. V. 54. № 11, pp. 77–82. DOI: 10.3103/S1066369X10110083

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

ЧЕРЕМНЫХ Степан Валерьевич – старший преподаватель кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: *cheremnykh_s.v@mail.ru*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Черемных С.В. Упругопластическая устойчивость стержня из стали 45 при комбинированном нагружении // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2021. № 4 (12). С. 56–65.

ELASTIC-PLASTIC STABILITY OF THE STEEL ROD 45 UNDER COMBINED LOADING

S.V. Cheremnykh
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The problem of bifurcation of a pivotally supported rod under simple combined subcritical loading is solved, taking into account the elastic and elastic-plastic stages of material deformation. Let us consider the behavior of a rectilinear rod in a certain elastic-plastic system exposed to external forces in the plane of the deviator space of deformations of A.A. Ilyushin $Э_1 - Э_3$. The obtained graphs show that the loss of stability of the rod develops very slowly during the growth of the load and in practice it is difficult to notice it. Calculated formulas for the critical load are obtained. It is shown that, depending on the operating conditions of the rod in the structure, the critical load can be any of the range from the relative-modular Engesser value to the Euler value, excluding the Euler value itself, which is achieved only by an elastic rod.

Keywords: rod, combined loading, bifurcation, deflection, tangential-modular theory, reduced-modular theory.

REFERENCES

1. Ilyushin A.A. Mekhanika sploshnoj sredy [Continuum Mechanics]. Moscow: MSU. 1990. 310 p.
2. Zubchaninov V.G. Ustojchivost' i plastichnost' [Stability and ductility]. Vol. 1. Stability. Tver: Fizmatlit. 2007. 448 p.
3. Cheremnykh SV., Sokolov S.A., Gultyaev V.I., Alekseev A.A. Ustojchivost' uprugoplasticheskih obolochek pri slozhnyh processah kombinirovannogo nagruzheniya [Stability of elastic-plastic shells under complex combined loading processes]. Tver: TvGTU. 2021. 160 p.
4. Volmir A.S. Ustojchivost' deformiruemyh sistem [Stability of deformable systems]. Moscow: Nauka. 1967. 984 p.
5. Leung A.Y.T., Rajendran S. Global bifurcation of a three-hinged rod subject to a kind of follower force. *Computers & Structures*. 1996. V. 58. No. 3, pp. 513–534. (In Russian).
6. Wolfe P. Bifurcation theory of an elastic conducting rod in a magnetic field. *Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics*. 1988. V. 41. No. 2, pp. 265. (In Russian).
7. Wang Ch.Yi. On the bifurcation solutions of an axially rotating rod. *Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics*. 1982. V. 35. No. 3, pp. 391. (In Russian).
8. Liu Y.Z., Zu J.W. Stability and bifurcation of helical equilibrium of a thin elastic rod. *Acta Mechanica*. 2004. V. 167. No. 1–2, pp. 29–39. DOI: 10.1007/s00707-003-0060-3
9. Ohlopkov N.L., Cheremnykh S.V. Stability of thin-walled elastic-plastic structures in the implementation of complex combined deformation processes. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. *Estestvennie nauki*. 2013. No. 2 (24). Vol. 4, pp. 109–114. (In Russian).
10. Ohlopkov N.L., Cheremnykh S.V. On the limiting surfaces of critical stresses and deformations of a material in solving the problem of stability of a circular cylindrical shell in simple processes. *Fundamentalnie i prikladnie problemi tehniki i tehnologii*. Orel: Gosuniversitet UNPK. 2012. No. 5 (295), pp. 30–36. (In Russian).

11. Cheremnykh S., Zubchaninov V., Gultyaev V. Deformation of cylindrical shells of steel 45 under complex loading. *XXII Int. Scientific Conf. «Construction the Formation of Living Environment» (FORM-2019)*. V. 97, pp. 1–8. DOI: 10.1051/e3sconf/20199704025 (In Russian).
12. Glavardanov V.B., Maretic R.B. Secondary bifurcation of a compressible rod with spring-supports. *European Journal of Mechanics – A/Solids*. 2014. V. 46, pp. 72–83. DOI: 10.1016/j.euromechsol.2014.02.002
13. Glavardanov V.B., Maretic R.B., Zigic M.M., Grahovac N.M. Secondary bifurcation of a shearable rod with nonlinear spring supports. *European Journal of Mechanics – A/Solids*. 2017. V. 66, pp. 433–445. DOI: 10.1016/j.euromechsol.2017.08.007
14. Eremin A.V., Zhukov V.V., Kudinov V.A., Kudinov I.V. Resonant and bifurcation oscillations of the rod with regard to the resistance forces and relaxation properties of the medium. *Mechanics of Solids*. 2018. V. 53. No. 5, pp. 584–590. DOI: 10.3103/S0025654418080125
15. Shejdakov D.N., Mihajlova I.B. Bifurcation of the equilibrium of a micropolar rod made of a functional gradient material under combined loading conditions. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo centra RAN*. 2014. V. 10. No. 3, pp. 3–9. (In Russian).
16. Eremin A.V., Zhukov V.V., Kudinov I.V., Kudinov V.A. Resonant and bifurcation vibrations of the rod taking into account the resistance forces and relaxation properties of the medium. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Mekhanika tverdogo tela*. 2018. No. 5, pp. 124–132. (In Russian).
17. Sharafutdinova G.G. An operator method for studying the euler problem on types of the loss of stability for a pivoted rod under buckling load. *Russian Mathematics*. 2010. V. 54. No. 11, pp. 77–82. DOI: 10.3103/S1066369X10110083

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

CHEREMNYKH Stepan Valerievich – Senior Lecturer of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *cheremnykh_s.v@mail.ru*

CITATION FOR AN ARTICLE

Cheremnykh S.V. Elastic-plastic stability of the steel rod 45 under combined loading // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2021. No. 4 (12), pp. 56–65.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 674.093

ЧТО ПРОИСХОДИТ С ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬЮ ОСАДКОВ, ВЫПАДАЮЩИХ В ТВЕРИ, ПРИ УДЛИНЕНИИ РЯДА НАБЛЮДЕНИЙ

Ф.В. Качановский
Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Качановский Ф.В., 2021

Аннотация. Проведен статистический анализ параметров удельной электропроводности атмосферных осадков, выпавших в Твери в 2016–2020 гг., и связей электропроводности с кислотностью и количеством осадков, а также с температурой воздуха при удлинении ряда наблюдений на один год. Построены однофакторные и многофакторные регрессионные модели связей электропроводности с метеофакторами удлинившегося ряда.

Ключевые слова: удельная электропроводность, кислотность, атмосферные осадки, температура воздуха, модель, корреляция, регрессия, факторы, тренд, сезонная компонента, показатель кислотности *pH*.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-4-66-74

Электропроводность атмосферных осадков существенно определяет состояние природной среды и в значительной мере обусловлена антропогенным воздействием на среду. Исследование этого фактора представляет как научный, так и практический интерес и давно находится в поле внимания специалистов разных профилей [1–6].

Наблюдения за удельной электропроводностью выпадающих в Твери осадков (обозначим ее *cw*) проводятся лабораторией мониторинга окружающей среды Тверского центра по гидрометеорологии уже начиная с 2016 г. В течение 2016–2020 гг. было произведено 640 измерений (т.е. около 11 измерений в месяц). Результаты срочных измерений *cw* показаны на рис. 1. С 1990 г. лаборатория мониторинга проводит также наблюдения за кислотностью осадков (показатель кислотности обозначается далее как *pH*). Срочные измерения обеих величин (электропроводности и кислотности) производятся одновременно, интервалы между измерениями изменяются от одних суток до двух декад. Проводятся также наблюдения за температурой воздуха, осадками и другими метеофакторами.

Удельная электропроводность осадков *cw* измеряется в мкСм/см (микросименсы на сантиметр), показатель кислотности *pH* – безразмерная величина.

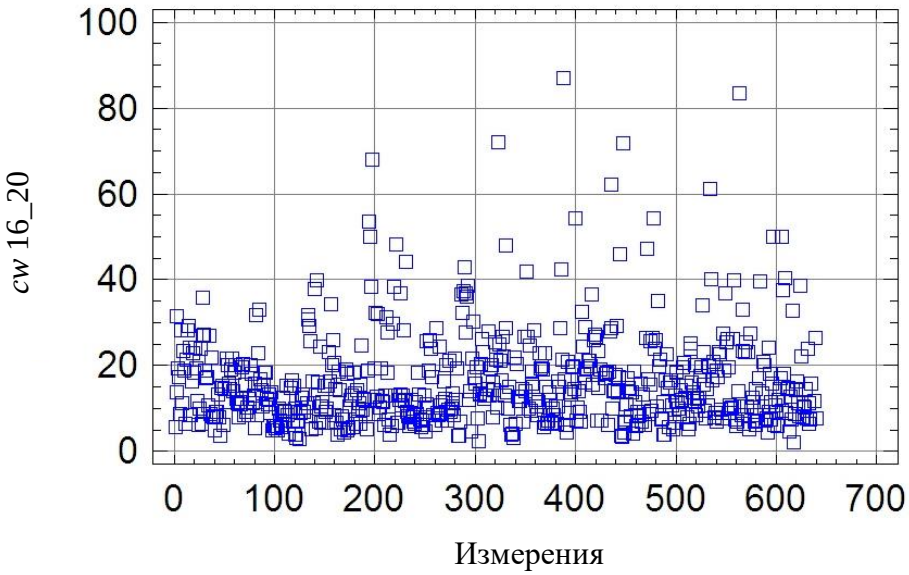


Рис. 1. Результаты измерений электропроводности *cw* за 2016–2020 гг.

Автором настоящей публикации ежегодно проводится статистический анализ временных последовательностей срочных значений удельной электропроводности *cw* и показателя кислотности *pH*, а также последовательностей их среднемесячных значений *amcw* и *ampH* [3–5]. В статье изложены результаты исследования связей удельной электропроводности осадков с их кислотностью и количеством, а также с температурой воздуха.

В работе [5] нами был подробно (применительно к 4-летнему ряду наблюдений, с 2016 по 2020 гг.) обсужден вопрос о выборе модели тренда временного ряда *cw* и, соответственно, модели тренда ряда *amcw*. Из множества регрессионных моделей *amcw* были взяты для сопоставления три модели простой регрессии: линейная, экспоненциальная и логарифмическая. Сопоставление показало, что для коротких (4-летних) рядов вполне подходящей оказывается линейная модель тренда, которой соответствует коэффициент корреляции 0,22466. Уравнение регрессии имеет вид

$$amcw = 14{,}2591 + 0{,}0970909 \cdot n, \quad (1)$$

где n – номер месяца в ряду наблюдений.

Удлинение ряда *amcw* на один год привело к изменению параметров линейной модели (рис. 2): коэффициент корреляции уменьшился до значения 0,150329, увеличились значения *amcw* в начале ряда, вдвое снизился темп роста значений *amcw*. Эти изменения качественно характеризуют поведение электропроводности осадков в течение 5-летнего периода наблюдений. Уравнение 5-летнего линейного тренда имеет вид

$$amcw = 15{,}1585 + 0{,}0483038 \cdot n. \quad (2)$$

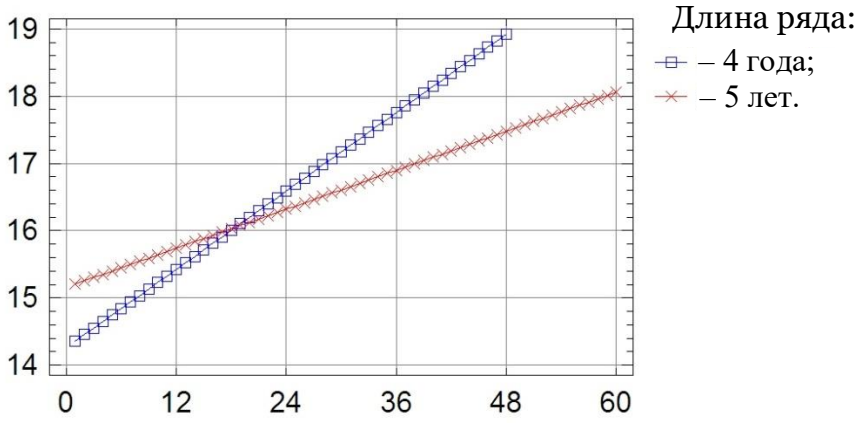


Рис. 2. Линейные тренды *amcw* для рядов длиной в 4 года (2016–2019 гг.) и 5 лет (2016–2020 гг.)

