



Научно-технический журнал
Издается с 2003 года.

Выходит шесть раз в год.

№6 (32) 2010
(ноябрь-декабрь)

СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

Учредитель – государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Орловский государственный технический университет»
(ОрелГТУ)

Редакционный совет:

Голенков В.А. д.т.н., проф., председатель
Радченко С.Ю. д.т.н., проф.,
зам. председателя
Борзенков М.И. к.т.н., доц., секретарь
Астафичев П.А. д.ю.н., проф.
Иванова Т.Н. д.т.н., проф.
Киричек А.В. д.т.н., проф.
Колчунов В.И. д.т.н., проф.
Константинов И.С. д.т.н., проф.
Новиков А.Н. д.т.н., проф.
Попова Л.В. д.э.н., проф.
Степанов Ю.С. д.т.н., проф.

Главный редактор:

Колчунов В.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.

Заместители главного редактора:

Гончаров Ю.И. д.т.н., проф.
Колесникова Т.Н. д. арх., проф.
Коробко В.И. д.т.н., проф.

Редколлегия:

Бондаренко В.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Гордон В.А. д.т.н., проф.
Карпенко Н.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Клюева Н.В. д.т.н., доц.
Коробко А.В. д.т.н., проф.
Король Е.А. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Меркулов С.И. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Ольков Я.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Римшин В.И. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Серпик И.Н. д.т.н., проф.
Турков А.В. д.т.н., проф.
Федоров В.С. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Чернышов Е.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.

Ответственные за выпуск:

Данилевич Д.В. к.т.н., доц.
Солопов С.В.

Адрес редакции:

302006, Россия, г. Орел,
ул. Московская, 77.
Тел.: +7 (4862) 73-43-49;
www.ostu.ru
E-mail: oantc@ostu.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе
по надзору в сфере связи и массовых ком-
муникаций. Свидетельство:
ПИ № ФС77-35718 от 24 марта 2009 г.

Подписной индекс **86294** по объединенному
каталогу «Пресса России»

© ОрелГТУ, 2010

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

Андросова Н.Б., Бухтиярова А.С., Клюева Н.В. К определению критериев живучести фрагмента пространственной рамно-стержневой системы.....	3
Деркач В.Н., Орлович Р.Б. Эмпирические критерии прочности каменной кладки в условиях сложного напряженного состояния.....	8
Ильичев В.А., Никифорова Н.С., Тупиков М.М. Расчет осадок зданий при прокладке мелкозаглубленных коммуникационных тоннелей и меры по их снижению.	13
Казakov Д.В., Колчунов В.И., Федоров В.С. Методика экспериментального определения кривиз и эффекта нарушения сплошности при трещинообразовании в составных железобетонных элементах.....	21
Колчин Я.Е., Колчунов В.И. К определению сил зацепления в зоне контакта элементов составных железобетонных конструкций.....	25
Коробко А.В., Черняев А.А. Расчет пластин на устойчивость с использованием отношения конформных радиусов.....	31
Меднов Е.А. Экспериментальное определение динамического предела текучести стали в условиях запроектного воздействия на статически неопределимую стержневую систему.....	39
Турков А.В., Калинов А.В., Алдушкин Р.В. Интенсивность освобождения энергии при действии статической и динамической (вибрационной) нагрузки на деревянную балку, работающую с трещинами.....	44
Федоров В.С., Меднов Е.А. Влияние исходного напряженно-деформированного состояния и уровня нагружения на возникающий динамический эффект при аварийном разрушении опоры в неразрезных стальных балках.....	48

Архитектура и градостроительство

Меркулова Е.В. Визуально-эстетические требования к объектам городской среды..	53
--	----

Безопасность зданий и сооружений

Чернышов Л.Н., Пичугин И.Л. Обоснование концепции энергосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве.....	57
---	----

Строительные материалы и технологии

Волокитина О.А. Использование метода вдавливания сферического штампа для определения расчетных характеристик различных конструктивных слоев нежестких дорожных одежд.....	65
Гюмджян П.П., Коканин С.В. Влияние температуры, влажности, ультрафиолетового и инфракрасного облучений на старение пенополистирола.....	72
Елин Н.Н., Виноградова Н.В., Хусаинов А.Н. Совершенствование организации производства керамического кирпича путем оптимизации формы садки.....	79
Лапшенков В.С., Мордвинцев М.М., Персикова Л.В. Устойчивые русла малых рек в связных грунтах.....	83
Федосов С.В., Румянцева В.Е. Теория и практика антикоррозионной защиты строительных конструкций из алюминиевых сплавов методом автоосаждения (Часть I).....	89

Журнал «Строительство и реконструкция» входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора технических наук.



Scientific and technical journal
The journal is published since 2003.
The journal is published 6 times a year.

№6 (32) 2010
(November-December)

BUILDING AND RECONSTRUCTION

The founder – The State Higher Professional Institution
Orel State Technical University
(OSTU)

Editorial council:

Golenkov V.A. *Doc. Sc. Tech., Prof., president*

Radchenko S.Y. *Doc. Sc. Tech., Prof., vice-president*

Borzenkov M.I. *Candidat Sc. Tech., Assistant Prof.*

Astafichev P.A. *Doc. Sc. Law., Prof.*

Ivanova T.N. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Kirichek A.V. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Kolchunov V.I. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Konstantinov I.S. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Novikov A.N. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Popova L.V. *Doc. Ec. Tech., Prof.*

Stepanov Y.S. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Editor-in-chief

Kolchunov V.I. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Editor-in-chief assistants:

Goncharov Y.I. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Kolesnikova T.N. *Doc. Arc., Prof.*

Korobko V.I. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Editorial committee

Bondarenko V.M. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Gordon V.A. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Karpenko N.I. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Kljueva N.V. *Doc. Sc. Tech., Assistant Prof.*

Korobko A.V. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Korol E.A. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Merkulov C.I. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Olkov Y.I. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Rimshin V.I. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Serpik I.N. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Turkov A.V. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Fyodorov V.S. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Chernyshov E.M. *Doc. Sc. Tech., Prof.*

Responsible for edition:

Danilevich D.V. *Candidat Sc. Tech., Assistant Prof.*

Solopov S.V.

The edition address: 302006, Orel,

Street Moscow, 77

+7 (4862) 73-43-49

www.ostu.ru

E-mail: oantc@ostu.ru

Journal is registered in Federal service on supervision in sphere of communication and mass communications

The certificate of registration:

ПН № ФС77-35718 from 24.03.09

Index on the catalogue of the «**Pressa Rossii**»
86294

©OSTU, 2010

Journal is included into the List of the Higher Examination Board for publishing the results of theses for competition the academic degrees

Contents

Theory of engineering structures.

Building units

Androsova N.B., Buhtijarova A.S., Klyueva N.V. To definition of criteria of survivability of the fragment of spatial ramno-rod system.....	3
Derkach V.N., Orlovich R.B. Empirical strength criterion of the masonry in the conditions of the complicated stress state.....	8
Ilyichev V.A., Nikiforova N.S., Tupikov M.M. Calculation of building settlements, caused by shallow service tunnel construction and measures to reduce these settlements	13
Kazakov D.V., Kolchunov V.I., Fedorov V.S.	21
Kolchin J.E., Kolchunov V.I. The definition of the adhesion forces in the contact zone of elements of composite reinforced concrete structures.....	25
Korobko V.I., Chernyev A.A. Calculation of plates on stability with use of the relation of conformal radiuses.....	31
Mednov E.A. Experimental definition of a dynamic limit of fluidity of a steel in the conditions of emergency influence on statically indefinable rod system.....	39
Turkov A.V., Kalinov A.V., Aidushkin R.V. Intensity of energy release under action of static and dynamic (vibration) loading on wooden beam, which works with cracks.....	44
Fedorov V.S., Mednov E.A. Experimental researches of influence of the initial is intense-deformed condition and loading level on arising dynamic effect at emergency destruction of a support in not cutting steel beams.....	48

Building and structure safety

Merkulova E.V. Visually-esthetic requirements to objects of the city environment.....	53
--	----

Construction technologies and materials

Chernyshov L.N., Pichugin I.L. Substantiation of the concept of power savings in housing and communal services.....	57
--	----

Biosphere compatible and developing the person cities and the settlements

Volokitina O.A. Use of a method of cave-in of a spherical stamp for definition of settlement characteristics of various constructive layers of nonrigid road clothes.....	65
Guyumdzhyan P.P., Kokanin S.V. Influence of temperature, moisture, ultra-violet and ultrared irradiations on foam polystyrene ageing.....	72
Yelin N.N., Vinogradova N.V., Khusainov A.N. Improvement of organization of ceramic bricks production by means of the kiln loading shape optimization.....	79
Lapshenkov V.S., Mordvintsev M.M., Persikova L.V. Stable channels of small rivers in cohesive grounds.....	83
Fedosov S.V., Roumyantseva V.Ye. The theory and practice of anticorrosive protection of building designs from aluminum alloys an autosedimentation method. Part I.....	89

УДК 624.074.4

АНДРОСОВА Н.Б., БУХТИЯРОВА А.С., КЛЮЕВА Н.В.

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КРИТЕРИЕВ ЖИВУЧЕСТИ ФРАГМЕНТА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РАМНО-СТЕРЖНЕВОЙ СИСТЕМЫ*

Рассматриваются элементы новой концепции создания и эксплуатации зданий и сооружений. В ее основу положена современная модель защиты объектов недвижимости, базирующаяся на понятиях конструктивной безопасности зданий и сооружений, как характеристики неразрушимости в течение расчетного эксплуатационного периода и живучести, как характеристики неразрушимости при запредельных внешних воздействиях в течение расчетного эвакуационного промежутка времени. В качестве фрагмента разрабатываемой теории приводится решение задачи о критериях живучести железобетонных конструктивных систем в запредельных состояниях.

Ключевые слова: критерий живучести, запредельное состояние.

Elements of the new concept of creation and operation of building and engineering structures are considered. The new modern model of protection of buildings and engineering structures is put in its basis, using concepts of their structural safety as characteristics of integrity during the service time and survivability, as characteristics of integrity at action of extremal external influences during the service time. As a fragment of the developed theory the solution of a problem on criteria of survivability for the structural systems in extremal conditions is demonstrated.

Keywords: criterion of survivability, extremal condition.

Повышение качества безопасности проектируемых конструкций при более экономичном использовании материальных ресурсов, оценка надежности эксплуатируемых и усиливаемых сооружений остается на сегодня одной из важнейших задач строительной отрасли. В рамках новой концепции конструктивной безопасности решены отдельные задачи [1, 2] живучести физически и конструктивно нелинейных строительных систем.