Линейный тренд (2) сопоставлен с квадратическим (рис. 3), уравнение которого имеет вид

$$amcw = 13{,}3685 + 0{,}2213523 \cdot n - 0{,}00283966 \cdot n^2. \quad (3)$$

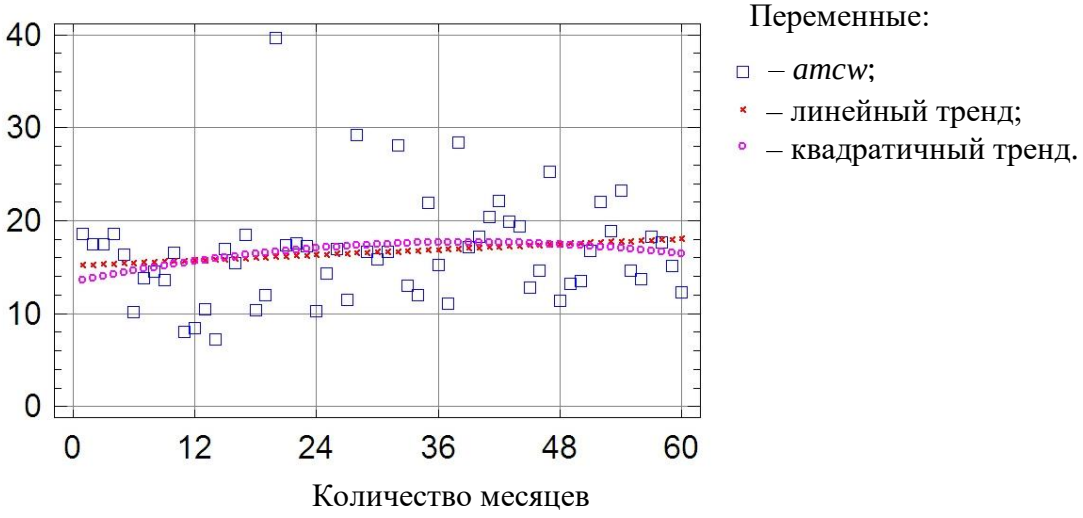


Рис. 3. 5-летний ряд *amcw* и его тренды (2016–2020 гг.)

Линейный и квадратический тренды мало отличаются друг от друга, однако второй из них указывает на слабо выраженный максимум *amcw*, приходящийся на март 2019 г., и не опровергает вывода из анализа линейного тренда о существовании медленного роста средних значений ряда электропроводности с течением времени.

Связь между среднемесячными значениями электропроводности *amcw* и показателя кислотности *ampH* для 4-летнего ряда описывается линейной регрессионной моделью [4]

$$amcw = -10{,}0444 + 4{,}7351 \cdot ampH. \quad (4)$$

Уравнение модели для 5-летнего ряда имеет вид

$$amcw = -6{,}64687 + 4{,}14616 \cdot ampH. \quad (5)$$

Линии регрессии для обоих рядов показаны на рис. 4. Коэффициент корреляции для 4-летнего ряда *amcw* составляет 0,272486, а для 5-летнего он несколько меньше – 0,246955.

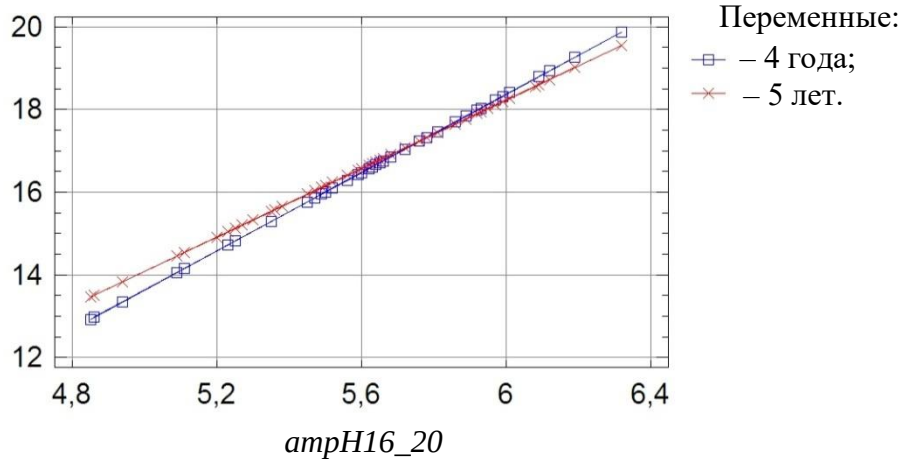


Рис. 4. Линии регрессии *amcw-ampH* рядов длиной в 4 года (2016–2019 гг.) и 5 лет (2016–2020 гг.)

Линейная связь между срочными значениями электропроводности *cw* и показателя *pH* характеризуется уравнениями регрессии вида:

для 4-летнего ряда

$$am = -5{,}39213 + 3{,}82533 \cdot pH; \quad (6)$$

для 5-летнего ряда

$$am = -5{,}70818 + 3{,}905 \cdot pH. \quad (7)$$

Коэффициент корреляции для 4-летнего ряда *cw* составляет 0,20234, а для 5-летнего – 0,198448. Корреляция между среднемесячными значениями сильнее, чем между срочными, что является закономерным результатом осреднения значений электропроводности и показателя кислотности при переходе от срочных значений к среднемесячным и не является отражением свойств исследуемых величин.

Удлинение ряда наблюдений на год привело к уменьшению значений коэффициентов корреляции как срочных, так и среднемесячных значений электропроводности и показателя кислотности.

Положительность связи между электропроводностью и показателем кислотности позволяет предположить, что сложившейся за последние 20 с лишним лет тенденции к повышению кислотности атмосферных осадков соответствует постепенное снижение их электропроводности в этот период.

Влияние температуры воздуха на электропроводность осадков для 4-летнего ряда [4] оценивалось по той же методике, что и связь электропроводности с кислотностью осадков. Линейная регрессия среднемесячных значений электропроводности *amcw* и среднемесячных температур *amt* описывается уравнениями вида:

для ряда 2016–2019 гг.

$$amcw = 15{,}5888 + 0{,}176449 \cdot amt; \quad (8)$$

для ряда 2016–2020 гг.

$$amcw = 15{,}544 + 0{,}176707 \cdot amt. \quad (9)$$

Сравнение уравнений (8) и (9) показывает (и рис. 5), что при удлинении ряда на один год параметры модели остались прежними. Коэффициенты корреляции сравниваемых рядов равны 0,256527 и 0,265817 соответственно, т.е. весьма близки друг другу. Это означает, что линейная модель связи *amcw* и *amt* адекватна реальному временному процессу. Связь между срочными значениями электропроводности *cw* и температурами воздуха *t* характеризуется коэффициентом корреляции 0,19183 для 4-летнего ряда и для 5-летнего 0,192743 соответственно. Значения эти заметно меньше, чем для *amcw* и *amt*, но несущественно отличаются друг от друга. Уравнения корреляционных линейных моделей для срочных значений *cw* имеют вид:

для 4-летнего ряда

$$cw = 14{,}4524 + 0{,}249723 \cdot t; \quad (10)$$

для 5-летнего ряда

$$cw = 14{,}4018 + 0{,}259573 \cdot t. \quad (11)$$

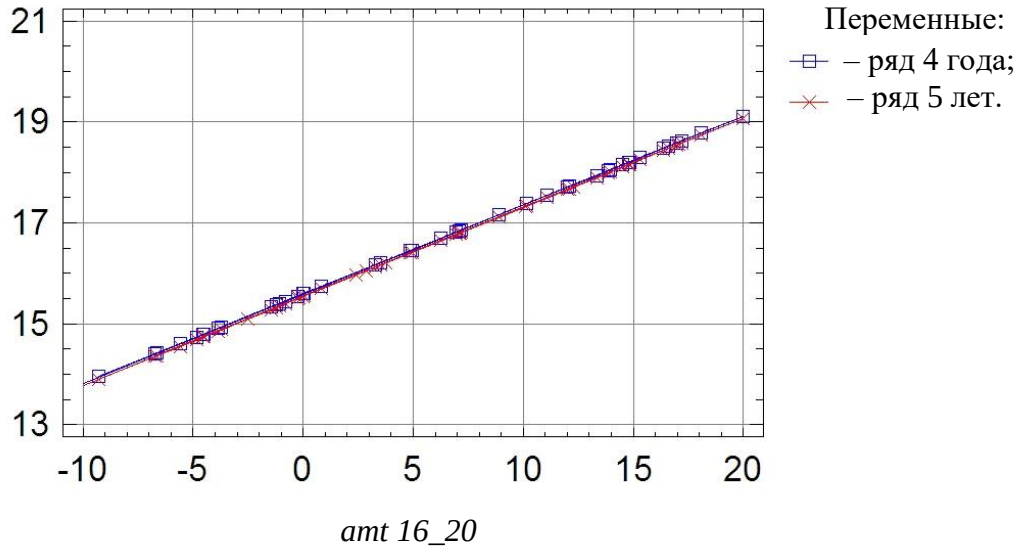


Рис. 5. Связь *amcw* и среднемесячных температур воздуха *amt* для рядов 4 года (2016–2019 гг.) и 5 лет (2016–2020 гг.)

В статье [5] для 4-летнего ряда наблюдений была установлена относительно слабая зависимость удельной электропроводности *cw* от суточного количества выпадающих

осадков *pre* (мм). Эта зависимость характеризуется отрицательным коэффициентом корреляции (–0,210906) и уравнением связи

$$cw = 18{,}2157 - 0{,}429436 \cdot pre. \quad (12)$$

Для 5-летнего ряда наблюдений отрицательная (и почти так же относительно слабая) зависимость удельной электропроводности *cw* от суточного количества осадков *pre* характеризуется коэффициентом корреляции –0,229997 и уравнением связи

$$cw = 18{,}4397 - 0{,}463309 \cdot pre. \quad (13)$$

Близость значений параметров связи *cw* и *pre* у рядов разной продолжительности свидетельствует об устойчивости этой связи.

Оценка совокупного влияния на удельную электропроводность кислотности осадков и температуры воздуха была сделана в статье [5] для 4-летнего ряда построением двухфакторного уравнения регрессии вида

$$cw = -2{,}91824 + 3{,}15328 \cdot pH + 0{,}199623 \cdot t. \quad (14)$$

Для 5-летнего ряда уравнение регрессии приняло вид

$$cw = -3{,}9433 + 3{,}32968 \cdot pH + 0{,}218769 \cdot t. \quad (15)$$

Значения коэффициентов перед переменными в уравнениях (14) и (15) мало отличаются друг от друга, что указывает на устойчивость связи, а их соотношение свидетельствует о сохранении доли вклада этих факторов в конечный результат при удлинении ряда наблюдений. При этом влияние на электропроводность показателя кислотности *pH* в полтора раза сильнее влияния количества осадков *pre*.

Рассмотрим трехфакторную связь удельной электропроводности *cw* с показателем кислотности *pH*, среднесуточной температурой воздуха *t* и суточным количеством выпадающих осадков *pre*. Уравнение регрессии для 4-летнего ряда имеет в этом случае вид [4]

$$cw = 5{,}15888 + 2{,}0501 \cdot pH + 0{,}288872 \cdot t - 0{,}492704 \cdot pre, \quad (16)$$

а для 5-летнего ряда

$$cw = 5{,}58455 + 1{,}93833 \cdot pH + 0{,}32845 \cdot t - 0{,}546285 \cdot pre. \quad (17)$$

Из сопоставления уравнений (16) и (17) видно, что при удлинении ряда наблюдений на один год роль показателя кислотности *pH* незначительно уменьшилась, а роли температуры воздуха *t* и осадков *pre* заметно усилились.

Для сравнения внутригодовой динамики удельной электропроводности осадков *amcw* 4-летнего и 5-летнего рядов использованы сезонные компоненты (месячные индексы) временных рядов этих факторов [8]. Период сезонных колебаний *amcw* принят равным числу месяцев в году, т.е. 12. Оценкой сезонной компоненты служит среднее $\hat{s}_i$ отклонений значений *amcw* от тренда $\widehat{tr}_i$, т.е. положено, что для среднемесячной электропроводности

$$\hat{s}_i = \frac{1}{m+1} \cdot \sum_{l=0}^{m} \left(amcw_{i+lp} - \widehat{tr}_{i+lp} \right) \text{ для } i = 1, \ldots, p, \quad (18)$$

где $m + 1 = 4$ и $m + 1 = 5$ – число (годовых) периодов в 4- и 5-летнем ряду наблюдений соответственно. Графики внуригодовой динамики *amcw* показаны на рис. 6. Общий характер внутригодового поведения удельной электропроводности *amcw* при удлинении

ряда наблюдений сохранился. Локальные минимумы и максимумы обоих рядов наступают в те же месяцы года. Глобальный максимум (несколько меньший у 5-летнего ряда) приходится на июль, минимальные значения индексов соответствуют зимним месяцам, что согласовывается с внутригодовым ходом температур воздуха.

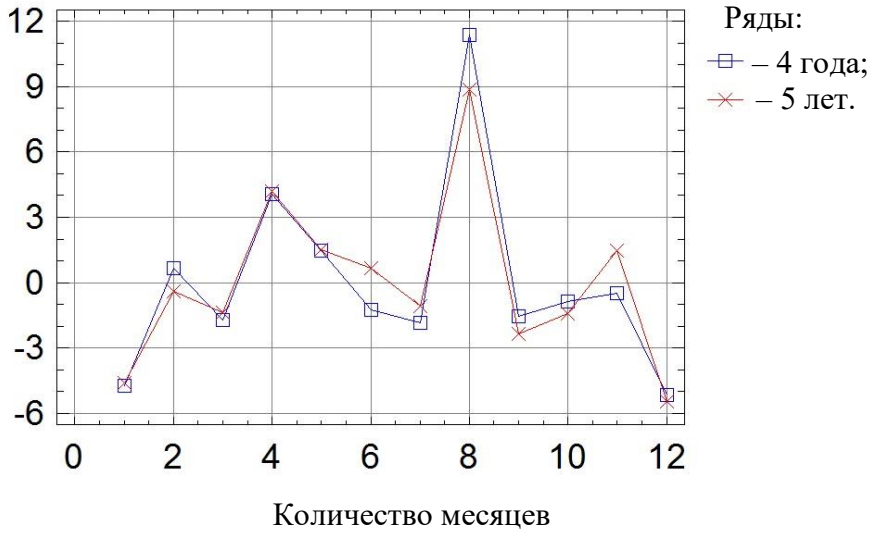


Рис. 6. Годовой ход сезонных компонент (месячных индексов) рядов *amcw* длиной 4 года (2016–2019) и 5 лет (2016–2020)

ВЫВОДЫ

1. Установлены изменения корреляционных связей удельной электропроводности осадков, выпадающих в Твери, с показателем кислотности *pH*, температурой воздуха и количеством выпадающих осадков при удлинении ряда наблюдений на один год.

2. Построены регрессионные одно-, двух- и трехфакторные модели связей для удлиненного (5-летнего) ряда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Качество воды в Центральной Азии: База знаний: Общие и суммарные показатели качества вод: Электропроводность. URL: http://www.cawaterinfo.net/water_quality_in_ca/hydrochem1.htm (дата обращения: 14.04.2018).

2. Янченко Н.И. Особенности изменения величины *pH* и электропроводности снежного покрова в Братске // *Известия Томского политехнического университета. Химия и химические технологии.* 2014. Т. 325. № 3. С. 23.

3. Качановский Ф.В. Электропроводность осадков, выпадающих в Твери // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство, электротехника и химические технологии»*. 2019. № 3 (3). С. 65–71.

4. Качановский Ф.В. Связь электропроводности осадков, выпадающих в Твери, с метеофакторами // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство, электротехника и химические технологии»*. 2020. № 3 (7). С. 69–76.

5. Качановский Ф.В. Удельная электропроводность осадков, выпадающих в Твери // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство, электротехника и химические технологии».* 2020. № 4 (8). С. 89–97.
6. Голицын А.Н. Инженерная геоэкология. М.: Оникс. 2007. 202 с.
7. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа. 1999. 479 с.
8. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Статистический анализ данных на компьютере. М.: ИНФРА-М. 1998. 528 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

КАЧАНОВСКИЙ Феликс Вячеславович – доцент кафедры гидравлики, теплотехники и гидропривода, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: felix.kachanovscky@yandex.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Качановский Ф.В. Что происходит с электропроводностью осадков, выпадающих в Твери, при удлинении ряда наблюдений // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2021. № 4 (12). С. 66–74.

WHAT HAPPENS OF A LENGTHENING OF TIME SERIES FOR ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF THE PRECIPITATION IN TVER

F.V. Kachanovsky
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. A statistical analysis of the parameters of the specific electrical conductivity of atmospheric precipitation that fell in Tver in 2016–2020 and the relationship of electrical conductivity with acidity and precipitation amount, as well as with air temperature has been carried out with an extension of the series of observations by one year. One-factor and multifactor regression models of relationships between electric conductivity and meteorological factors of the lengthened series were constructed.

Keywords: specific conductivity, acidity, precipitation, air temperature, model, correlation, regression, factors, trend, seasonal component, pH acidity index.

REFERENCES

1. Water quality in Central Asia: Knowledge base: General and summary indicators of water quality: Electrical conductivity. URL: http://www.ca water info.net/water_quality_in_ ca/hydrochem1.htm (date of access: 14.04.2018). (In Russian).
2. Yanchenko N.I. Features of the change in the pH and electrical conductivity of the snow cover in Bratsk. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Himiya i himicheskie tekhnologii.* 2014. Vol. 325. No. 323. (In Russian). P. 23.
3. Kachanovsky F.V. Electrical conductivity of the precipitation in Tver. *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2019. No. 3 (3), pp. 65–71. (In Russian).

4. Kachanovsky F.V. Connection of electrical conductivity of precipitation falling in Tver with weather factors. *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2020. No. 3 (7), pp. 69–76. (In Russian).
5. Kachanovsky F.V. Electrical specific conductivity of the precipitation in Tver. *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2020. No. 4 (8), pp. 89–97. (In Russian).
6. Golicyn A.N. Inzhenernaya geoekologiya [Engineering geoecology]. Moscow: Oniks. 2007. 202 p.
7. Gmurman V.E. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika [Probability theory and mathematical statistics]. Moscow: Vysshaya shkola. 1999. 479 p.
8. Tyurin Yu.N., Makarov A.A. Statisticheskij analiz dannyh na komp'yutere [Statistical analysis of data on a computer]. Moscow: INFRA-M. 1998. 528 p.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

KACHANOVSKY Felix Vjacheslavovich – Associate Professor of the Department of Hydraulics, Heat Engineering and Hydraulic Drive, Tver State Technical University, 22, embankment Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *felix.kachanovscky@yandex.ru*

CITATION FOR AN ARTICLE

Kachanovsky F.V. What happens of a lengthening of time series for electrical conductivity of the precipitation in Tver // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2021. No. 4 (12), pp. 66–74.

УДК 621.3.019:622:519.2

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ РЕМОНТНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С ДИАГНОСТИКОЙ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Г.С. Кузьмин
Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Кузьмин Г.С., 2021

Аннотация. В статье представлены вероятностная экономико-математическая модель и целевая функция для оптимизации периодичностей технического обслуживания электродвигателей с учетом эксплуатационных профилактических испытаний электрической изоляции и полным аварийным ремонтом при отказе.

Ключевые слова: электродвигатель, ремонт, профилактика, обслуживание, функция распределения, надежность, наработка на отказ, электрическая изоляция, целевая функция, вероятностная модель.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-4-74-79

ВВЕДЕНИЕ

Повышение требований к электрооборудованию (ЭО) вызывает необходимость анализа связи между математическими методами расчета надежности и физической природой отказов. Так, для решения экономико-математических задач технического обслуживания (ТО) ЭО необходимо обоснованно выбрать функцию распределения уровней надежности изоляции, обусловленную реальными физическими процессами ее разрушения. Поскольку функция распределения представляет собой некоторую зависимость распределения числа отказов от времени (наработки, срока службы), то для ее выбора необходимо воспользоваться временными характеристиками изменения диэлектрических свойств изоляции в процессе эксплуатации.

Для того чтобы ЭО было работоспособно, сопротивление изоляции не должно быть ниже установленного критического уровня. В противном случае либо происходит пробой изоляции, либо начинаются сбои в работе ЭО, что квалифицируется как отказ. Поэтому время безотказной работы в основном определяется моментом, когда сопротивление изоляции становится ниже критического уровня.

Обычно процесс постоянного ухудшения свойств изоляции связывают с ее тепловым старением, возникающим при перегрузках ЭО. При этом срок службы изоляции определяется на основании учета рабочих температур, а при длительных перегрузках выполняется соответствующая корректировка. Однако, как показывают статистические исследования надежности ЭО, эксплуатационный срок службы изоляции во много раз меньше срока ее теплового старения, а основной причиной выхода из строя изоляции становятся местные дефекты [3, 4].

Значительно снизить аварийность ЭО и поднять уровень его надежности в эксплуатации можно посредством дальнейшего совершенствования системы ТО, более качественного проведения контроля исправности, осмотров и ремонтов. Анализ действующих ремонтных нормативов показывает, что система ТО ЭО не лишена недостатков и нуждается в совершенствовании [3, 4]. В частности, существующая структура ТО низковольтного ЭО предусматривает большое число ремонтных осмотров, а сроки их проведения планируются без дифференцированного учета надежности различных видов ЭО и условий его эксплуатации.

Оптимизация мероприятий по ТО производится на основе математических моделей [3, 4], адекватно отражающих основные стратегии обслуживания разных типов ЭО. Под стратегией обслуживания понимается определенный порядок выполнения мероприятий по ТО, обусловленный некоторым набором возможных действий как послеаварийного, так и предупредительного характера.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИСХОДА ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

В работе [1] дана классификация мероприятий ТО и сформулированы типовые стратегии обслуживания для низковольтного взрывобезопасного ЭО, эксплуатируемого на предприятиях угольной промышленности. Показано, что для электродвигателей целесообразна плановая стратегия группового ТО с диагностикой состояния изоляции и полным аварийным ремонтом (АРП) при отказе (стратегия ТО с АРП при отказе). Обслуживание производится циклически по истечении определенного календарного времени $T_П$. Основным контролируемым параметром является омическое сопротивление изоляции.

Состояние изоляции после проведения диагностики опишем функцией $Z = (0 \vee 1)$, которая принимает значение 0, если ее сопротивление выше критического [2] и отсутствуют неисправности механических элементов, или 1 – в противном случае. Вероятности соответствующих событий обозначим $P\{Z = 0\}$ и $P\{Z = 1\}$.

Случайный процесс $x(t)$ ТО электродвигателей при стратегии ТО с АРП при отказе имеет одно рабочее состояние E_0, три восстановительных состояния E_i (i = 1, 2, 3) и описывается выражением вида

$$x(t) = \begin{cases} E_0, \text{ если в момент } t \text{ электродвигатель исправен (работает);} \\ E_1, \text{ если в момент } t \text{ производится АРП;} \\ E_2, \text{ если в момент } t \text{ произведена диагностика и } Z = 0; \\ E_3, \text{ если в момент } t \text{ произведена диагностика и } Z = 1. \end{cases}$$

ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

В качестве целевой функции оптимизации размера $T_П$ из экономических соображений целесообразно использовать удельные стоимостные затраты в единицу времени работы ЭО (руб./ч):

$$C = \sum_{i=1}^{3} MG^{(i)} / T_{П}, \tag{1}$$

где $T_{П}$ – периодичность планового ТО, ч; i – номер восстановительной работы (i = 1, 2, 3), соответствующей состоянию E_i; $MG^{(i)}$ – средние суммарные стоимостные затраты (математическое ожидание) при нахождении электродвигателя в i-м восстановительном состоянии E_i за межпрофилактический период $T_{П}$, руб.; $G^{(i)}$ – средняя стоимость i-й восстановительной работы, руб.

Опишем $G^{(i)}$ составной функцией вида

$$G^{(i)} = \begin{cases} G_a, \ i = 1, \ x(t) \in E_1; \\ G_n^0, \ i = 2, \ x(t) \in E_2; \\ G_n^1 = G_n^0 + G_З, \ i = 3, \ x(t) \in E_3, \end{cases}$$

где $G_З$ – дополнительные стоимостные затраты на ремонт электродвигателя, не выдержавшего диагностику, руб.

При этом затраты на проведение восстановительных работ будут складываться из затрат на АРП и ТО, определяемых из выражений:

$$MG^{(1)} = G_a \cdot H(T_{П}); \quad MG^{(2)} = G_n^0 \cdot P\{Z = 0\}; \quad MG^{(3)} = G_n^1 \cdot P\{Z = 1\}, \tag{2}$$

где $H(T_{П})$ – функция восстановления отказов (как изоляции, так и механических элементов) электродвигателей, соответствующая среднему количеству отказов на интервале $(0, T_{П})$.

Тогда, подставив (2) в (1), получим

$$C = \frac{1}{T_{П}} \left\{ G_a \cdot H(T_{П}) + G_n^0 \cdot P\{Z = 0\} + G_n^1 \cdot P\{Z = 1\} \right\}. \tag{3}$$

Для осуществления возможности вычислений оптимальной периодичности ТО электродвигателей по (3) определим аналитическое выражение для $P\{Z = 0\}$ при данной стратегии обслуживания.