Решение отдельных задач этой проблемы было реализовано в исследованиях последних лет, освещенных в работах Г.А. Гениева, В.И. Травуша, В.М. Бондаренко, Н.И. Карпенко, В.И. Колчунова, Н.В. Ключевой и др. Для проведения экспериментальных исследований был разработан и запатентован способ создания внезапного мгновенного догружения при проведении статических испытаний. Приложение запроектного воздействие осуществлялось путем выключения моментной связи на промежуточной опоре балки или рамы в результате мгновенного хрупкого разрушения закладной детали по заранее прокалиброванному сварному шву. Получаемые в результате таких испытаний опытные значения динамических приращений деформаций, прогибов и ширины раскрытия трещин могут быть использованы для оценки остаточного ресурса (резерва живучести) железобетонных конструкций [3]. Однако эти исследования не распространялись на сложные железобетонные пространственные системы, например, каркасы многоэтажных зданий. В этой связи представляют интерес экспериментально-теоретические исследования стойкости к повреждающим воздействиям пространственной системы, нагруженной проектной и внезапной запроектной нагрузками, а также разработка способа создания в таких системах внезапного догружения.

Практической реализацией этой задачи стали экспериментальные исследования железобетонной конструктивной системы из железобетонных перекрестных рам. Согласно программе экспериментальных исследований был разработан специальный стенд для проведения исследований железобетонной пространственной конструктивной системы на живучесть (рисунок 1).

* Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-64540.2010.8.

Запроектное воздействие в рассматриваемой системе реализовано путем мгновенного выключения из работы линейного элемента центральной опоры пространственной рамы за счет хрупкого разрушения бетонного закладного цилиндра, прокалиброванного на заданную нагрузку. В результате все элементы системы подвергаются динамическому эффекту, который вызывает в них дополнительные усилия и деформации. В процессе испытания фиксировали параметры созданного динамического догружения в оставшихся неразрушенными элементах системы: приращения продольных деформаций соединительных элементов, сжатого и растянутого бетона, перемещений элементов системы, приращения ширины раскрытия трещин при проектной и запроектной нагрузках; характер разрушения опытной конструкции.

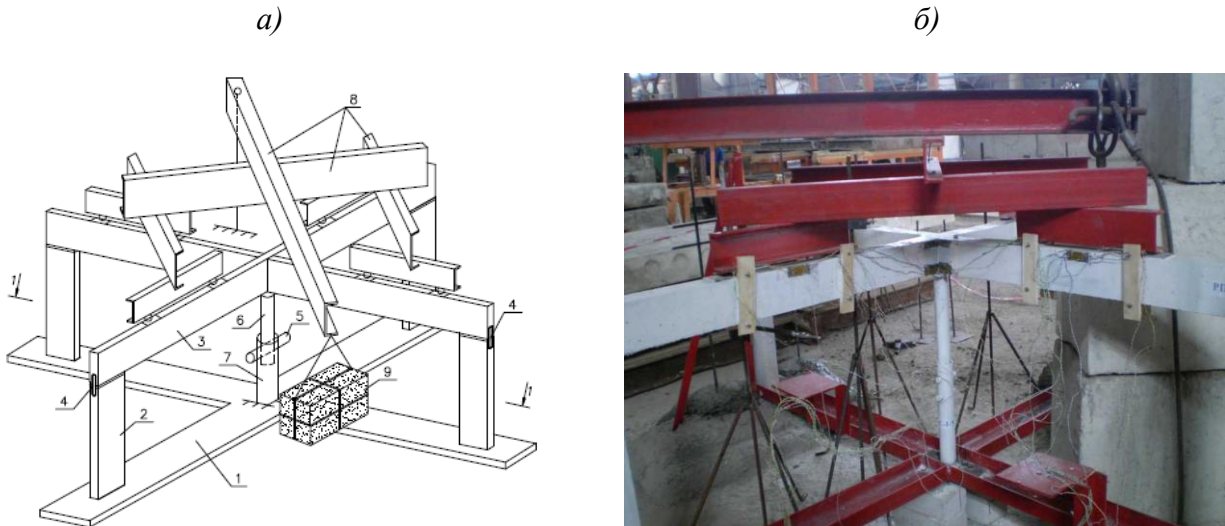


Рисунок 1 – Испытание пространственной конструктивной системы: а – схема перекрестных рам (1 – опорная балка; 2 – стойки; 3 – ригели; 4 – соединительные элементы; 5 – бетонная шпонка; 6, 7 – телескопическая конструкция из двух металлических труб; 8 – рычажная система; 9 – грузовая платформа); б – общий вид испытаний

Для расчета рассматриваемой железобетонной статически неопределимой стержневой системы (рисунок 2, а) на запроектные воздействия предложен неординарный вариант смешанного метода расчета физически и конструктивно нелинейных систем. Особенностью этого метода является то, что основная система рамы выбирается в виде шарнирного полигона с удаленными в местах возможного выключения связями и заменой их неизвестными моментами M_j ($j = 1, 2, \dots, k$). Если при удалении связей образуется геометрически изменяемая основная система, то накладываются дополнительные линейные связи Z_m ($m = k+1, \dots, n$). Пусть при значении параметра нагрузки $\lambda = \lambda_m$ в системе выключится i -ая связь. Выключение связи произойдет в том случае, когда усилие в ней (в расчетном сечении на рисунке 2, б) достигнет предельного значения. На рисунке 2, а эти сечения обозначены соответственно $c_1, c_2, c_3, \dots, c_l$. Найти значение параметра λ_m можно, используя канонические уравнения смешанного метода в варианте, предложенном в работах [2, 4].

Для определения параметра живучести λ в этих уравнениях принята двухчленная форма записи грузовых коэффициентов в виде суммы усилий в выключающихся связях от суммарного воздействия заданной и параметрических нагрузок:

$$M_j = M_{jq} + m_{jp} \cdot \lambda (j = 1, 2, \dots, k), \quad (1)$$

где M_{jq} и m_{jp} – соответственно j -е элементы матриц-столбцов \overline{M}_q и \overline{m}_p .

Выключение связи произойдет в том случае, когда усилие в этой связи достигнет предельного значения. Тогда для всех усилий в выключающихся связях должна удовлетворяться система неравенств:

$$|M_j| \equiv |M_{jq} + m_{jp} \cdot \lambda| \leq M_{j,np}^d (j = 1, 2, \dots, k), \quad (2)$$

где $M_{j,np}^d$ – предельное значение динамического усилия в j -ой связи при внезапном выключении из работы. После определения динамических усилий в сечениях $(n-1)$ раз статически неопределимой стержневой системы вновь проверяются условия прочности сравнением динамических усилий (моментов) в соответствующем сечении с предельными значениями этих усилий для этого сечения $M_{j,np}^d$. Если для всех сечений системы критерий прочности окажется не нарушенным, то параметр внешней нагрузки λ не является предельным и будет возможно его дальнейшее увеличение в области $\lambda \in [1, \lambda_{m=1}]$. На рисунке 2, в приведены зависимость усилия M_i от λ_m для случая выполнения критерия прочности сечений балочной или рамно-стержневой систем после хрупкого разрушения одного из его элементов. Если же после внезапного хрупкого разрушения одного из элементов системы критерий прочности для динамических усилий в других элементах конструктивной системы окажется не выполненным, то произойдет разрушение следующих элементов системы и, возможно, прогрессирующее обрушение всей системы. Чем меньше отношение m/n , тем стойкость к повреждающим воздействиям системы выше и, соответственно, живучесть системы больше.

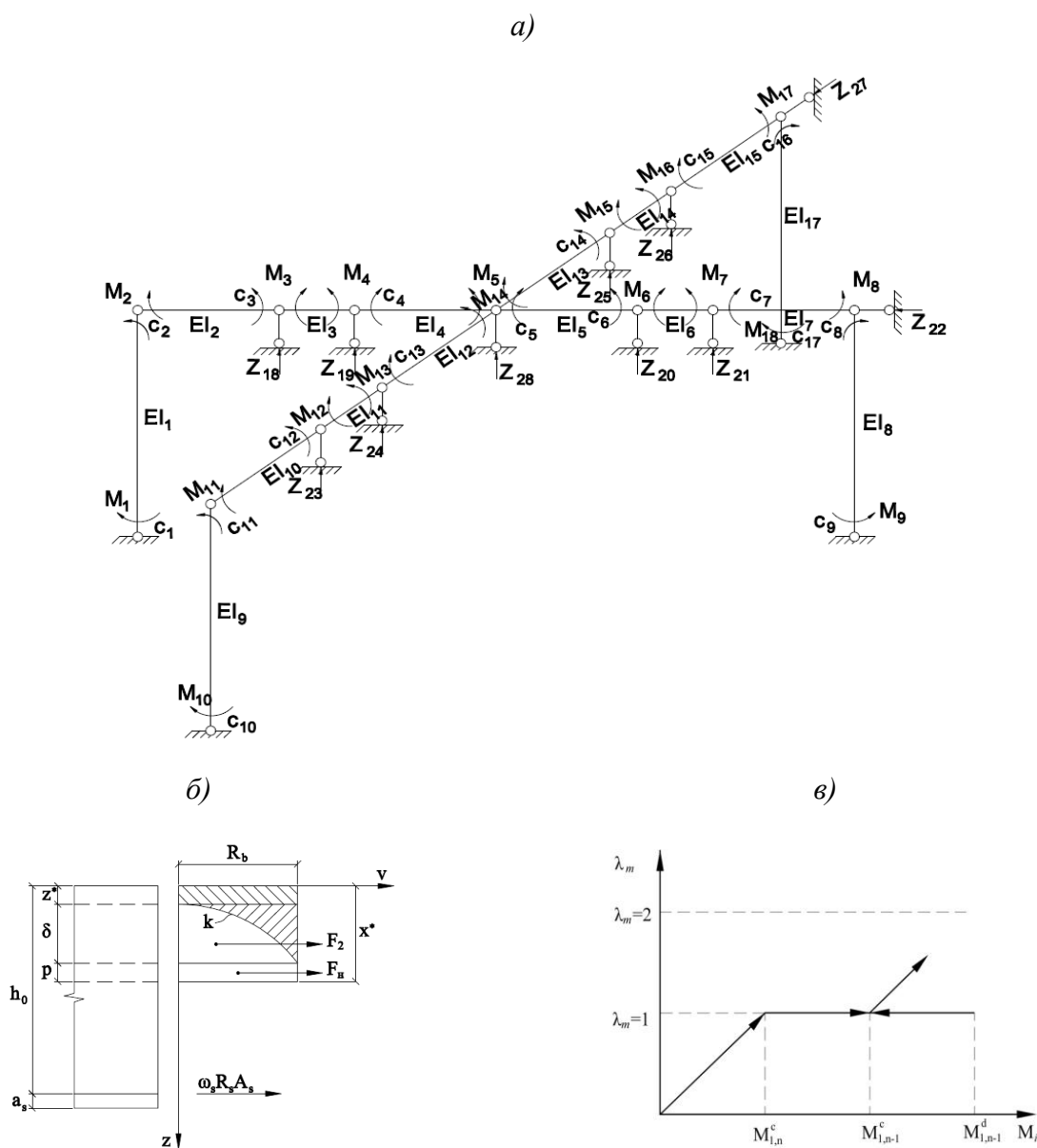
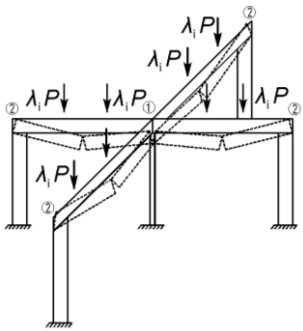
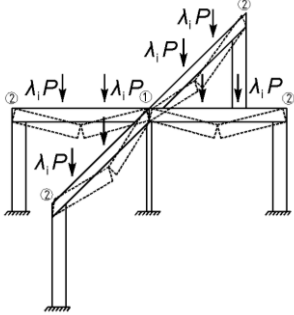