Событие $\{Z = 0\}$, состоящее в том, что изоляция электродвигателя не содержит дефектов, способных привести к снижению сопротивления и отказу на интервале $(T_П, 2T_П]$, при условии ее безотказной работы до момента времени $T_П$ может осуществиться по одному из двух вариантов:

а) электродвигатель безотказно проработает время $t = T_П$ и после проведения диагностики сопротивление изоляции будет выше критического;

б) в некоторый момент $t = \tau\,(0 < \tau \le T_П)$ окончится внеплановый АРП, далее двигатель проработает безотказно на интервале $(\tau, T_П]$ и диагностическая проверка в момент $T_П$ не обнаружит дефектов изоляции, способных привести к отказу на интервале $(T_П, 2T_П]$, т.е. сопротивление изоляции будет выше критического.

Вероятность события $\{Z = 0\}$ (положительного исхода диагностики) в ситуации «а» может быть представлена в виде

$$P\{Z=0\} = 1 - P\{Z=1\} = \frac{\Psi(2T_П)}{\Psi(T_П)}, \tag{4}$$

где $\Psi(t) = 1 - F(t)$ – значения функции распределения уровней надежности (безотказной работы) изоляции электродвигателя в моменты времени $t = T_П$ и $t = 2T_П$; $F(t)$ – значения функции распределения наработок на отказ изоляции электродвигателя для моментов времени $t = T_П$ и $t = 2T_П$.

При определении вероятности события $\{Z = 0\}$ в ситуации «б» рассмотрим процесс восстановления, образуемый моментами АРП на интервале $(0, T_П]$. Если обозначить через $h(t) = H'(t)$ плотность восстановления в момент времени t, то можно определить вероятность того, что момент АРП наступит в интервале $(t, t + \Delta t)$. Эта вероятность определяется как

$$h(t)\cdot\Delta t + 0(\Delta t) = H'(t)\cdot\Delta t + 0(\Delta t),$$

где $0(\Delta t)$ – исчезающе малая величина более высокого порядка приближения.

Учитывая этот вероятностный смысл функции восстановления $H(t)$, определим вероятность события $\{Z = 0\}$ в ситуации «б» по формуле полной вероятности

$$\int_0^{T_П} \frac{\Psi(2T_П - \tau)}{\Psi(T_П - \tau)} dH(\tau) = \int_0^{T_П} \frac{\Psi(2T_П - \tau)}{\Psi(T_П - \tau)} h(\tau) d\tau.$$

Тогда

$$P\{Z=0\} = \frac{\Psi(2T_П)}{\Psi(T_П)} + \int_0^{T_П} \frac{\Psi(2T_П - \tau)}{\Psi(T_П - \tau)} h(\tau) d\tau. \tag{5}$$

Подставив (5) в (3) и учитывая, что $P\{Z=1\} = 1 - P\{Z=0\}$ и $G_n^1 = G_n^0 + G_3$, окончательно получим выражение целевой функции оптимизации для определения периодичности ТО электродвигателей:

$$C = \frac{1}{T_П}\left\{ G_a \cdot H(T_П) + G_n^0 + G_3 \cdot \left[\frac{\Psi(T_П) - \Psi(2T_П)}{\Psi(T_П)} - \int_0^{T_П} \frac{\Psi(2T_П - \tau)}{\Psi(T_П - \tau)} h(\tau) d\tau \right] \right\}. \tag{6}$$

Заметим, что для некоторых законов распределения трудно определить в явном виде функцию восстановления $H(T_П)$. В этом случае, как показано в [3], можно воспользоваться приближенной оценкой:

$$H(\mathrm{T}_П) \approx \int_0^{\mathrm{T}_П} f(t)dt = F(\mathrm{T}_П),$$

Поскольку оптимальный период ТО меньше величины наработки на отказ изделия, вероятность того, что за время $T_П$ изделие откажет больше двух раз, очень мала. Максимальная погрешность упрощенного метода определения $H(T_П)$ не превышает 8 %, что приемлемо для инженерных расчетов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученная математическая модель целевой функции ТО электродвигателей направлена на определение оптимального интервала обслуживания двигателя с целью сокращения затрат при стратегии ТО с диагностикой состояния изоляции и АРП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барзилович Е.Ю., Каштанов В.А. Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем. М.: Советское радио. 1981.
2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. М.: КноРус. 2013. 280 с.
3. Кузьмин Г.С. Выбор стратегий технического обслуживания электрооборудования для построения моделей оптимизации. *Энергоресурсосбережение в промышленности: сб. научно-практических трудов*. Вып. 8. Тверь: ТвГТУ. 2020. С. 192–197.
4. Кузьмин Г.С. Характер отказов взрывозащищенного электрооборудования и выбор параметров неразрушающего контроля его надежности в процессе эксплуатации. *Энергоресурсосбережение в промышленности: сб. научно-практических трудов.* Вып. 8. Тверь: ТвГТУ. 2020. С. 188–192.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

КУЗЬМИН Геннадий Серафимович – кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения и электротехники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: *rucndthm@yandex.ru*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Кузьмин Г.С. Экономико-математическая модель оптимизации ремонтно-профилактического обслуживания электродвигателей с диагностикой состояния изоляции // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2021. № 4 (12). С. 74–79.

ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODEL OF OPTIMIZATION OF REPAIR AND PREVENTIVE MAINTENANCE OF ELECTRIC MOTORS WITH DIAGNOSTICS OF THE INSULATION CONDITION

G.S. Kuzmin
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The article presents a probabilistic, economic and mathematical model and the output of the objective function for optimizing the frequency of maintenance of electric motors, taking into account operational preventive tests of electrical insulation and complete emergency repairs in case of failure.

Keywords: electric motor, repair, prevention, maintenance, distribution function, reliability, time to failure, electrical isolation, objective function, probability model.

REFERENCES

1. Barzilovich E.Yu., Kashtanov V.A. Nekotorye matematicheskie voprosy teorii obsluzhivaniya slozhnyh sistem [Some mathematical questions of the theory of complex systems maintenance]. Moscow: Sovetskoe radio. 1971. 272 p.
2. Pravila tekhnicheskoj ekspluatacii elektroustanovok potrebitelej [Rules of technical operation of electrical installations of consumers]. Moscow: KnoRus. 2013. 280 p.
3. Kuzmin G.S. The choice of strategies for maintenance of electrical equipment for building optimization models. *Energy resource saving in industry: Collection of scientific and practical works*. Issue 8. Tver: TvSTU. 2020, pp. 192–197. (In Russian).
4. Kuzmin G.S. The nature of failures of explosion-proof electrical equipment and the choice of parameters of non-destructive testing of its reliability during operation. *Energy resource saving in industry: Collection of scientific and practical works*. Issue 8. Tver: TvSTU. 2020, pp. 188–192. (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

KUZMIN Gennadiy Serafimovich – Candidate of Technical Sciences, Associated Professor of Department of Power Supply and Electrical Equipment, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *rucndthm@yandex.ru*

CITATION FOR AN ARTICLE

Kuzmin G.S. Economic and mathematical model of optimization of repair and preventive maintenance of electric motors with diagnostics of the insulation condition // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2021. No. 4 (12), pp. 74–79.

УДК 44.31.03:53.07.00:45.43.00

ВЛИЯНИЕ ЗАДЫМЛЕННОСТИ АТМОСФЕРЫ И ВЫСОТЫ ШЛАКА НА ТЕПЛООБМЕН В ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ. ЧАСТЬ II. ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ ШЛАКА НА ТЕПЛОВЫЕ НАГРУЗКИ НА СТЕНЫ И РАСХОД ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

А.Н. Макаров
Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Макаров А.Н., 2021

Аннотация. Исследовалось влияние высоты слоя шлака на тепловые нагрузки на водоохлаждаемые панели стен дуговых сталеплавильных печей. Установлено, что потоки теплового излучения дуг на водоохлаждаемые панели стен максимальны при незаглубленных дугах и лучепрозрачной атмосфере печи. С увеличением высоты слоя шлака и поглощательной способности пылегазовой атмосферы печи тепловые нагрузки от дуг на водоохлаждаемые панели стен уменьшаются и достигают минимума при полностью погруженных в шлак дугах и максимальном коэффициенте поглощения пылегазовой атмосферы печи.

Ключевые слова: электросталь, электрическая дуга, теплообмен, тепловое излучение, печь.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-4-80-88

ВВЕДЕНИЕ

Электрические дуги являются основными источниками тепловой энергии в дуговых сталеплавильных печах (ДСП), на их долю приходится 55–65 % тепловой энергии, поступающей в современную ДСП [1–13]. Для снижения потребления электрической и тепловой энергии необходимо организовать режим работы дуг ДСП таким образом, чтобы тепловой поток излучения дуг максимально попадал на металлошихту и ванну металла и минимально на футерованные откосы, водоохлаждаемые панели стен и свода. Согласно многолетним экспериментальным исследованиям научно-исследовательских коллективов [1–7], тепловой поток дуг в ДСП на 92–96 % состоит из потока теплового излучения; на потоки теплопроводности, конвекции приходится 4–8 % мощности [3–5].

В XX веке отсутствовали данные аналитического исследования распределения тепловых потоков излучения дуг по поверхности стен, свода, ванны металла. В конце XX века автором статьи была разработана пионерская теория теплообмена в ДСП [1], которая позволяет рассчитать тепловые потоки излучения дуг на поверхности стен, свода, ванны металла. Воспользуемся методикой расчета теплообмена, подробно изложенной в работах [1, 2], для анализа влияния высоты слоя шлака на тепловые нагрузки от дуг на водоохлаждаемые панели стен и на удельный расход электроэнергии в ДСП.

СХЕМА ДЛЯ РАСЧЕТА ПОТОКА ТЕПЛОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ ДУГ НА СТЕНЫ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Схема для расчета потоков тепловых излучений дуг на водоохлаждаемые панели стен представлена на рис. 1, где использованы следующие обозначения:

$l_д$ – длина дуги;

$l_{отк}$ – длина открытой части дуги;

α, β, r – углы и расстояние, определяемые из построений в программах AutoCAD и Excel. Плотность потока теплового излучения дуги, падающего на расчетную площадку на стенах ДСП, определяли по выражению [1]

$$q = \frac{\alpha_{ст} P_Д \cos\alpha \cos\beta \, l_{отк}}{\pi^2 r^2 l_д} \cdot e^{-kr},$$

где $\alpha_{ст}$ – доля мощности, выделяющейся в столбе дуги; $P_Д$ – мощность дуги; k – коэффициент поглощения газовой среды ДСП, k = 0–0,7.

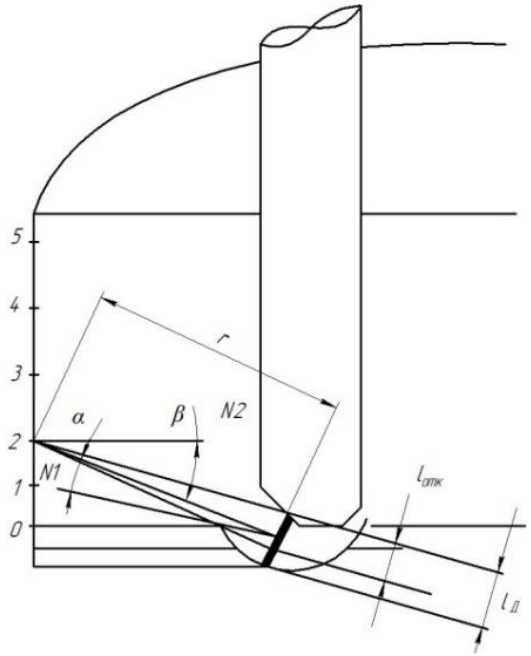


Рис. 1. Схема для расчета потоков тепловых излучений дуг на стены:
1–5 – номера расчетных площадок на стене ДСП

Значительные тепловые нагрузки на водоохлаждаемые панели стен вызывают повреждения панелей, вытекание воды из поврежденных панелей на ванну металла, что является аварийной ситуацией. Необходимо выполнить расчеты тепловых потоков дуг на водоохлаждаемые панели стен в высокомощных ДСП-100 вместимостью 100 тонн, мощностью 90 МВА. Следует выяснить, какова максимальная величина тепловых потоков излучения дуг на водоохлаждаемые панели стен, как влияет поглощательная способность пылегазовой среды на величину тепловых потоков излучения дуг на стены. Необходимо также выяснить, каково влияние высоты слоя шлака на тепловые потоки излучения дуг на водоохлаждаемые панели стен. Параметры каждой из трех дуг ДСП-100: $P_Д$ = 18 МВт, $l_д$ = 300 мм, $\alpha_{изл}$ = 0,92. Коэффициент поглощения для лучепрозрачной атмосферы печи k = 0; для запыленной атмосферы k = 0,7.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ СЛОЯ ШЛАКА НА ТЕПЛОВЫЕ НАГРУЗКИ НА СТЕНЫ И КПД ДУГ

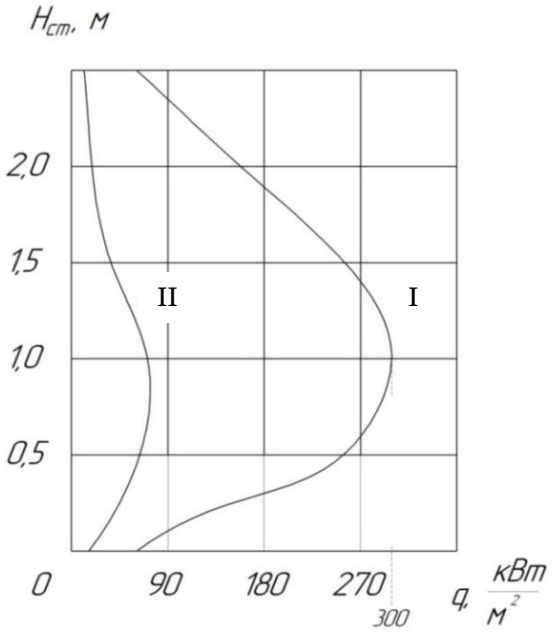
Для увеличения высоты слоя шлака до 250–350 мм необходимо интенсифицировать работу инжектора угольного порошка, при этом из печи удаляется максимальный объем пылегазовой смеси (рис. 2).

Рис. 2. Система удаления газов из ДСП

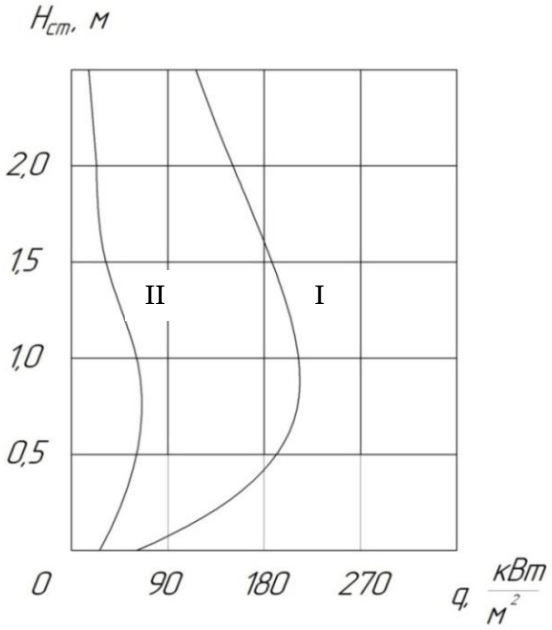
Выполнили расчет потоков тепловых излучений дуг на стены ДСП-100 при заглублении дуг в ванну металла и шлак на 300 мм. Длина дуг составляет 300 мм, следовательно, они полностью погружены в ванну металла и шлак. Результаты расчета приведены на рис. 3.

При полностью погруженных в шлак дугах максимальные потоки теплового излучения дуг на участки стен, расположенные напротив дуг, составляют 300 кВт/м^2 в лучепрозрачной среде и 230 кВт/м^2 в поглощающей среде, что в 2–1,6 раза меньше по сравнению с работой печи с открытыми дугами при их заглублении в ванну металла на 70 мм. Тепловые потери с охлаждающей водой пропорциональны тепловым потокам излучения дуг, падающим на водоохлаждающие панели. Следовательно, при уменьшении тепловых потоков излучения дуг на стены в 2–1,6 раза на аналогичную величину уменьшаются тепловые потери с охлаждающей водой и на столько же увеличиваются полезные потоки теплового излучения дуг на ванну металла и шлак, повышается КПД дуг, уменьшается удельное потребление печью электроэнергии. Результаты расчета КПД дуг печи ДСП-100 показывают [14–16], что при заглублении дуг в ванну металла и шлак с 70 до 300 мм КПД дуг возрастает с 0,46 до 0,74, т.е. в 1,61 раза. Известно, что КПД дуги – это отношение полезной мощности дуги, излучаемой столбом дуги на ванну металла и шлак, к мощности дуг. Известно, что чем больше высота не заглубленной в ванну металла и шлак столба дуги, тем меньше ее КПД [14–16]. Наименьший КПД дуг имеют плазменно-

дуговые печи, у которых столб дуги полностью открыт и излучает до 80 % мощности в свободное пространство, а около 20 % – на ванну металла (рис. 4). КПД дуг плазменно-дуговых печей составляет 20–25 % [1].



а



б

Рис. 3. Распределение плотностей потоков тепловых излучений дуг высотой 300 мм по высоте стен печи ДСП-100 при высоте заглубления дуг 300 мм в прозрачной атмосфере

печи (I), в поглощающей атмосфере печи (II) по участкам стен, расположенным напротив дуги (а) и между дугами (б)

Рис. 4. Столб дуги в плазменно-дуговой печи

Результаты расчета плотностей потоков тепловых излучений дуг на стены ДСП-100 подтверждены практикой эксплуатации ДСП. С увеличением высоты слоя шлака с 238 до 325 мм в печи ДСП-120 улучшилось экранирование тепловых излучений дуг на водоохлаждаемые панели стен и свода, увеличились потоки теплового излучения дуг на ванну металла, шлак, повысился КПД дуг, на 22 % снизился удельный расход электроэнергии [17]. Аналогичные данные о возрастании усвоения тепла дуг ванной металла в 1,5–1,8 раза при повышении высоты слоя шлака до полного заглубления дуг в шлак приведены в источниках [18, 19]. Таким образом, расчетные и экспериментальные данные [17–19] находятся в полном соответствии друг другу: при увеличении высоты слоя шлака на действующих печах уменьшились потоки теплового излучения дуг на стены, увеличились потоки теплового излучения дуг на ванну металла и шлак, повысились теплоусвоение ванны и КПД дуг, снизился удельный расход электроэнергии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из выполненного анализа энергобалансов плавок стали в ДСП следует, что в процессе продувки ванны кислородом и работы инжектора угольного порошка для вспенивания шлака пылегазовая атмосфера печи характеризуется максимальным коэффициентом поглощения. При этом тепловое излучение дуг в свободное пространство печи поглощается пылегазовой атмосферой печи. При максимальном коэффициенте поглощения пылегазовая атмосфера экранирует водоохлаждаемые панели стен и свода от теплового излучения дуг, при этом тепловые потери с отходящими газами максимальны, а с охлаждающей водой – минимальны.

В отсутствие продувки ванны кислородом и при неработающем инжекторе угольного порошка атмосфера печи лучепрозрачна, тепловое излучение дуг бес-

препятственно проходит через свободное пространство печи и падает на водоохлаждаемые панели стен и свода. При лучепрозрачной атмосфере печи тепловые нагрузки на водоохлаждаемые панели стен достигают максимальных значений в 600 кВт/м^2 и выше. Период работы с лучепрозрачной атмосферой является наиболее опасным, наиболее теплонапряженным для панелей стен и свода печи. При лучепрозрачной атмосфере печи тепловые потери с охлаждающей водой максимальны, с отходящими газами – минимальны.

Тепловые потоки, падающие на водоохлаждаемые панели стен, максимальны в лучепрозрачной среде и при незначительном заглублении дуг в шлаки достигают значений 600 кВт/м^2 и выше. При незначительной высоте слоя шлака КПД дуг мал и составляет 0,46, усвоение тепла дуг ванной незначительно, расход электроэнергии увеличен. При увеличении высоты слоя шлака КПД дуг и теплоусвоение ванны возрастают. При полном погружении в шлак КПД дуг достигает значения 0,74–0,78, теплоусвоение ванны максимально, удельный расход электроэнергии уменьшается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаров А.Н. Теплообмен в электродуговых и факельных металлургических печах и энергетических установках. СПб.: Лань. 2014. 384 с.
2. Дорофеев Г.А., Зинягин Г.А., Макаров А.Н. Производство стали на основе железа прямого восстановления. Старый Оскол: ТНТ. 2021. 324 с.
3. Никольский Л.Е., Смоляренко В.Д., Кузнецов Л.Н. Тепловая работа дуговых сталеплавильных печей. М.: Металлургия. 1981. 344 с.
4. Окороков Н.В. Дуговые сталеплавильные печи. М.: Металлургия. 1971. 347 с.
5. Егоров А.В. Электроплавильные печи черной металлургии. М.: Металлургия. 1985. 280 с.
6. Макаров А.Н., Соколов А.Ю. Электрические, геометрические, тепловые параметры дуг, горящих в парах металлов // *Электрометаллургия*. 2009. № 11. С. 19–24.
7. Макаров А.Н., Кузнецов А.В., Рыбакова В.В., Галичева М.К. О влиянии формы электрода и параметров дуги на ее заглубление в ванну металла в дуговых сталеплавильных печах // *Промышленная энергетика*. 2014. № 10. С. 10–15.
8. Makarov A.N. Change in arc efficiency during melting in steel-melting arc furnaces // *Metallurgist*. 2017. Vol. 61. № 3-4, pp. 298–302.
9. Makarov A.N. Effect of the architecture on energy efficiency of electric arc furnaces of convetional and Consteel designs // *Metallurgist*. 2019. Vol. 62. № 9-10, pp. 882–891.
10. Нефедов А.В., Нефедова Е.В. Импортозамещающая технология выгрузки пыли из бункеров электросталеплавильного цеха ОАО «Уральская сталь» // *Сталь*. 2015. № 12. С. 74–76.
11. Электросталеплавильная пыль как дисперсная система / Л.М. Симонян, А.А. Хилько, А.А. Лысенко [и др.] // *Известия вузов. Черная металлургия*. 2010. № 11. С. 68–75.
12. Водоохлаждаемые узлы сверхмощных дуговых сталеплавильных печей / М.Г. Кузьмин, В.С. Чередниченко, Р.А. Бикеев [и др.] // *Электрометаллургия*. 2014. 7. С. 8–16.
13. Сосонкин О.М., Кудрин В.А. Этапы проведения работ и результаты освоения плавки стали в ДСП с водоохлаждаемыми сводом и стенами // *Электрометаллургия*. 2008. № 11. С. 14–19.

14. Makarov A.N. Calculation and analysis of energy parameters of meltings in EAFS of conventional and Consteel design // *Metallurgist*. 2019. Vol. 62. № 9-10, pp. 974–978.
15. Makarov A.N. Calculation and analysis of the relationship between the efficiency and position of electric arcs and power consumption in electric arc furnaces (EAF) of smaller and larger capacity. Part I. Calculation and analysis of the relationship between arc efficiency and power consumption // *Metallurgist.* 2019. Vol. 63. № 3-4, pp. 341–349.
16. Makarov A.N. Calculation and analysis of the relationship between the efficiency and position of electric arcs and power consumption in electric arc furnaces (EAF) of smaller and larger capacity. Part II. Calculation and analysis of the relationship between position of arcs, walls and power consumption // *Metallurgist*. 2019. Vol. 63. № 5-6, pp. 441–450.
17. Влияние массы металлошихты и толщины шлака на технологию выплавки стали в дуговой печи / М.С. Кузнецов, Е.В. Якушев, С.А. Кулагин [и др.] // *Электрометаллургия*. 2010. № 2. С. 2–6.
18. Сязанов А.В., Меркер Э.Э., Кочетов А.И. Взаимосвязь шлакового режима с параметрами плавки окатышей в дуговой печи // *Известия вузов. Черная металлургия*. 2019. № 5. С. 66–67.
19. Меркер Э.Э., Харламов Д.А. Энергосбережение при электроплавке стали в дуговых печах. Старый Оскол: ТНТ. 2019. 308 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

МАКАРОВ Анатолий Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электроснабжения и электротехники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: *tgtu_kafedra_ese@mail.ru*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Макаров А.Н. Влияние задымленности атмосферы и высоты шлака на теплообмен в дуговых сталеплавильных печах. Часть II. Влияние высоты шлака на тепловые нагрузки на стены и расход электроэнергии // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2021. № 4 (12). С. 80–88.

INFLUENCE OF ATMOSPHERIC SMOKE AND SLAG HEIGHT ON HEAT EXCHANGE IN ARC STEEL MELTING FURNACES. PART II. INFLUENCE OF SLAG HEIGHT ON WALL THERMAL LOADS AND ELECTRICITY CONSUMPTION

A.N. Makarov
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The influence of the height of the slag layer on the thermal loads on the water-cooled panels of the walls of arc steel-making furnaces was investigated. The fluxes of thermal radiation from arcs to water-cooled wall panels are maximum when the arcs are not buried and

the atmosphere of the furnace is transparent. With an increase in the height of the slag layer and the absorption capacity of the furnace dust and gas atmosphere, the thermal loads from the arcs on the water-cooled wall panels decrease and reach a minimum when the arcs are completely immersed in the slag and the maximum absorption coefficient of the furnace dust and gas atmosphere.