Рисунок 2 – Основная система смешанного метода (а), расчетная схема поперечного сечения (б) и зависимость усилия M_i от параметра внешней нагрузки λ_m (в) при расчете живучести железобетонной пространственной рамы

Сопоставление полученных в опытах картин разрушения опытной пространственной конструкции с полученными расчетом теоретическими схемами разрушения по параметру живучести λ_m подтвердило приемлемость предложенного расчетного аппарата для решения рассматриваемого класса задач. Результаты расчетов по попределению параметра живучести λ_m опытной и расчетной схем разрушения для рассматриваемых конструктивных систем приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчетные схемы разрушения и значения расчетного и опытного параметра живучести λ_m железобетонной пространственной конструктивной системы

№	Шифр опытной конструкции	Схема разрушения и последовательность образования пластических шарниров	Значение λ_m (расчетный/опытный) при		Характер разрушения конструктивной схемы (расчетный)	Экспериментальный характер разрушения конструктивной системы
			$i=1$	$i=2$		
1	ПР – I		6,04	–	Хрупкое разрушение по бетону в узле над центральной стойкой, далее разрушение всей системы, вызванное отсутствием двустороннего армирования узла над центральной опорой и динамических догрузений во всех элементах.	Хрупкое разрушение узла над центральной опорой рамы из-за внезапного выключения этой опоры. Это привело к внезапному уменьшению степени статической неопределенности конструктивной системы на единицу и ее последующему прогрессирующему разрушению.
2	ПР – II		6,23	6,46	Разрушение узла над центральной стойкой, далее разрушении ригелей в пролете.	Раскрытие нормальных трещин и частичное раздробление бетона сжатой зоны.

В результате комплекса проведенных испытаний были выявлены особенности деформирования, трещинообразования и разрушения железобетонной конструктивной системы при динамических догрузениях их элементов от внезапных структурных изменений. Экспериментально установлено, что деформирование, трещинообразование и разрушение конструкции при внезапных динамических догрузениях имеет свои особенности. Важнейшие из них следующие. Внезапное приложение к нагруженной статически неопределимой системе проектной нагрузки вызывает в ней динамические догрузки всех элементов системы. Важнейшим параметром, определяющим интенсивность догрузки железобетонных конструкций являются уровень нагружения конструктивной системы проектной нагрузкой.

Полученные расчетом значения $\lambda_{m=1}$ для опытных конструкции с учетом расчетного времени внезапного воздействия $t^d = 0,09$ с (экспериментальное значение $t^d = 0,1$ с) и увеличения динамических пределов прочности бетона и арматурной стали близки к экспериментальным. Полученная теоретические значения λ_m выполнены без учета времени воздействия t^d количественно отличались от опытных до 27%, что связано с неучетом динамической прочности материалов.

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

Испытаниями фрагмента на рассматриваемое запроектное воздействие установлено прогрессирующее обрушение ригелей пространственной системы, что полностью согласуется с полученными теоретическими значениями коэффициента динамического догружения и значениями изгибающих моментов ($n-I$) раз статически неопределимой рамы.

Из приведенного анализа деформирования и разрушения испытанного фрагмента следует важный практический вывод о том, что принятая при проектном расчете схема опирания перекрестных ригелей над центральной опорой с односторонними моментными связями ведет к прогрессирующему обрушению всей системы при внезапном выключении центральной опоры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко, В.М. К расчету сооружений, меняющих расчетную схему вследствие коррозионных повреждений [Текст] / В.М. Бондаренко, Н.В. Клюева // Известия вузов. Строительство. – 2008. – №1. – С. 4-12.
2. Клюева, Н.В. К построению критериев живучести коррозионно повреждаемых железобетонных конструктивных систем [Текст] / Н.В. Клюева, Н.Б. Андросова // Строительная механика и расчет сооружений. – 2009. – №1. – С. 29-34.
3. Гениев, Г.А. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях [Текст] / Г.А. Гениев, В.И. Колчунов, Н.В. Клюева и др. – М.: АСВ, 2004. – 216 с.
4. Клюева, Н.В. Предложения к расчету живучести коррозионно повреждаемых железобетонных конструкций [Текст] / Н.В. Клюева // Бетон и железобетон. – 2008. – №3. – С. 22-26.

Андросова Наталья Борисовна

ФГОУВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции и материалы»

Тел.: +7 (4862) 73-43-48

E-mail: oantc@ostu.ru

Бухтиярова Анастасия Сергеевна

ФГОУВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел

Старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции и материалы»

Тел.: +7 (4862) 73-43-48

E-mail: oantc@ostu.ru

Клюева Наталья Витальевна

ФГОУВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел

Доктор технических наук, профессор кафедры «Городское строительство и хозяйство»

Тел.: +7 (4862) 76-03-72

E-mail: oantc@ostu.ru

ЭМПИРИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПРОЧНОСТИ КАМЕННОЙ КЛАДКИ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Выполнен анализ существующих критериев прочности каменной кладки, полученных на основании результатов испытаний опытных образцов, приведены механизмы разрушения каменной кладки в условиях сложного напряженного состояния.

Ключевые слова: каменная кладка, разрушение, критерий прочности.

The analysis of existing strength criterion of the masonry gained on the basis of test results of development types is made, gears of destruction of a masonry in the conditions of a complicated stress condition are resulted.

Keywords: masonry, destruction, strength criterion.

Одним из первых эмпирических критериев прочности каменной кладки при плоском напряженном состоянии был критерий предложенный Гениевым Г.А. [1, 2]. На основании анализа обширных экспериментальных данных им была построена поверхность прочности, учитывающая различные механизмы разрушения кладки, как анизотропного материала (рисунок 1).

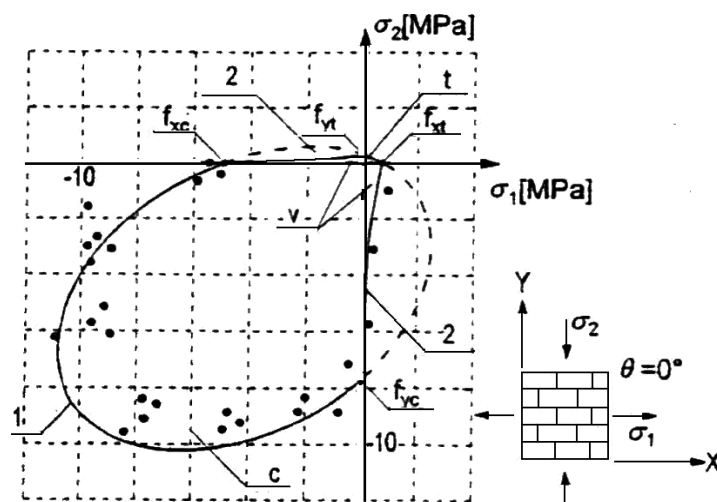


Рисунок 1 – Граничные кривые критерия прочности согласно [1]

При двусосном сжатии разрушение кладки происходит от ее раздробления (на рисунке 1 область с), при двусосном растяжении от разрыва (область t), а при осевом сжатии с растяжением – от сдвига (область v). Указанные области описаны уравнением (1) – при сжатии и растяжении и уравнением (2) – при сдвиге.

$$S_{11}S_{21}\sigma_1^2 - S_{00}^2\sigma_1\sigma_2 + S_{22}S_{12}\sigma_2^2 - (S_{21} - S_{11})\sigma_1 - (S_{12} - S_{22})\sigma_2 \leq 1; \quad (1)$$

$$\sigma_1^2 - 2(1 + k^2)\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2 - 2k(f_{xv} + f_{yv})(\sigma_1 + \sigma_2) + 2(f_{xv} - f_{yv})(\sin 2\theta + k \cos 2\theta)(\sigma_1 - \sigma_2) - 4f_{xv}f_{yv} \leq 0, \quad (2)$$

где $S_{11} = \frac{\cos^2 \theta}{f_{xc}} + \frac{\sin^2 \theta}{f_{yc}};$ (3)

$$S_{22} = \frac{\sin^2 \theta}{f_{xc}} + \frac{\cos^2 \theta}{f_{yc}}; \quad (4)$$

$$S_{21} = \frac{\cos^2 \theta}{f_{xt}} + \frac{\sin^2 \theta}{f_{yt}}; \quad (5)$$

$$S_{12} = \frac{\sin^2 \theta}{f_{xt}} + \frac{\cos^2 \theta}{f_{yt}}; \quad (6)$$

$$S_{00} = \frac{1}{f_{xt} f_{sc}} + \frac{1}{f_{yt} f_{yc}} - \frac{1}{f_{xyc}} \left(\frac{1}{f_{xyc}} + \frac{1}{f_{xt}} - \frac{1}{f_{xc}} + \frac{1}{f_{yt}} - \frac{1}{f_{yc}} \right) - \left(\frac{1}{f_{xc}} - \frac{1}{f_{yc}} \right) \left(\frac{1}{f_{xt}} - \frac{1}{f_{yt}} \right) \sin \theta \cos \theta; \quad (7)$$

f_{xyc} – предел прочности кладки при равномерном двухосном сжатии; k – коэффициент внутреннего трения; θ – угол наклона главных напряжений σ_1, σ_2 ; f_{cx}, f_{cy} – пределы прочности кладки на одноосное сжатие перпендикулярно вертикальным (перевязанным) и горизонтальным (неперевязанным) швам соответственно; f_{tx}, f_{ty} – пределы прочности кладки на одноосное растяжение перпендикулярно вертикальным и горизонтальным швам соответственно; f_{xv}, f_{yv} – пределы прочности кладки на сдвиг по перевязанному (вертикальному) и неперевязанному (горизонтальному) сечениям соответственно.

На рисунке 1 поверхность прочности согласно зависимости (1) изображена кривой 1 в виде эллипса, а согласно зависимости (2) в виде гиперболы 2. Точками на рисунке 1 показаны результаты испытаний образцов кладки заимствованные из работ [3, 4, 6].

Следует отметить, что рассматриваемый критерий прочности был использован авторами настоящей статьи для прочностного анализа кирпичной кладки стен, в которых имело место сложное напряженно-деформированное состояние [9, 10].

Практическое применение этого критерия прочности требует знания прочностных характеристик кладки ($f_{cx}, f_{cy}, f_{tx}, f_{ty}, f_{xv}, f_{yv}$), которые можно получить путем проведения достаточно трудоемких и дорогостоящих испытаний лабораторных образцов.

Подобный эмпирический критерий прочности разработал Page A. [3, 4] на основе испытаний образцов кирпичной кладки из полнотелого кирпича на известково-цементном растворе (102 образца были подвергнуты двусосному сжатию и 89 образцов двусосному сжатию с растяжением). Усилия прикладывались под разными углами θ относительно горизонтальных растворных швов. Результаты исследований приведены на рисунке 2а в виде граничных кривых. На их основании предложена аппроксимирующая зависимость (8) изображенная прерывистой линией на рисунке 2, в.

$$A\sigma_n^2 + B\sigma_p^2 + C\tau^2 + D\sigma_n\sigma_p + E\sigma_n + F\sigma_p + 1 = 0, \quad (8)$$

$$\text{где } \sigma_n = \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \right) + \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \right) \cos 2\theta; \quad (9)$$

$$\sigma_p = \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \right) - \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \right) \cos 2\theta; \quad (10)$$

$$\tau = \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \right) \sin 2\theta; \quad (11)$$

θ – угол наклона главных напряжений σ_1, σ_2 .

Напряжения σ_p, σ_n, τ являются составляющими главных напряжений σ_1, σ_2 , определенными относительно горизонтальных растворных швов (рисунок 2, б).

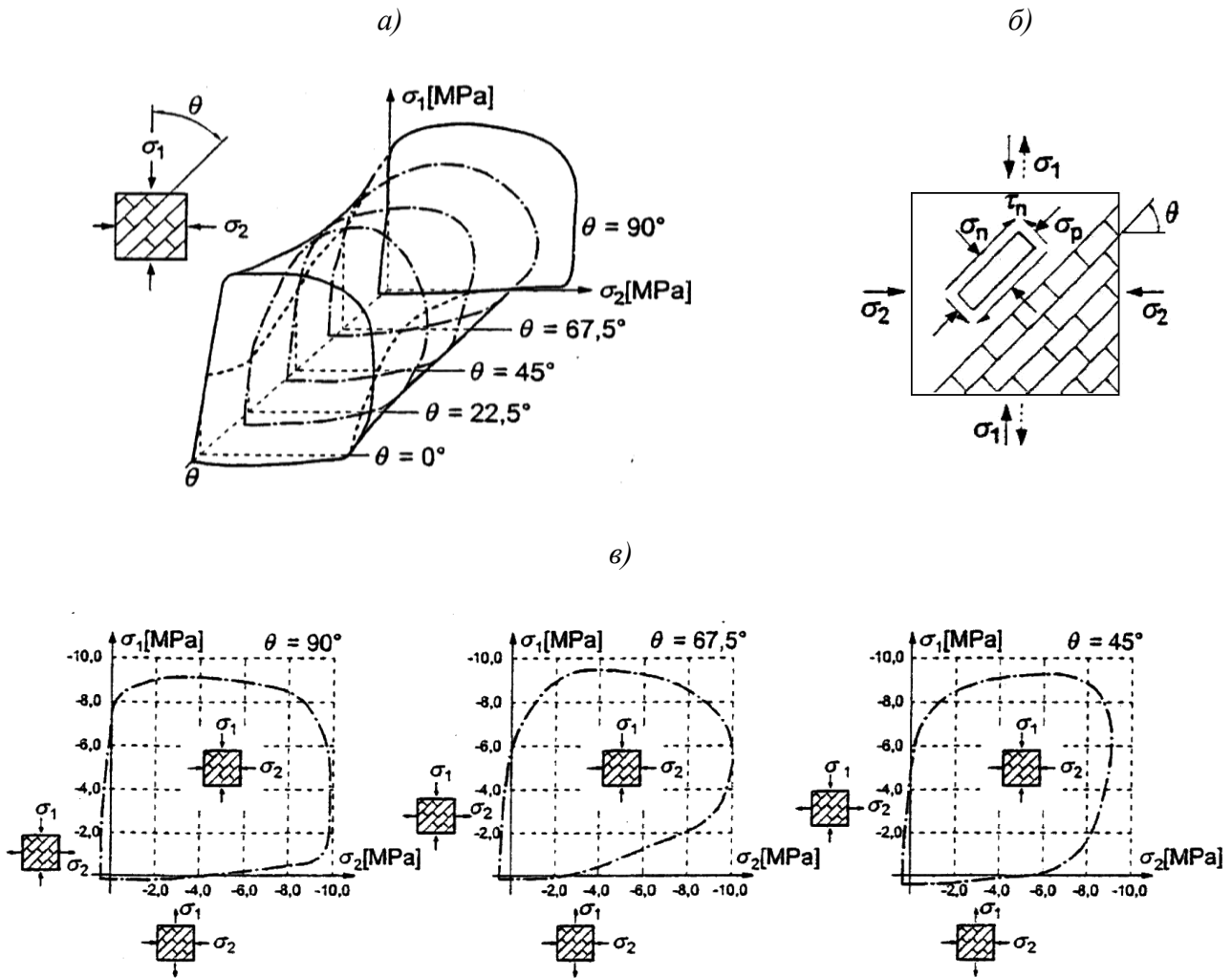


Рисунок 2 – Граничные поверхности прочности образцов Кладки при двuosном сжатии

На рисунке 3,а показаны кривые прочности, полученные в результате испытаний образцов кладки при двuosном растяжении со сжатием [5, 6]. При проведении указанных испытаний растягивающие напряжения составляли около 3,5% от прочности кладки при одноосном сжатии. Анализируя экспериментальные зависимости можно сделать вывод, о существенном влиянии на характер разрушения кладки даже незначительных растягивающих напряжений и углов наклона линии действия главных растягивающих напряжений к горизонтальным швам кладки. На основе выполненных исследований Page A. и Hendry A. [7, 8] предложили критерий прочности в виде трехмерной поверхности с координатами σ_1 , σ_2 и θ (рисунок 3, б), описанный зависимостью (12).

$$\sigma_1 = 0,7e^{-0,14\sigma_2} - 1,34 \frac{\theta}{\pi} - 0,02, \quad (12)$$

где σ_1 , σ_2 – соответственно главные напряжения растяжения и сжатия МПа; θ – угол между направлением действия напряжений σ_1 и горизонтальными швами кладки.

На рисунке 4 приведен характер разрушения опытных образцов кладки при различных видах напряженного состояния и ориентации растворных швов [3-5]. Результаты исследований показывают, что образование трещин в опытных образцах может происходить под любым углом относительно горизонтальных растворных швов кладки.

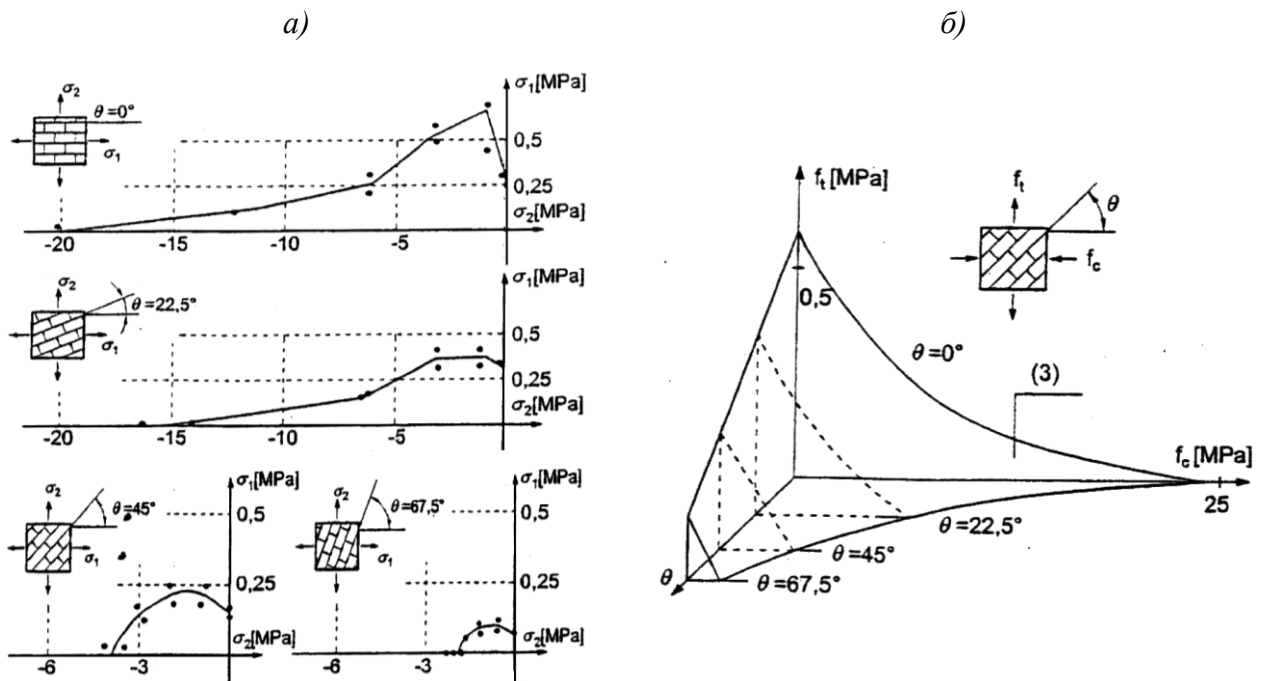


Рисунок 3 – Граничные поверхности прочности опытных образцов кладки при двухосном растяжении со сжатием

Угол θ	Растяжение	Растяжение со сжатием	Сжатие
0°			
$22,5^\circ$			
45°			
$67,5^\circ$			
90°			

Рисунок 4 – Характер разрушения опытных образцов кирпичной кладки

Можно привести еще несколько критериев прочности кирпичной кладки, форма поверхности прочности, которых получена на основании аппроксимации результатов испытанных опытных образцов. Полученные таким образом критерии не обладают универсальностью, так как относятся к конкретным типам кирпичной кладки, отличающихся видом кирпича и раствора и их физико-механическими характеристиками. Данные критерии редко применяются для анализа прочности каменных конструкций, поскольку требуют проведения сложных испытаний образцов каменной кладки в условиях двуосного нагружения. В связи с этим при оценке прочности каменных конструкций предпочтение отдается теоретическим критериям прочности каменной кладки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гениев, Г.А. Вопросы прочности и пластичности анизотропных материалов [Текст] / Г.А. Гениев, А.С. Курбатов, Ф.А. Самедов. – М: Интербук, 1994. – 187 с.
2. Geniev G.A., Malyszko L. Selected strength and plasticity problems of anisotropic structural materials. Proc. of the international symposium IASS Polis Chapter, Wydawnictwo Naukowe. – Warsaw, 2002. – 8s.
3. Page A.W. An Experimental Investigation of the Biaxial Strength of Brick Masonry. Proceedings of the Sixth International Brick Masonry Conference, Rome, 1982. – s. 3-15.
4. Page A.W. The strength of brick masonry under biaxial compression-tension. Int. J. Masonry Constr. 3(1), 1983. – s. 26-31.
5. Dhanasecar M., Page A.W., Kleeman P.W. The Failure of Brick Masonry under Biaxial Stresses. Proc. Int. Civil Engineering, 2(79), 1985. – s. 295-313.
6. Samarasinghe W., Hendry A.W. Strength of brickwork under biaxial tension- compression. International Symposium on Load-Bearing Brickwork. – London, 1980. – 10 p.
7. Hendry A.W., Sinha B.P., Davies S.R. Design of Masonry Structures. Third edition of Load Bearing Brickwork Design, E &EN Spon. – London, 1997. – s. 271.
8. Hendry A.W. Structural masonry. MacMillan Education. – London, 1990. – s. 284.
9. Orlowicz R., Malyszko L. Wytrzymałosc murów w złożonym stanie napreżenia. XLII Konferencja naukowa Komitetu inżynierii lądowej i wodnej PAN. – Krakow-Krynica, 1996. – 8 p.
10. Деркач, В.Н. Повреждения кирпичной облицовки многослойных стен, вызванные прогибами дисков перекрытий [Текст] / В.Н. Деркач // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. тр. в 2 ч. Ч.1 Бетонные и железобетонные конструкции. – Минск: Минсктиппроект, 2009. – С. 199-209.