Keywords: electric steel, electric arc, heat exchange, heat radiation, furnace.

REFERENCES

1. Makarov A.N. Teploobmen v elektrodugovyh i fakel'nyh metallurgicheskih pechah i energeticheskih ustanovkah [Heat transfer in electric arc and flare metallurgical furnaces and power plants]. St. Petersburg: Lan. 2014. 384 p.
2. Dorofeev G.A., Zinyagin G.A., Makarov A.N. Proizvodstvo stali na osnove zheleza pryamogo vosstanovleniya [Production of steel based on direct reduced iron]. Stary Oskol: TNT. 2021. 324 p.
3. Nikolsky L.E., Smolyarenko V.D., Kuznetsov L.N. Teplovaya rabota dugovyh staleplavil'nyh pechej [Thermal work of arc steel-making furnaces]. Moscow: Metallurgy. 1981. 344 p.
4. Okorokov N.V. Dugovye staleplavil'nye pechi [Electric arc furnaces]. Moscow: Metallurgy. 1971. 347 p.
5. Egorov A.V. Elektroplavil'nye pechi chernoj metallurgii [Electric melting furnaces for ferrous metallurgy]. Moscow: Metallurgy. 1985. 280 p.
6. Makarov A.N., Sokolov A.Yu. Electrical, geometric, thermal parameters of arcs burning in metal vapors. *Electrometallurgy*. 2009. No. 11, pp. 19–24. (In Russian).
7. Makarov A.N., Kuznetsov A.V., Rybakova V.V., Galicheva M.K. On the influence of the shape of the electrode and the parameters of the arc on its deepening into the metal bath in arc steel-making furnaces. *Promyshlennaya energetika*. 2014. No. 10, pp. 10–15. (In Russian).
8. Makarov A.N. Change in arc efficiency during melting in steel-melting arc furnaces. *Metallurgist*. 2017. Vol. 61. No. 3-4, pp. 298–302. (In Russian).
9. Makarov A.N. Effect of the architecture on energy efficiency of electric arc furnaces of convetional and Consteel designs. *Metallurgist.* 2019. Vol. 62. No. 9-10, pp. 882–891. (In Russian).
10. Nefedov A.V., Nefedova E.V. Import-substituting technology for unloading dust from bunkers of the electric steel-making shop of OJSC Ural Steel. *Steel*. 2015. No. 12, pp. 74–76. (In Russian).
11. Electric steel-smelting dust as a dispersed system / L.M. Simonyan, A.A. Khilko, A.A. Lysenko [et al.]. *Izvestiya vuzov. Ferrous metallurgy*. 2010. No. 11, pp. 68–75. (In Russian).
12. Water-cooled units of heavy-duty arc steel-making furnaces / M.G. Kuzmin, V.S. Cherednichenko, R.A. Bikeev [et al]. *Electrometallurgy*. 2014. No. 7, pp. 8–16. (In Russian).
13. Sosonkin O.M., Kudrin V.A. Stages of work and the results of mastering steel melting in a chipboard with a water-cooled roof and walls. *Elektrometallurgiya*. 2008. No. 11, pp. 14–19. (In Russian).
14. Makarov A.N. Calculation and analysis of energy parameters of meltings in EAFS of conventional and Consteel design. *Metallurgist.* 2019. Vol. 62. No. 9-10, pp. 974–978. (In Russian).

15. Makarov A.N. Calculation and analysis of the relationship between the efficiency and position of electric arcs and power consumption in electric arc furnaces (EAF) of smaller and larger capacity. Part I. Calculation and analysis of the relationship between arc efficiency and power consumption. *Metallurgist*. 2019. Vol. 63. No. 3-4, pp. 341–349. (In Russian).
16. Makarov A.N. Calculation and analysis of the relationship between the efficiency and position of electric arcs and power consumption in electric arc furnaces (EAF) of smaller and larger capacity. Part II. Calculation and analysis of the relationship between position of arcs, walls and power consumption. *Metallurgist*. 2019. Vol. 63. No. 5-6, pp. 441–450. (In Russian).
17. Influence of metal charge mass and slag thickness on steel smelting technology in arc furnace / M.S. Kuznetsov, E.V. Yakushev, S.A. Kulagin [et al]. *Electrometallurgy*. 2010. No. 2, pp. 2–6. (In Russian).
18. Syazanov A.V., Merker E.E., Kochetov A.I. The relationship of the slag mode with the parameters of the melting of pellets in the arc furnace. *Izvestiya vuzov. Ferrous metallurgy*. 2019. No. 5, pp. 66–67. (In Russian).
19. Merker E.E., Kharlamov D.A. Energosberezhenie pri elektroplavke stali v dugovyh pechah [Energy saving in electric steel melting in arc furnaces]. Stary Oskol: TNT. 2019. 308 p.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

MAKAROV Anatoly Nikolaevich – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Power Supply and Electrical Equipment, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *tgtu_kafedra_ese@mail.ru*

CITATION FOR AN ARTICLE

Makarov A.N. Influence of atmospheric smoke and slag height on heat exchange in arc steel melting furnaces. Part II. Influence of slag height on wall thermal loads and electricity consumption // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2021. No. 4 (12), pp. 80–88.

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

УДК: 691. 587

ВЫБОР МЕТОДИКИ И КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРИД-ИОНОВ В ОБРАЗЦАХ БЕТОНА МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В.В. Белов, В.И. Луцик, Ю.В. Чурсанов
Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Белов В.В., Луцик В.И.,
Чурсанов Ю.В., 2021

Аннотация. В работе рассмотрены выбор методики и количественное определение содержания хлорид-ионов в образцах бетона мостовых конструкций и других транспортных сооружений, к которым предъявляют повышенные требования по коррозионной стойкости и долговечности. Нарушение пассивной пленки, защищающей металлическую арматуру в железобетоне, во многом возможно за счет проникновения к поверхности стали агрессивных хлорид-ионов, поэтому своевременный контроль содержания хлорид-ионов в образцах бетона мостовых конструкций необходим для обеспечения эффективной работы этих ответственных инженерных сооружений.

Ключевые слова: хлорид-ионы, бетон, коррозия арматуры, мостовые конструкции.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-4-89-95

Коррозионная стойкость – это сложный физико-химический процесс взаимодействия составных компонентов бетона и неблагоприятной внешней среды, в результате которого в структуре появляются новообразования и из бетона выводится часть компонентов, что приводит к снижению его прочности и последующему разрушению.

Коррозионная стойкость бетона зависит от его проницаемости и способности цементного камня и заполнителей вступать в химическую реакцию с агрессивными веществами [1, 2]. Перенос агрессивной среды в пористой структуре бетона осуществляется по механизму вязкого течения под действием градиента давления и капиллярных сил и по механизму диффузионного переноса (при наличии градиента концентрации агрессивного вещества). В бетонах с микроскопическими порами агрессивная среда проникает по диффузионному механизму. На диффузионный перенос оказывает влияние заряд поверхности пор. Так, отрицательный заряд затрудняет диффузию ионов хлоридов и сульфатов.

Рациональным подбором зернового состава можно эффективно снизить проницаемость бетона и повысить его коррозионную стойкость. Сам по себе цементный камень имеет минимальную проницаемость. С добавлением мелкого и крупного заполнителя скорость торможения коррозии снижается. Крупный заполнитель способствует диффузии

агрессивных сред в структуру бетона, так как контактные поверхности между цементным камнем и заполнителем являются слабыми частями бетонной матрицы. В условиях агрессивных сред наиболее рациональным является использование мелкозернистых и порошковых бетонов, поскольку они имеют повышенную коррозионную стойкость и сниженную проницаемость [3].

Большое значение для бетона, эксплуатируемого в той или иной агрессивной среде, имеет правильный подбор вяжущего. В качестве вяжущих веществ применяют портландцемент, портландцемент с минеральными добавками, шлакопортландцемент, сульфатостойкие цементы и глиноземистые цементы. По данным авторов статьи [4], количество вяжущего должно составлять не менее 300 кг/м^3.

Коррозионную стойкость бетона можно улучшить введением высокоактивных алюмосиликатов и поликарбоксилатных полимеров. Такие реакционноспособные полимеры за счет повышения плотности бетона и гидратационной активности системы позволяют получить бетон с коэффициентом химической стойкости до $K \geq 0,96$ в средах 5%-го раствора Na_2CO_3 и 5%-го раствора $MgCl_2$ [5]. Ранее схожее исследование проводилось с применением сразу двух комплексных добавок, одна из которых, полученная на основе поликарбоксилатных полимеров, была модифицирована веществами неорганической природы, а другая, на основе труднорастворимых солей магния, была модифицирована диоксидом кремния.

В результате был получен бетон с прочной и плотной структурой, в которой наблюдались труднорастворимые гидросиликат кальция и карбонат магния, повышающие коэффициент коррозионной стойкости до 0,95 и более, в средах 5%-го раствора Na_2CO_3 и 5%-го раствора $MgCl_2$ [6].

С успехом применяют для улучшения коррозионной стойкости бетона активные минеральные добавки: золу-унос, микрокремнезем и другие, способные связывать образующийся при гидратации цемента гидроксид кальция в низкоосновные кристаллические соединения. Важно помнить, что избыточное количество таких добавок может ухудшать характеристики бетона. Так, введение золы-уноса сверх нормы может снизить его коррозионную стойкость и морозостойкость из-за наличия органических остатков [7].

Помимо коррозии самого бетона, в железобетонных изделиях и конструкциях происходит коррозия арматуры, которая к тому же способствует развитию коррозионных процессов в зоне контакта бетона и арматуры. Коррозионный процесс на стали может развиться в том случае, если будут созданы условия для протекания электрохимических парциальных реакций: катодного процесса деполяризации и анодного процесса растворения. Это становится возможно при нарушении пассивной пленки, когда к поверхности стали проникает кислород (деполяризатор катодного процесса), создаются локальные катодные и анодные участки и возникает разность потенциалов, т.е. формируются микрогальванопары. С учетом того, что бетон имеет достаточно высокую пористость, вероятность проникновения к поверхности арматурной стали кислорода – деполяризатора катодного процесса – весьма высока.

Нарушение пассивной пленки, защищающей металл, возможно по следующим причинам:

1) уменьшение pH поровой жидкости до величин ниже 11,8;

2) проникновение к поверхности стали агрессивных хлорид-ионов;

3) ускорение анодных процессов растворения стали.

Если первая и третья причины сами являются следствиями рассмотренного выше повышения проницаемости бетона, то вторая – это первопричина данного вида коррозии, возникающая, в частности, за счет попадания хлорид-ионов в бетон в составе заполнителей, а также противогололедных реагентов. В некоторых случаях играет роль и применение при производстве бетона ускорителей твердения – хлорсодержащих добавок. Поэтому количественный анализ хлорид-ионов в составе бетонного камня необходим для оценки скорости протекания коррозионных процессов и принятия соответствующих мероприятий по обеспечению долговечности транспортных сооружений.

К трудностям количественного анализа в данном случае следует отнести обеспечение полного перевода хлорид-ионов в раствор, а также селективность и высокую чувствительность метода, поскольку в анализируемых объектах содержание хлорид-ионов возможно на уровне сотых и тысячных долей процента, а получаемые при подготовке аналитических проб кислотные вытяжки содержат концентрированные растворы солей кальция, алюминия и других металлов.

При оценке содержания хлорида в свежем и затвердевшем бетоне наиболее популярен метод Воларда [8], согласно которому общее количество хлоридов определяют растворением пробы в азотной кислоте, фильтрованием и титрованием $AgNO_3$ с использованием хлорид-селективных электродов.

Разложение проб проводили в соответствии с рекомендациями [9] путем обработки навески измельченного образца массой до 22 г раствором HNO_3 (приливали 100 $см^3$ кислоты 1:10) при комнатной температуре. В некоторых случаях наблюдалось бурное выделение углекислого газа. Полученный кислый раствор отфильтровывали и доводили объем до 100 $см^3$ водой в мерной колбе. Для анализа использовали аликвоты полученных растворов.

При выборе методики анализа были испытаны три способа его осуществления: прямое титрование стандартным раствором азотнокислого серебра с использованием хромата калия в качестве цветного индикатора [10], обратное титрование избытка нитрата серебра роданидом калия по Фольгарду [11] и потенциометрическое титрование [12, 13].

Анализ следовых количеств хлорид-ионов первыми двумя методами из-за значительной ошибки в определении конечной точки титрования оказался практически невозможным.

При проведении потенциометрического титрования применяли сульфидно-серебряный ионоселективный электрод фирмы Crytur и специально изготовленный капиллярный серебряный электрод сравнения.