Деркач Валерий Николаевич

Филиал Республиканского унитарного предприятия «Институт БелНИИС», «Научно-технический центр», Республика Беларусь, г. Брест
Кандидат технических наук
Тел.: +375 (162) 41-19-61
E-mail: v-derkatch@yandex.ru

Орлович Ромуальд Болеславович

Западно-Померанский технологический университет, Республика Польша, г. Щецин
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции»
E-mail: orlowicz@mail.ru

ИЛЬИЧЕВ В.А., НИКИФОРОВА Н.С., ТУПИКОВ М.М.

РАСЧЕТ ОСАДОК ЗДАНИЙ ПРИ ПРОКЛАДКЕ МЕЛКОЗАГЛУБЛЕННЫХ КОММУНИКАЦИОННЫХ ТОННЕЛЕЙ И МЕРЫ ПО ИХ СНИЖЕНИЮ

Прокладка щитовым способом сервисных и коммуникационных тоннелей в условиях плотной городской застройки приводит к нежелательным осадкам зданий, находящихся непосредственно над или вблизи подземной выработки. В данной работе объектом исследований является коммуникационный тоннель мелкого заложения, строительство которого ведется в близкой к поверхности слоях грунта, что приводит к повышенному влиянию на окружающую застройку. Поэтому актуальной является задача об определении осадок зданий, находящихся в зоне влияния такого строительства, разработке комплекса мер по модернизации технологии проходки для снижения этого влияния, в особенности в случаях, когда нет возможности применить иные защитные мероприятия для зданий (усиление фундамента, закрепление грунтового массива над подземной выработкой и т.д.).

Ключевые слова: осадки поверхности и зданий, мелкозаглубленные коммуникационные тоннели, коэффициент перебора грунта, эмпирико-аналитический метод прогноза осадок

Construction of service tunnels by tunnel boring machines in building density areas gives the undesirable settlements of buildings, located directly above or near the underground workings. In this paper, the object of research is the shallow service tunnel. Its construction is close to the surface, and influence on the surrounding buildings of this construction needs of an increased impact. That is why the prediction of building settlements and reduction of this influence, based measures to modernize the boring technology, especially in cases where there is no possibility to use other protective measures for buildings are an actual problems.

Keywords: surface and building settlement, shallow service tunnel, loss of ground, correction coefficients, empirical-analytical method for prediction of settlements

К коммуникационным тоннелям мелкого заложения относятся тоннели диаметром $D = 3 \div 4$ м и глубиной заложения $H = 4 \div 8$ м, имеющие относительную глубину заложения $H/D = 1 \div 2,5$.

Нами были проведены сопоставления замеренных осадок поверхности в условиях «зеленой лужайки» (без зданий на поверхности) [6] с расчетными значениями, полученными по формулам эмпирического метода прогноза деформаций поверхности над транспортными тоннелями глубокого заложения большого диаметра, предложенного Peck R.B. (1969) [1], далее развитого Burland J.B., Standing J.R. and Jardine F.M. (2001) [2], и его модификации, разработанной Clough G. W. и Schmidt B. (1981) [3]. Результаты сопоставления показали возможность использования двух рассмотренных методов к исследованию деформаций поверхности при прокладке коммуникационных тоннелей мелкого заложения с корректировкой коэффициентов. Для предварительных прогнозов и дальнейших исследований нами был выбран эмпирический метод Peck R.B. et al, т.к. графики осадок этого метода показали однообразное отклонение от графиков натуральных наблюдений. На базе объектов натуральных и численных исследований был разработан метод прогнозирования деформаций поверхности при сооружении коммуникационных тоннелей мелкого заложения [7].

Осадки зданий при прокладке коммуникационных тоннелей мелкого заложения

Для определения осадок зданий при прокладке коммуникационного тоннеля мелкого заложения необходимо установить зависимость, включающую такие параметры, как вес здания, его жесткость, удаленность от шельги коммуникационного тоннеля, глубину и диаметр коммуникационного тоннеля и деформируемость грунта. Для этого была решена задача о

балке на упругом винклеровском основании с заданным смещением линии опор, описанным формулой вертикальных перемещений упомянутого выше составленного метода прогнозирования деформаций при сооружении коммуникационных тоннелей мелкого заложения. Здание поперечного расположения в плане относительно трассы коммуникационного тоннеля моделировалось балкой бесконечной (для случая, когда здание располагается над трассой тоннеля, рисунок 1, а) и полубесконечной длины (когда здание расположено на некотором расстоянии по поверхности грунта от оси тоннеля, рисунок 1, б). Аналогичный, описанный ниже подход предложен и применен в работе Никифоровой Н.С. [10] для прогнозирования деформаций зданий в зоне влияния глубоких котлованов.

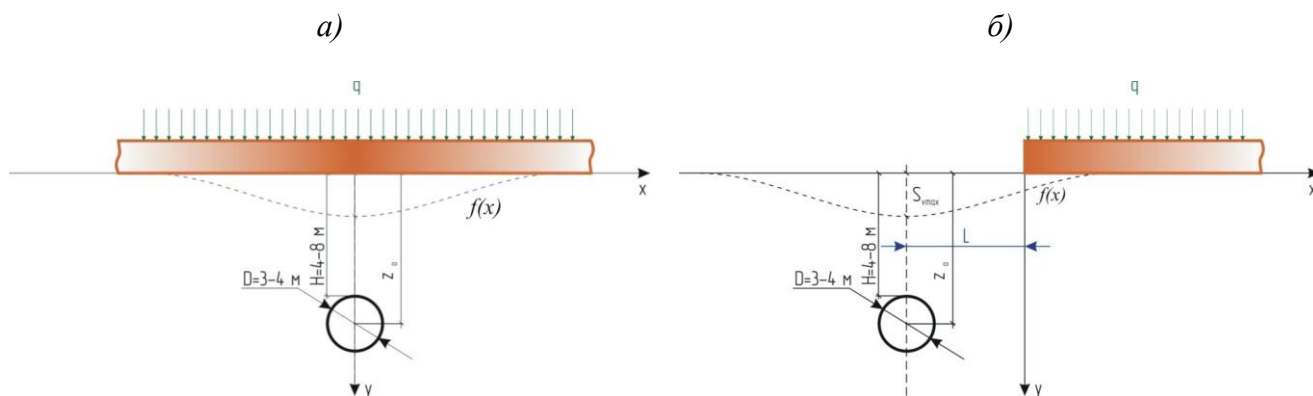


Рисунок 1 – Схема взаимного расположения балки бесконечной (а) и полубесконечной (б) длины и коммуникационного тоннеля мелкого заложения с заданным смещением линии опор $f(x)$

Дифференциальное уравнение прогибов балки описывается выражением (1).

$$EJ \frac{d^4 y(x)}{dx^4} + k \cdot y(x) = q(x) + k \cdot f(x), \quad (1)$$

где EJ – изгибная жесткость балки; k – коэффициент постели основания; $q(x)$ – нагрузка на балку; $f(x)$ – заданное смещение линии опор балки.

Граничные условия в случае бесконечной балки имеют следующий вид. Балка нагружена сосредоточенной силой P . Ввиду симметричности рассматривается только правая часть балки.

$$-EJ \frac{d^3 y}{dx^3} \Big|_{x=0} = -\frac{P}{2}; \quad y(x) \Big|_{x=\infty} = 0; \quad -EJ \frac{dy}{dx} \Big|_{x=\infty} = 0, \quad -EJ \frac{d^2 y}{dx^2} \Big|_{x=\infty} = 0; \quad -EJ \frac{d^3 y}{dx^3} \Big|_{x=\infty} = 0.$$

Граничные условия в случае полубесконечной балки имеют следующий вид. Балка нагружена сосредоточенной силой P на левом конце.

$$-EJ \frac{d^3 y}{dx^3} \Big|_{x=0} = -P; \quad -EJ \frac{d^2 y}{dx^2} \Big|_{x=0} = 0; \quad y(x) \Big|_{x=\infty} = 0; \quad -EJ \frac{dy}{dx} \Big|_{x=\infty} = 0; \quad -EJ \frac{d^2 y}{dx^2} \Big|_{x=\infty} = 0; \\ -EJ \frac{d^3 y}{dx^3} \Big|_{x=\infty} = 0.$$

В формуле (1) $f(x)$ – вертикальное перемещение поверхности по методу прогнозирования осадок поверхности при сооружении коммуникационных тоннелей мелкого заложения [7] вида (2).

$$f(x) = S_v(x) = C_1 \cdot S_{vmax} \times e^{-\frac{C_2 \cdot x^2}{2l_x^2}}, \quad (2)$$

где C_1 и C_2 – коэффициенты, определяемые по формулам (3, а) и (3, б); S_{vmax} – максимальное вертикальное перемещение, определяемое по формуле (4); l_x – расстояние до точки перегиба на графике осадки поверхности, определяемое по формулам (5, а) для однородных оснований и (5, б) для слоистых оснований.

$$C_1(\chi) = 1,525 - 1,147 \cdot \chi + 0,353 \cdot \chi^2; \quad (3, a)$$

$$C_2(\chi) = 1,23 - 0,871 \cdot \chi + 0,212 \cdot \chi^2; \quad (3, б)$$

$$S_{v\max} = (0,313 \cdot V_L \cdot D^2 / l_x), \quad (4)$$

где V_L – относительный объем потерь грунта при разработке тоннеля.

$$l_x = K \cdot z_0, \quad (5, a)$$

где K – параметр, зависящий от типа грунта ($K = 0,2 \dots 0,3$ для сыпучих грунтов; $K = 0,4 \dots 0,5$ – для твердых глин; $K = 0,7$ – для мягкопластичных и текучепластичных глин); z_0 – расстояние от поверхности до оси тоннеля.

$$l_x = \sum_{i=1}^{n-1} K_i \cdot h_i + K_n \cdot h_n, \quad (5, б)$$

где n – количество слоев грунта в разрезе, h_i – толщина i -го слоя грунта.

Согласно проф. Б.Г. Кореневу [9] решение задачи о прогибе бесконечной и полубесконечной балки имеет вид (6, а) и (6, б) соответственно:

$$y_I(x) = \frac{P}{8\lambda^3 EJ} \cdot e^{-\lambda x} (\cos \lambda x + \sin \lambda x); \quad (6, a)$$

$$y_{II}(x) = \frac{P}{2\lambda^3 EJ} \cdot e^{-\lambda x} \cdot \cos \lambda x, \quad (6, б)$$

где $\lambda = \sqrt[4]{\frac{k}{4EJ}}$.

Перепишем (6, а) и (6, б) в виде:

$$y(x) = P \cdot K_i(x),$$

где $K_i(x)$ – соответствующая линия влияния нагрузки P на величину прогиба балки.

Для произвольной нагрузки $p(\xi)$ выражение для прогибов имеет следующий вид:

$$y(x) = \int_0^{\infty} p(\xi) \cdot K_i(x - \xi) d\xi. \quad (7)$$

В случае прогибов балки, вызванных сооружением коммуникационного тоннеля мелкого заложения, выражение (7) принимает вид (8, а) в случае бесконечной балки и (8, б) в случае полубесконечной балки.

$$y_I(x) = \int_0^{\infty} k \cdot f(x) \cdot K_i(x - \xi) d\xi; \quad (8, a)$$

$$y_{II}(x) = \int_0^{\infty} k \cdot f(x + L) \cdot K_i(x - \xi) d\xi, \quad (8, б)$$

где L – расстояние по поверхности от шельги коммуникационного тоннеля до здания.

Таким образом, задача о прогибе балки сводится к вычислению интегралов (8, а) и (8, б). Полученные выражения для прогибов бесконечной и полубесконечной балки соответственно имеют вид:

$$y_I(x) = \frac{k \cdot \alpha}{8\lambda^3 EJ} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{\beta}} \cdot (e^{-\lambda x} \cdot (\cos\left(-\frac{1}{2\beta} \lambda^2 + \lambda x\right) - (a \cos\left(-\frac{1}{2\beta} \lambda^2 + \lambda x\right) - b \sin\left(-\frac{1}{2\beta} \lambda^2 + \lambda x\right))) + e^{-\lambda x} \cdot e^{\frac{\pi}{2}} \cdot (\cos\left(-\frac{1}{2\beta} \lambda^2 + \lambda x - \frac{\pi}{2}\right) - a \cos\left(-\frac{1}{2\beta} \lambda^2 + \lambda x - \frac{\pi}{2}\right) - b \sin\left(-\frac{1}{2\beta} \lambda^2 + \lambda x - \frac{\pi}{2}\right)));$$

$$y_{II}(x) = \frac{k \cdot \alpha}{4\lambda^3 EJ} \cdot e^{-\lambda x - \lambda L} \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{\beta}} \cdot (\cos\left(\lambda L - \frac{1}{2\beta} \lambda^2 + \lambda x\right) - (a \cos(\lambda L - \frac{1}{2\beta} \lambda^2 + \lambda x) - b \sin(\lambda L - \frac{1}{2\beta} \lambda^2 + \lambda x))).$$

В компактной форме выражение для осадок зданий представлено формулой (9, а) для случая, когда здание протяженной длины расположено над тоннелем и (9, б), когда здание расположено на некотором расстоянии по поверхности грунта от оси тоннеля.

$$S_I(x) = (\delta_I \cdot \gamma_I(x) + \frac{q}{k}); \quad (9, a)$$

$$S_{II}(x) = (\delta_{II} \cdot \gamma_{II}(x) + \frac{q}{k}). \quad (9, б)$$

Параметры формул (9а) и (9б) имеют следующий вид:

$$\alpha = C_1 \cdot S_{v\max}; \quad \beta = \frac{C_2}{2l_x^2}; \quad \lambda = \sqrt[4]{\frac{k}{4EJ}}; \quad A_1 = \frac{1}{8\lambda^3 EJ}; \quad A_2 = \frac{1}{2\lambda^3 EJ}; \quad \delta_I = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{\beta}} \cdot k \cdot \alpha \cdot A_1;$$

$$N_I(x) = -\frac{1}{2\beta} \lambda^2 + \lambda x; \quad \delta_{II} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{\beta}} \cdot k \cdot \alpha \cdot A_2; \quad N_{II}(x) = \lambda x + \lambda L - \frac{\lambda^2}{2\beta};$$

$$\gamma_I(x) = e^{-\lambda x} \cdot ((\cos(N_I(x)) - a \cos(N_I(x)) - b \sin(N_I(x)))) + e^{\frac{\pi}{2}} \cdot (\sin(N_I(x)) - a \sin(N_I(x)) + b \cos(N_I(x)));$$

$$\gamma_{II}(x) = e^{-\lambda(x+L)} \cdot (\cos(N_{II}(x)) - a \cos(N_{II}(x)) - b \sin(N_{II}(x))).$$

Здесь a и b – параметры, для которых автором составлены таблицы значений в зависимости от L, β, λ .

Получены выражения для изгибающих моментов для случая бесконечной балки и полубесконечной балки соответственно.

$$M_I = -EJ \frac{d^2 y}{dx^2} = -EJ \cdot (\delta_I \lambda^2 e^{-\lambda x} (\cos(N_I(x)) - a \cos(N_I(x)) + b \sin(N_I(x)) + e^{\frac{\pi}{2}} (\sin(N_I(x)) - a \sin(N_I(x)) - b \cos(N_I(x)))) - 2\delta_I \lambda e^{-\lambda x} (-\sin(N_I(x))\lambda + a \sin(N_I(x))\lambda + b \cos(N_I(x))\lambda + e^{\frac{\pi}{2}} (\cos(N_I(x))\lambda - a \cos(N_I(x))\lambda + b \cos(N_I(x))\lambda) + \delta_I e^{-\lambda x} (-\cos(N_I(x))\lambda^2 + a \cos(N_I(x))\lambda^2 - b \sin(N_I(x))\lambda^2) + e^{\frac{\pi}{2}} (-\sin(N_I(x))\lambda^2 + a \sin(N_I(x))\lambda^2 + b \cos(N_I(x))\lambda^2)).$$

$$M_{II} = -EJ \frac{d^2 y}{dx^2} = -EJ \cdot (\delta_{II} \lambda^2 e^{-\lambda(x+L)} (\cos(N_{II}(x)) - a \cos(N_{II}(x)) + b \sin(N_{II}(x))) - 2\delta_{II} \lambda e^{-\lambda(x+L)} (-\sin(N_{II}(x))\lambda + a \sin(N_{II}(x))\lambda + b \cos(N_{II}(x))\lambda) + \delta_{II} e^{-\lambda(x+L)} (-\cos(N_{II}(x))\lambda^2 + a \cos(N_{II}(x))\lambda^2 - b \sin(N_{II}(x))\lambda^2) + a \cos(N_{II}(x))\lambda^2 - b \sin(N_{II}(x))\lambda^2) /$$

Для определения величины EJ для зданий различной этажности можно воспользоваться таблицей 1. Эта таблица рекомендована J.N. Franzius & T.I. Addenbrooke [11] и использована в работе [10] для определения влияния веса и жесткости здания на осадку поверхности над тоннелем. При этом считается, что n -этажное здание состоит из $n+1$ перекрытий.

Величину коэффициента постели k можно ориентировочно принимать согласно рекомендациям С.Б. Ухова и др., 1994: $(0,3...0,9) \times 10^4$ кН/м³ – при $E_0 < 10$ МПа; $(1...2,9) \times 10^4$ кН/м³ – при $E_0 = 10...20$ МПа; $(3...8) \times 10^4$ кН/м³ – при $E_0 = 21...35$ МПа [12].

Таблица 1

Здание	$EJ, \text{кНм}^2/\text{м}$
Плита	$6,47 \times 10^3$
1 этаж	$2,00 \times 10^7$
3 этажа	$6,00 \times 10^8$
5 этажей	$6,98 \times 10^8$
10 этажей	$4,39 \times 10^9$

Рассмотрим пример: здание по улице Грузинский вал, д. 31. Здание одноэтажное, кирпичное, прямоугольного очертания в плане (рисунок 2).

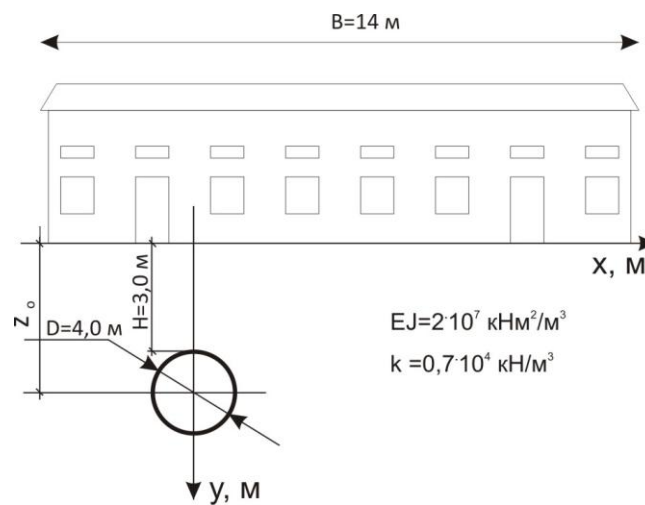


Рисунок 2 – Схема здания и коммуникационного тоннеля

Коммуникационный тоннель сооружается тоннелепроходческим комплексом Lovat RME 163 SE. Коммуникационный тоннель имеет диаметр $D = 4,0$ м. В рассматриваемом сечении глубина заложения коммуникационного тоннеля составляет $H = 3,0$ м. Нагрузка на фундаменты составляет: $q = 26 \text{ кН/м}^2$. Графики осадок зданий, полученных численным моделированием по программе Plaxis в плоской постановке с использованием модели Кулона-Мора, натурные данные и полученный с использованием формулы (9, б) эмпирико-аналитического метода представлены на рисунке 3.

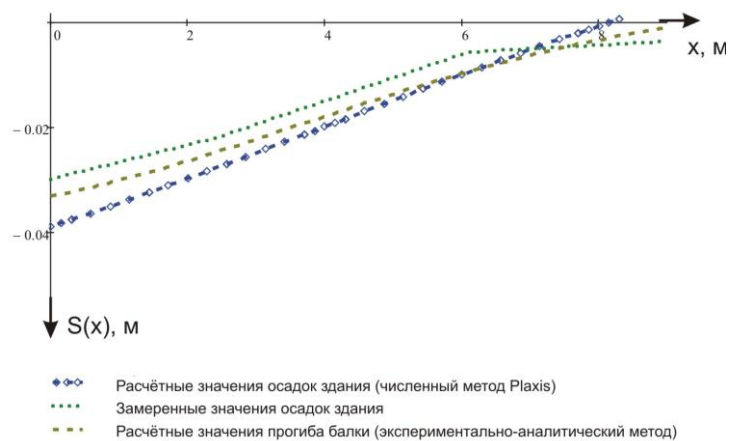


Рисунок 3 – Графики осадок здания и прогиба балки

Меры по модернизации технологического регламента проходки

Защитные мероприятия для зданий и коммуникаций в зоне влияния строительства коммуникационных тоннелей мелкого заложения являются аналогичными применяемым мероприятиям при проходке глубоких транспортных тоннелей.