В качестве титранта использовали раствор нитрата серебра с концентрацией 0,005 М. Для титрования применяли ячейку объемом 50 $см^3$ и автоматическую микробюретку с ценой деления 0,02 $см^3$. Ячейку ставили на магнитную мешалку, приливали аликвотный объем раствора, содержащего хлориды, помещали в раствор сереброселективный и капиллярный электроды. В капиллярный электрод засасывали раствор, обеспечивающий электрический контакт, и начинали титрование путем приливания титранта порциями по 0,1 $см^3$. После каждого добавления титранта потенциал индикаторного электрода регистрировали с помощью иономера И-130. Определение эквивалентного объема титранта вели путем расчета первой производной от потенциала по объему прилитого $AgNO_3$.

Ниже приведены данные по содержанию хлорид-ионов в исследованных образцах бетона мостовых конструкций, отобранных при обследовании транспортных сооружений на территории Тверской области:

№	Навеска, г	Содержание Cl^-, %	№	Навеска, г	Содержание Cl^-, %
1	13,89	0,0077	13	5,44	0,0197
2	9,74	0,0328	14	7,65	0,0093
3	14,55	0,0147	15	9,89	0,0108
4	18,34	0,0077	16	18,14	0,0196
5	12,72	0,0084	17	6,20	0,0458
6	14,45	0,0270	18	10,16	0,0105
7	14,78	0,0096	19	11,61	0,0122
8	11,77	0,0081	20	9,59	0,0481
9	14,28	0,1040	21	12,55	0,0113
10	20,22	0,0053	22	8,04	0,0133
11	22,66	0,0439	23	12,25	0,0145
12	11,64	0,0092	24	12,88	0,0083

Таким образом, в ряде исследованных образцов, отобранных при обследовании транспортных сооружений на территории Тверской области, содержание хлорид-ионов составляет более 0,1 %, что представляет определенную угрозу сохранности стальной арматуры в железобетоне и долговечности сооружений и требует применения соответствующих мер по защите этих конструкций от коррозии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петрик И.Ю., Губарь В.Н., Корниенко С.В. Коррозионная стойкость бетона с высоким содержанием золы-уноса ТЭС // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры.* 2017. № 4 (126). С. 103–107.
2. Розенталь Н.К., Степанова В.Ф., Чехний Г.В. Бетоны высокой коррозионной стойкости и нормирование их характеристик // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2017. № 3-4. С. 14–19.
3. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М., Толыпин Д.А. Сравнительная стойкость бетонов с заполнителем различных размеров и без него // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2017. № 11. С. 43–47.
4. Бруссер М.И., Подмазова С.А. Проектирование составов тяжелого и мелкозернистого бетона. Пути развития // *Бетон и железобетон*. 2021. № 2 (604). С. 3–7.
5. Соловьева В.Я., Степанова И.В., Соловьев Д.А., Ершиков Н.В. Бетон повышенной коррозионной стойкости для транспортного строительства // *Транспортное строительство*. 2019. № 3. С. 20–22.
6. Соловьева В.Я., Соловьев Д.А., Масленникова Л.Л., Абу-Хасан Махмуд, Степанова И.В., Ершиков Н.В., Бойкова Т.И., Макаров В.В., Касаткин С.П. Физико-химические основы процессов твердения инновационного бетона для дорожных покрытий // *Естественные и технические науки.* 2017. № 2. С. 150–155.

7. Сафаров К.Б., Степанова В.Ф., Фаликман В.Р. Влияние механоактивированной низкокальциевой золы-уноса на коррозионную стойкость гидротехнических бетонов Рогунской ГЭС // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 20–24.
8. Рамачандран В., Фельдман Р., Бодуэн Дж. Наука о бетоне. М.: Стройиздат. 1986. 278 с.
9. Бок Р. Методы разложения в аналитической химии. М.: Химия. 1984. 428 с.
10. Фритц Дж., Шенк Г. Количественный анализ. М.: Мир. 1978. 557 с.
11. Шарло Г. Методы аналитической химии. Л.: Химия. 1965. 975 с.
12. Юинг Г. Инструментальные методы анализа. М.: Мир. 1989. 608 с.
13. Агасян П.К., Никоваева Е.Р. Основы электрохимических методов анализа (потенциометрические методы). М.: МГУ. 1986. 196 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

БЕЛОВ Владимир Владимирович – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: *vladim-bel@yandex.ru*
ЛУЦИК Владимир Иванович – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой химии и технологии полимеров, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: *vlutsik@list.ru*
ЧУРСАНОВ Юрий Валентинович – кандидат химических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: *yury.chursanov@yandex.ru*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Белов В.В., Луцик В.И., Чурсанов Ю.В. Выбор методики и количественное определение содержания хлорид-ионов в образцах бетона мостовых конструкций // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2021. № 4 (12). С. 89–95.

METHOD SELECTION AND QUANTIFICATION CONTENT OF CHLORIDE IONS IN CONCRETE SAMPLES OF BRIDGE STRUCTURES

V.V. Belov, V.I. Lutsik, Yu.V. Chursanov
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The paper considers the choice of methodology and quantitative determination of chloride ion content in concrete samples of bridge structures and other transport facilities, which are subject to increased requirements for corrosion resistance and durability. The violation of the passive film protecting the metal reinforcement in reinforced concrete is largely possible due to the penetration of aggressive chloride ions to the steel surface. Therefore, timely monitoring of chloride ion content in concrete samples of bridge structures is necessary to ensure the effective operation of these critical engineering structures.

Keywords: chloride ions, concrete, reinforcement corrosion, bridge structures.

REFERENCES

1. Petrik I.Yu., Gubar V.N., Kornienko S.V. Corrosion resistance of concrete with a high content of ash-fly ash TPP. *Vestnik Donbasskoj nacional'noj akademii stroitel'stva i arhitektury*. 2017. No. 4 (126), pp. 103–107. (In Russian).
2. Rosenthal N.K., Stepanova V.F., Chekhniy G.V. High corrosion resistance concretes and normalization of their characteristics. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 2017. No. 3-4, pp. 14–19. (In Russian).
3. Rakhimbayev Sh.M., Tolypina N.M., Tolypin D.A. Comparative resistance of concrete with and without aggregate of various sizes. *Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova*. 2017. No. 11, pp. 43–47. (In Russian).
4. Brousser M.I., Podmazova S.A. Design of traction and fine concrete compositions. Development routes. *Beton i zhelezobeton*. 2021. No. 2 (604), pp. 3–7. (In Russian).
5. Solovyova V.Ya., Stepanova I.V., Solovyov D.A., Yershikov N.V. Concrete of increased corrosion resistance for transport construction. *Transportnoe stroitel'stvo*. 2019. No. 3, pp. 20–22. (In Russian).
6. Solovyova V.Ya., Maslennikova L.L., Abu-Hassan Makhmud, Stepanova I.V., Yershikov N.V., Boykova T.I., Makarov V.V., Kasatkin S.P. Physico-chemical foundations of hardening processes of innovative concrete for road surfaces. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2017. No. 2, pp. 150–155. (In Russian).
7. Safarov K.B., Stepanova V.F., Falikman V.R. The influence of fur-activated low-calcium fly ash on the corrosive drain-bone of hydraulic concrete of the Rogun hydroelectric station. *Stroitel'nye materialy*. 2017. No. 9, pp. 20–24. (In Russian).
8. Ramachandran V., Feldman R., Baudouin J. Nauka o betone [The science of concrete]. Moscow: Stroyizdat. 1986. 278 p.
9. Bock R. Metody razlozheniya v analiticheskoj himii [Decomposition methods in analytical chemistry]. Moscow: Chemistry. 1984. 428 p.
10. Fritz J., Schenk G. Kolichestvennyj analiz [Quantitative analysis]. Moscow: World. 1978. 557 p.
11. Charlo G. Metody analiticheskoj himii [Methods of analytical chemistry]. Leningrad: Chemistry. 1965. 975 p.
12. Ewing G. Instrumental'nye metody analiza [Instrumental methods of analysis]. Moscow: World. 1989. 608 p.
13. Aghasyan P.K., Nikovaeva E.R. Osnovy elektrohimicheskih metodov analiza (potenciometricheskie metody) [Fundamentals of electrochemical methods of analysis (potentiometric methods)]. Moscow: Moscow State University. 1986. 196 p.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

BELOV Vladimir Vladimirovich – Adviser of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *vladim-bel@yandex.ru*
LUTSIK Vladimir Ivanovich – Doctor of Chemical Sciences, Head of Department of Chemistry and Technology of Polymers, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *vlutsik@list.ru*
CHURSANOV Yury Valentinovich – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Department of Chemistry and Technology of Polymers, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *yury.chursanov@yandex.ru*

CITATION FOR AN ARTICLE
Belov V.V., Lutsik V.I., Chursanov Yu.V. Method selection and quantification content of chloride ions in concrete samples of bridge structures // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2021. No. 4 (12), pp. 89–95.

УДК 66.022.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕТИЛЕННАФТАЛИНСУЛЬФОКИСЛОТ И ПОЛИКАРБОКСИЛАТНЫХ ЭФИРОВ

Ю.Ю. Курятников
Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Курятников Ю.Ю., 2021

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментальных исследований по определению эффективности суперпластификаторов на основе сульфированных меламинформальдегидов, сульфированных нафталинформальдегидов и поликарбоксилатных эфиров. Описаны механизмы их действия.

Ключевые слова: суперпластификатор, химическая добавка, технические лигносульфонаты, сульфированные меламинформальдегиды, сульфированные нафталинформальдегиды, водоредуцирующий эффект.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-4-95-100

ВВЕДЕНИЕ

Уже более полувека известны пластификаторы, а в последние десятилетия супер- и гиперпластификаторы – эффективные добавки, позволяющие в широких пределах регулировать удобоукладываемость бетонных смесей, прочность, водонепроницаемость, морозостойкость и другие свойства бетона. В настоящее время можно выделить три основных класса пластифицирующих добавок, используемых в промышленности строительных материалов: соединения на основе технических лигносульфонатов; сульфированные меламинформальдегид или нафталинформальдегид; поликарбоксилатные эфиры (ПКС).

Добавки первых двух классов обладают линейной молекулярной структурой (рис. 1, 2), и их условно можно отнести к предыдущему поколению пластификаторов. Механизм действия этих добавок основывается на электростатическом отталкивании за счет хемосорбции молекул пластификатора на поверхности частиц цементного клинкера и образования двойного электрического слоя, что приводит к смещению значений ζ-потенциала в более электроотрицательную область и способствует диспергированию системы (рис. 3). Однако через короткое время с ростом продуктов гидратации на поверхности зерен цемента происходит резкое ухудшение его диспергирующей способности и, как следствие, ухудшение подвижности бетонной смеси.

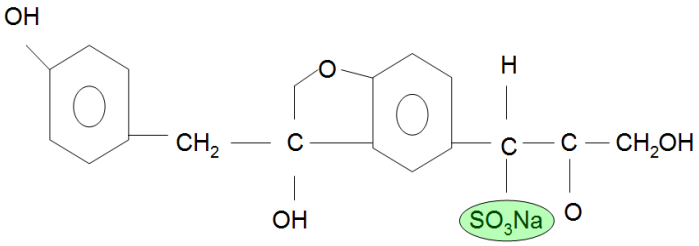
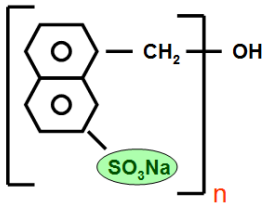


Рис. 1. Структура лигносульфоновой кислоты



где n = 5–20

Рис. 2. Структура нафталинсульфоната

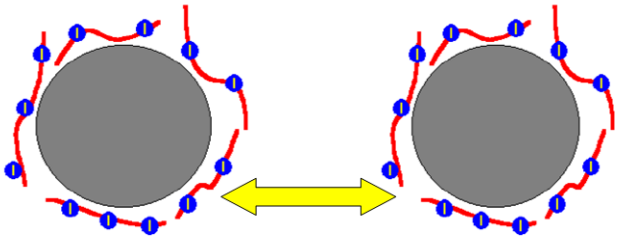
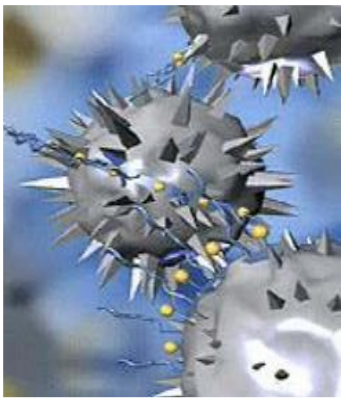


Рис. 3. Электростатическое отталкивание частиц

В отличие от первых двух классов добавок, ПКС обладают разветвленной структурой и состоят из основной поликарбоксильной цепи, а также боковых полиэфирных ответвлений (рис. 4). Такое строение обеспечивает частицам цемента электростатическое и стерическое (пространственное) отталкивание. Наличие ионного заряда основной цепи необходимо для адсорбции поликарбоксилата на поверхности цементных зерен и формирования электростатического эффекта, тогда как боковые цепочки молекулы обеспечивают стерическое отталкивание, что усиливает и удлиняет диспергирующее действие [1, 2].



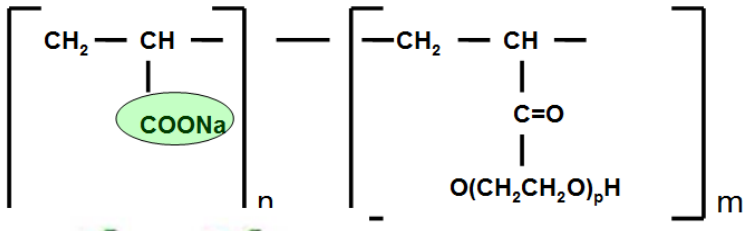


Рис. 4. Структура поликарбоксилатного эфира

На сегодняшний день наиболее хорошо исследован суперпластификатор С-3 (и его разновидности), редуцирующий водосодержание более чем на 20 % и практически не замедляющий гидратацию минералов клинкера [3]. Однако бетонные смеси, модифицированные большим количеством С-3 или другими суперпластификаторами на его

основе, при большой подвижности (П4–П5) имеют склонность к расслаиванию и большому воздухововлечению, что ухудшает физико-механические свойства бетона.

В работе [4] исследовано влияние различных суперпластификаторов (Д-11, С-3, Полипласт СП-3, Супранафт, Мурапласт ФК 88 (050), Полипласт СП-4, Sika ViscoCrete 5-800, SikaPlast 2135) на свойства цементно-песчаных растворов. Наиболее заметное влияние на прочность растворов оказывают добавки Полипласт СП-3 и Sika ViscoCrete 5-800. В последние годы для цементных бетонов и растворов разработан ряд эффективных гиперпластификаторов на основе поликарбоксилатных полимеров (см. рис. 1): Melment F10, Melflux 1641F, Melflux 2651F и др. Эти гиперпластификаторы позволяют обеспечить получение качественно нового эффекта и снизить водопотребность цементных систем более чем на 30 % [5].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Нами выполнены экспериментальные исследования по определению эффективности отечественных суперпластификаторов СП-3 ВСП-7, Реламикс М2 и СП-1. В качестве вяжущего использовали портландцемент марки ПЦ500Д0-Н АО «Мальцовский портландцемент». Суперпластификатор СП-3 ВСП-7 (ТУ 5745-006-58042865-2014) соответствует требованиям ГОСТ 24211 к пластифицирующим и водоредуцирующим добавкам и представляет собой сополимер полиметиленнафталинсульфоната и лигносульфоната натрия. Суперпластификатор СП-1 (ТУ 5870-005-58042865-05) соответствует требованиям ГОСТ 24211 к пластифицирующим и водоредуцирующим добавкам и представляет собой смесь полиметиленнафталинсульфокислот различной молекулярной массы. Реламикс М2 (ТУ 574570-58042865-2012) соответствует требованиям ГОСТ 24211 к пластифицирующим, водоредуцирующим добавкам и ускорителям твердения и представляет собой смесь нафталинсульфонатов и органического ускорителя.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для нахождения оптимальной дозировки количество добавок варьировали от 0 до 0,6 % по массе. Влияние содержания добавок на водопотребность цемента и водоредуцирующий эффект представлено на рис. 5, 6.

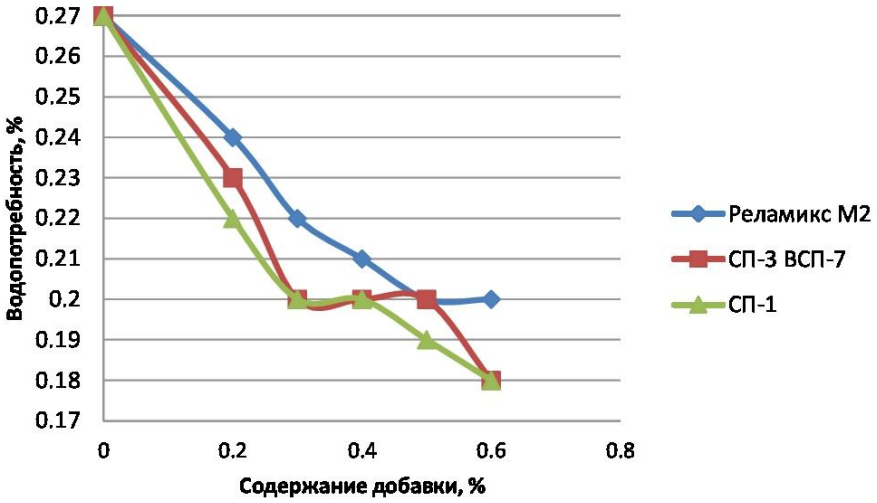


Рис. 5. Зависимость водопотребности цемента от содержания добавок

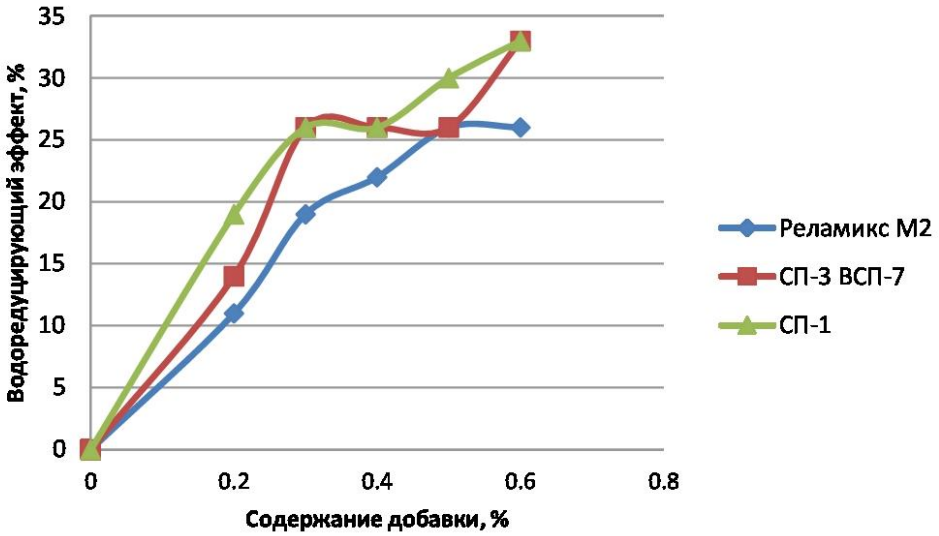


Рис. 6. Зависимость водоредуцирующего эффекта
от содержания добавок

При введении всех добавок в количестве 0,2 % водопотребность цемента резко снижается. Водоредуцирующий эффект при этом составляет: Реламикс М2 – 11 %; СП-3 ВСП-7 – 14 %; СП-1 – 19 %. Наибольший водоредуцирующий эффект обеспечивают СП-3 ВСП-7 и СП-1 – 33 % при содержании 0,6 %. Максимальный водоредуцирующий эффект добавки Реламикс М2 составляет 26 % при ее содержании 0,5–0,6 %.

Были выполнены экспериментальные исследования по определению свойств бетонной смеси и бетона в зависимости от вида и количества добавок (SikaPlast E4, СП-3, П1, Линамикс ПК) при одинаковом расходе цемента и подвижности бетонной смеси. Максимальную раннюю и марочную прочность показал бетон с добавкой SikaPlast E4 (табл. 1). Кроме того, сохраняемость бетонной смеси с добавкой SikaPlast E4 имеет наибольшее значение – 120 мин (табл. 2). Минимальную раннюю и марочную прочность показал бетон с добавкой СП-3. Минимальная сохраняемость бетонной смеси с добавкой Полипласт П1 – 40 мин.

Таблица 1

Свойства бетонной смеси и бетона в зависимости от вида добавки

Вид добавки	Количество от массы цемента, %	Осадка конуса (ОК), см	В/Ц-отношение	Плотность бетонной смеси, кг/м^3	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте, сут		
					3	7	28
SikaPlast E4	0,6	20,5	0,625	2 309	32,0	42,0	48,3
Полипласт СП-3	1,0	19,0	0,591	2 261	29,9	38,2	43,3
Полипласт П1	0,7	20,5	0,613	2 323	29,9	40,8	47,6
Линамикс ПК	0,8	21,0	0,617	2 316	30,9	38,8	46,1

Таблица 2

Сохраняемость бетонной смеси в зависимости от вида добавки

Вид добавки	Время после окончания перемешивания, мин				Снижение ОК, см
	0	40	80	120	
SikaPlast E4, 0,6 %	19,5	18,5	15,5	12,5	7,0
Полипласт П1, 0,7 %	18,0	9,0	–	–	9,0
Линомикс ПК, 0,8 %	19,0	15,0	11,5	–	7,5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, применяя суперпластификаторы, можно эффективно регулировать свойства бетонной смеси и бетона. Добавка SikaPlast E4 наиболее подходит для товарных бетонных смесей, так как позволяет получить высокую сохраняемость и прочность. Добавку Полипласт П1 оптимально использовать для изготовления железобетонных изделий в заводских условиях, так как она имеет относительно экономичный расход и невысокую стоимость. Для «заводских» добавок не требуется высокая сохраняемость бетонной смеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юхневский П.И. О механизме пластификации цементных композиций добавками // *Строительная наука и техника*. 2010. № 1-2. С. 64–69.
2. Тарасов В.Н., Гусев Б.В., Петрунин С.Ю., Короткова Н.П., Гарновесов А.П. Оценка эффективности применения поликарбоксилатных пластификаторов для производства бетона // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. 2018. Т. 4. № 1. С. 29–40.
3. Изотов В.С., Соколова Ю.А. Химические добавки для модификации бетона. М.: Палеотип. 2006. 244 с.
4. Зубова М.О. Мелкозернистые бетоны с применением базальтовой фибры и комплексных модифицирующих добавок. Дисс. … канд. техн. наук. Волгоград. 2014. 159 с.
5. Несветаев Г.В., Давидюк А.Н. Влияние некоторых гиперпластификаторов на пористость, влажностные деформации и морозостойкость цементного камня // *Строительные материалы*. 2010. № 1. С. 44–46.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

КУРЯТНИКОВ Юрий Юрьевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: *yuriy-k@yandex.ru*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Курятников Ю.Ю. Исследование эффективности суперпластификаторов на основе полиметиленнафталинсульфокислот и поликарбоксилатных эфиров // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2021. № 4 (12). С. 95–100.

INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF SUPERPLASTICIZERS BASED ON POLYMETHYLENE NAPHTHALENE SULFONIC ACIDS AND POLYCARBOXYLATE ESTERS

Y.Y. Kuryatnikov
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The article presents the results of experimental studies to determine the effectiveness of superplasticizers based on sulfated melamine formaldehydes, sulfated naphthalene formaldehydes and polycarboxylate esters, the mechanisms of their action are given.

Keywords: superplasticizer, chemical additive, technical lignosulfonates, sulfonated melamine formaldehyde, sulfonated naphthalene formaldehydes, water-reducing effect.

REFERENCES

1. Yuhnevskij P.I. On the mechanism of plasticization of cement compositions with additives. *Stroitel'naya nauka i tekhnika*. 2010. No. 1-2, pp. 64–69. (In Russian).
2. Tarasov V.N., Gusev B.V., Petrunin S.Yu., Korotkova N.P., Garnovesov A.P. Evaluation of the effectiveness of the use of polycarboxylate plasticizers for the production of concrete. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii.* 2018. Vol. 4. No. 1, pp. 29–40. (In Russian).
3. Izotov V.S., Sokolova Yu.A. Himicheskie dobavki dlya modifikacii betona [Chemical additives for concrete modification] Moscow: Paleotip. 2006. 244 p.
4. Zubova M.O. Fine-grained concrete with the use of basalt fiber and complex modifying additives. Cand. Diss. (Engineering). Volgograd. 2014. 159 p. (In Russian).
5. Nesvetaev G.V., Davidyuk A.N. Influence of some hyperplasticizers on porosity, moisture deformations and frost resistance of cement stone. *Stroitel'nye materialy.* 2010. No. 1, pp. 44–46. (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

KURYATNIKOV Yury Yuryevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: *yuriy-k@yandex.ru*

CITATION FOR AN ARTICLE

Kuryatnikov Y.Y. Investigation of the effectiveness of superplasticizers based on polymethylene naphthalene sulfonic acids and polycarboxylate esters // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2021. No. 4 (12), pp. 95–100.