На основе анализа работы тоннелепроходческого комплекса и с учетом ее специфики в дополнение к перечисленным известным методам авторами был представлен еще один. К основным методам для уменьшения влияния этого явления относятся:

- 1) использование цементно-песчаной смеси, нагнетаемой в заобделочное пространство, обладающей свойствами, позволяющими ей некоторое время не расслаиваться в воде;
- 2) нагнетание тампонажной смеси в наиболее близко отстоящее от хвоста щитового комплекса кольцо обделки при устройстве крепи коммуникационного тоннеля (однако кольцо обделки должно быть выбрано с тем условием, чтобы нагнетаемая смесь не мешала технологическим элементам проходки);
- 3) увеличение густоты цементного раствора, если это представляется возможным, с целью ограждения от повреждения щеток хвостового уплотнения тоннелепроходческого комплекса;
- 4) равенство объемов закачиваемой бетонной смеси и освободившегося вследствие продвижения щита пространства;
- 5) непрерывный по мере продвижения тоннелепроходческого комплекса процесс закачивания смеси.

Метод был применен в условиях проходки коммуникационного тоннеля мелкого заложения вдоль улицы Грузинский вал в Москве. Схема применения описанных мер представлена на рисунке 4.

При прохождении щита под домом по адресу Грузинский вал, д. 23-25, стр. №2 наблюдалось снижение его осадок до 7 раз – с 70 до 10 мм (рисунок 5) вследствие применения мер по модернизации технологического регламента проходки.

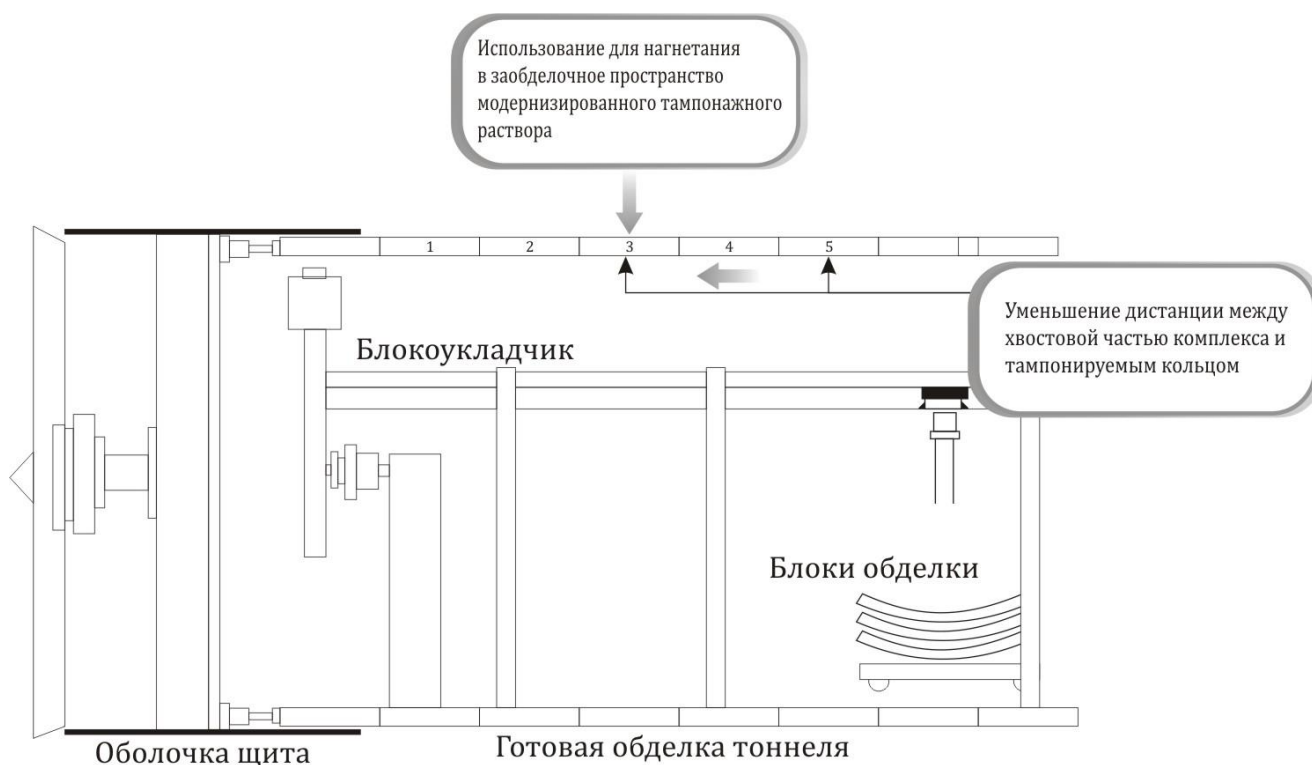


Рисунок 4 – Схема применения мер по модернизации технологии проходки при проходке коллектора дождевой канализации вдоль улицы Грузинский вал в Москве

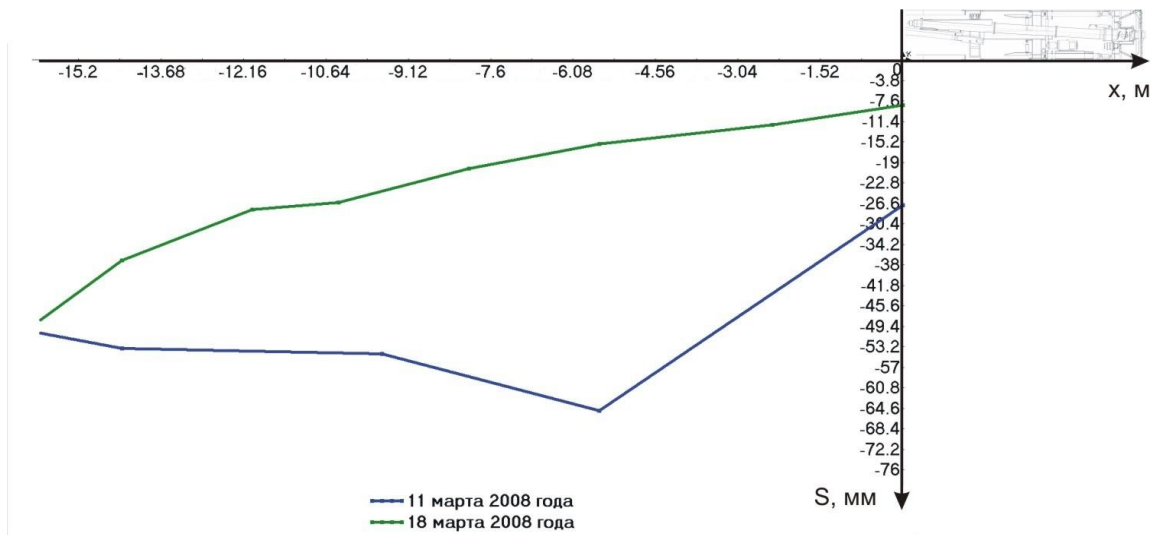


Рисунок 5 – Осадки здания по адресу: г. Москва, Грузинский вал, д. 23-25, стр. 2 до (11.03.08) и после (18.03.08) модернизации технологического регламента проходки

Выводы

1. Были получены формулы осадки здания протяженной длины над коммуникационным тоннелем мелкого заложения путем решения задачи о прогибе балки бесконечной длины с заданным смещением линии опор, описывающем вертикальные деформации поверхности грунта при прокладке коммуникационного тоннеля мелкого заложения.
2. Аналогичные выкладки были сделаны для здания, моделируемого как полубесконечная балка, т.е. здания, отстоящего на некотором расстоянии по поверхности от шельги коммуникационного тоннеля мелкого заложения.
3. В дополнение к известным методам снижения воздействия от строительства коммуникационных тоннелей мелкого заложения были предложены меры по усовершенствованию технологии проходки тоннелей малыми щитами, включающие изменение свойств закачиваемой в заобделочное пространство цементно-песчаной смеси и технологии тампонирования.
4. Внедрение на объекте мер по модернизации технологического регламента щитовой проходки привело в условиях водонасыщенных мелких песков к значительному (до 7 раз – с 70 до 10 мм) снижению осадок окружающей застройки при строительстве коммуникационного тоннеля мелкого заложения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Peck, R B Deep excavation and tunnelling in soft ground. State of the art report // Proc 7th Int Conf SMFE. – Mexico City, 1969. – pp. 147-150.
2. Burland, J.B., Standing, J.R. and Jardine F.M. Building response to tunnelling. Case studies from construction of the Jubilee Line Extension, London, vol.1: projects and methods. – London, UK: Imperial College, CIRIA, 2001. – 344 p.
4. Clough, G.W. & Schmidt, B. Design and performance of excavations and tunnels in soft clay. In Soft Clay engineering, Brand, E.W. & Brenner, R. eds, 1981. – pp. 569-634.
5. Рекомендации «Оценка влияния проходки коллекторов на осадки окружающих зданий и подземных сооружений». – М.: АНО АНТЦ РААСН, 2007.
6. Pyichev V.A., Kononov P.A., Nikiforova N.S., Tupikov M.M. Prediction of surface deformations, caused by shallow service tunnels construction activities in Moscow // Proc 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (17th ICSMGE). – Egypt, Alexandria, 2009. – pp. 1993-1996.
7. Ильичев, В.А. Применение эмпирического метода Р.Б. Пека и его модификации для прогноза деформаций поверхности над мелкозаглубленными коммуникационными тоннелями в Москве [Текст] / В.А. Ильичев, Н.С. Никифорова, М.М. Тупиков. Вестник гражданских инженеров. – Санкт-Петербург. – 2009. – №3 (20).

8. Ильичев, В.А. Деформации поверхности при прокладке мелкозаглубленных коммуникационных тоннелей [Текст] / В.А. Ильичев, Н.С. Никифорова, М.М. Тупиков // Строительство и реконструкция. – Орел: ОрелГТУ. – 2009. – № 6/26 (574) (ноябрь-декабрь).
9. М.М.Тупиков. Prediction of deformation of surfaces and Buildings due to shallow service tunnels construction. // Proc 20 European Young Geotechnical Engineering Conference. (20th EYGEC) – Czech Republic, Brno, 2010, pp. 300-307.
10. Коренев, Б.Г. «Вопросы расчета балок и плит на упругом основании». М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1954.
11. Никифорова, Н.С. Закономерности деформирования оснований зданий вблизи глубоких котлованов и защитные мероприятия [Текст] / Автореферат дис. Докт. Техн. наук. – М., 2008. – 34 с.
12. Franzius, J N & Addenbrooke, T.I. The influence of building weight on the relative stiffness method of predicting tunnelling-induced building deformation // Proc. the 3rd Int. Symp. (IS-Toulouse 2002) «Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground» 1st Session: Design methods of tunnels: Stability, settlements, and tunnel linings. – Toulouse, France, 23-25 October, 2002. – pp. 53-57.
13. Ухов С.Б. Механика грунтов, основания и фундаменты [Текст] / С.Б. Ухов, В.В. Семенов, В.В. Знаменский и др. – М.: АСВ, 1994. – 527 с.

Ильичев Вячеслав Александрович

Российская академия архитектуры и строительных наук, АНО АНТЦ РААСН, г. Москва
Первый вице-президент РААСН, доктор технических наук, профессор
Тел.: +7 (499) 747-41-76
E-mail: antc@antcraasn.com

Никифорова Надежда Сергеевна

НИИОСП им.Н.М. Герсеванова – ОАО НИЦ «Строительство», г. Москва
Доктор технических наук, зам. зав. лаб. № 2
Тел.: +7 (495) 170-19-27
E-mail: n.s.nikiforova@mail.ru

Тупиков Максим Михайлович

ООО «Подземпроект», г. Москва
Ведущий инженер
Тел.: +7 (495) 250-75-30
E-mail: tupikov@mail.ru

КАЗАКОВ Д.В., КОЛЧУНОВ В.И., ФЕДОРОВ В.С.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИВИЗН И ЭФФЕКТА НАРУШЕНИЯ СПЛОШНОСТИ ПРИ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИИ В СОСТАВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Приведены результаты специально-поставленных экспериментальных исследований внецентренно нагруженных железобетонных элементов составного сечения, позволившие уточнить для них параметры деформирования и трещинообразования.

Ключевые слова: железобетон, внецентренное нагружение, деформации, кривизна.

The results of a specially – set of experimental studies of eccentrically loaded reinforced concrete elements of the composite section to clarify the options for them to deformation and cracking.

Keywords: Reinforced concrete, eccentric loading, deformations, curvature.

В последние годы в связи с всевозрастающими объемами реконструкции составные внецентренно сжатые железобетонные конструкции стали важной составляющей строительства. Практически все центрально сжатые железобетонные элементы из-за несовершенства геометрических форм элементов конструкций, отклонения их реальных размеров от назначаемых по проекту, неоднородности бетона и других факторов испытывают внецентренное сжатие с так называемыми случайными эксцентриситетами.

В то же время, методика расчета таких конструкций по деформациям практически не разработана и расчеты чаще всего выполняются приведением к сплошному сечению [1, 2].

В настоящей работе предложен способ экспериментального определения опытных уточненных параметров деформативности и трещиностойкости железобетонных элементов составного сечения при действии внецентренно – приложенной нагрузки.

Для реализации поставленной цели и задач запроектированы и изготовлены две серии опытных образцов по четыре опытных железобетонных образца составного сечения в каждой серии. Конструкция опытных образцов приведена на рисунке 1.

Железобетонная балка запроектирована составного сечения: нижняя зона балки высотой 120 мм из бетона В15, верхняя зона высотой 40 мм – из бетона В30. Габаритные размеры элемента после добетонирования составили 160×80×1200.

Было предусмотрено поэтапное нагружение опытных образцов статической нагрузкой, создаваемой в зоне удаления от концов, приложенной через специальные кронштейны, позволяющие создавать одинаковые по всем сечениям опытного образца напряженные состояния. Это позволило испытывать опытные конструкции в горизонтальном положении, удобном для детального исследования особенностей их деформирования, трещинообразования и разрушения.

Рабочая арматура принята диаметром 10 мм класса А-III (А400) по ГОСТ 5781-82*. Расчетное сопротивление арматуры для предельных состояний первой группы $R_{sn} = 390$ МПа, для предельных состояний второй группы $R_{s,ser} = 390$ МПа. Модуль упругости арматуры $E_s = 200000$ МПа. Поперечное армирование образцов принято из проволоки диаметром 6 мм класса Вр-I (В500) по ГОСТ 5781-82*. Расчетное сопротивление поперечной арматуры для предельных состояний первой группы $R_{sn} = 405$ МПа, для предельных состояний второй группы $R_{s,ser} = 405$ МПа. Модуль упругости арматуры $E_s = 170000$ МПа.

Для передачи нагрузки в центральную зону железобетонного образца было выполнено специальное армирование концевых участков опытных образцов. Все арматурные элементы объединялись в единый пространственный каркас.

Изготовление образцов опытной конструкции производилось на заводе ДОО «Орловский завод ЖБИ» ОАО «Орелагропромстрой». Бетонирование элементов осуществлялось в специально-изготовленной жесткой разъемной металлической опалубке, обеспечивающих высокую точность опалубочных размеров при изготовлении опытных образцов.

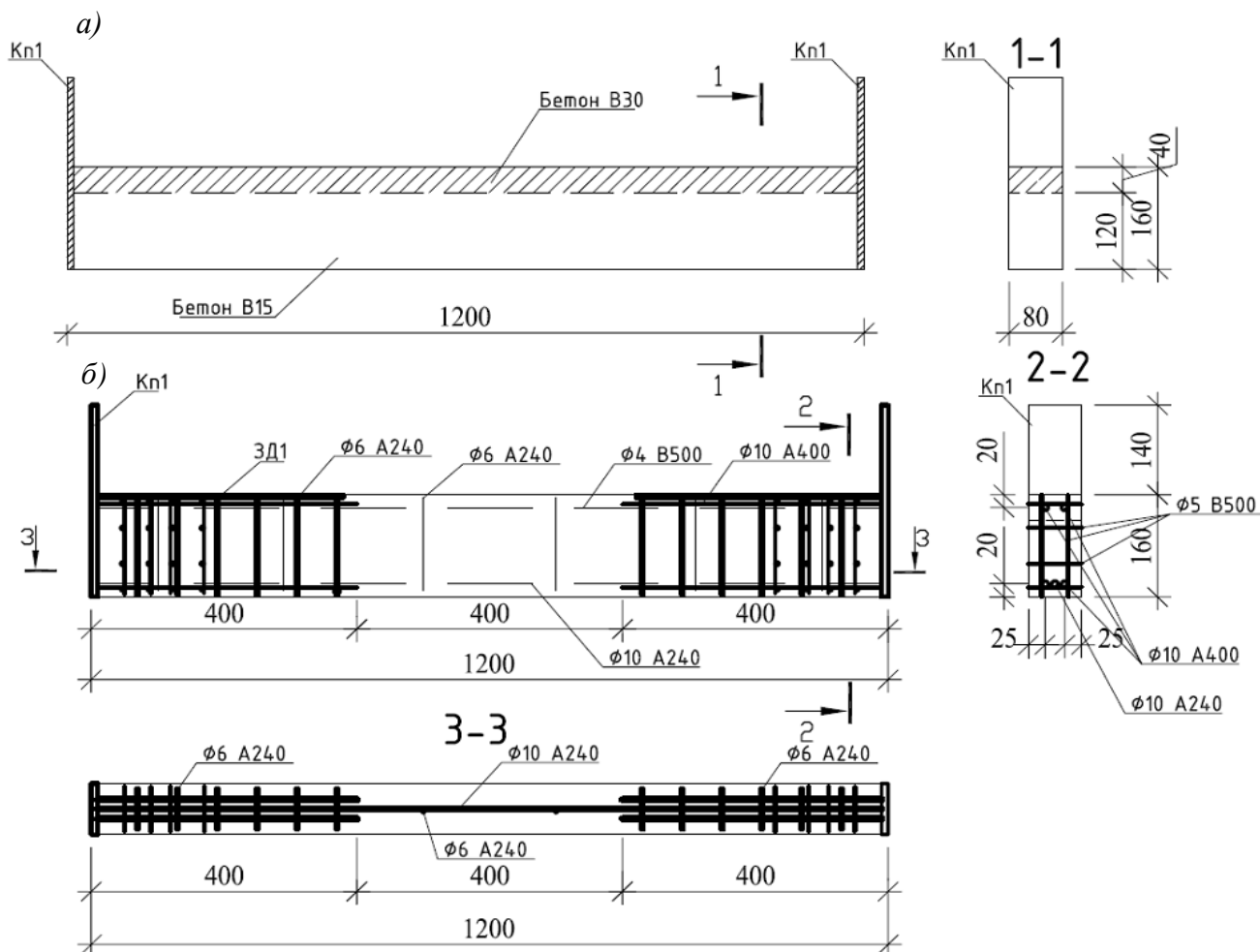


Рисунок 1 – Схема армирования и поперечное сечение опытных образцов:
а – опалубочный чертеж; б – схема армирования

Контактную зону поддона и металлической опалубки с бетоном очищали и смазывали эмульсолом «Экол-ЭКС». Затем в подготовленные формы укладывали арматурные каркасы. Бетонирование опытных образцов осуществлялось последовательно в два этапа, бетонами разных классов В15 и В30. На каждом этапе производили уплотнение бетонной смеси на вибростенде в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-78. Перерыв между бетонированиями первого и второго слоев составил 7 суток. После бетонирования образцы подвергались тепловой обработке в термокамере при температуре 80°C в течение 12 часов при атмосферном давлении. Хранение экспериментальных образцов до проведения эксперимента осуществлялось в лаборатории ДОО «Орловский завод ЖБИ» ОАО «Орелагропромстрой» в нормальных температурно-влажностных условиях.

Параллельно с изготовлением основных образцов были изготовлены вспомогательные кубы размерами 100×100×100 мм из бетона класса В15, В30, предназначенные для получения фактических прочностных характеристик бетонов на момент проведения испытаний конструкций. Испытания вспомогательных образцов проводили по методикам ГОСТ 10180. По результатам испытаний фактическая прочность бетона на сжатие (среднее значение по 5 кубам бетона каждого класса) составила: для проектного класса В15 – 225,6 кгс/см²; для проектного класса В30 – 403,8 кгс/см².

Для проведения испытаний внецентренно сжатых опытных образцов в горизонтальном положении был запроектирован и изготовлен специальный испытательный стенд.

При испытании опытные образцы устанавливались в опорные гнезда и торцами упирались в упоры 12. Нагружение опытных образцов осуществлялось с помощью натяжного устройства в виде фаркопфа вращением рамки вокруг стержней 5, имеющих силовую резьбу.

В процессе испытаний с помощью механических приборов – индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм – измерялись перемещения опытных образцов. Методом тензометрии с использованием тензорезисторов с базой 20 мм и тензостанции ЦТИ-1 измерялись деформации бетона сжатой зоны.

Образующиеся в образцах трещины фиксировались на внешней поверхности образцов с отметками номера ступени нагружения в начале и конце трещины.

Ширину раскрытия трещин на каждой ступени нагружения измеряли микроскопом МБП-3М с ценой деления 0,02 мм. Ширина раскрытия трещин измерялась на уровне их пересечения продольной арматурой. Появление трещин в опытных образцах устанавливалось осмотром поверхности образцов с помощью лупы с 30 кратным увеличением.

Схема испытательного стенда и расстановки измерительных приборов представлена на рисунке 2.

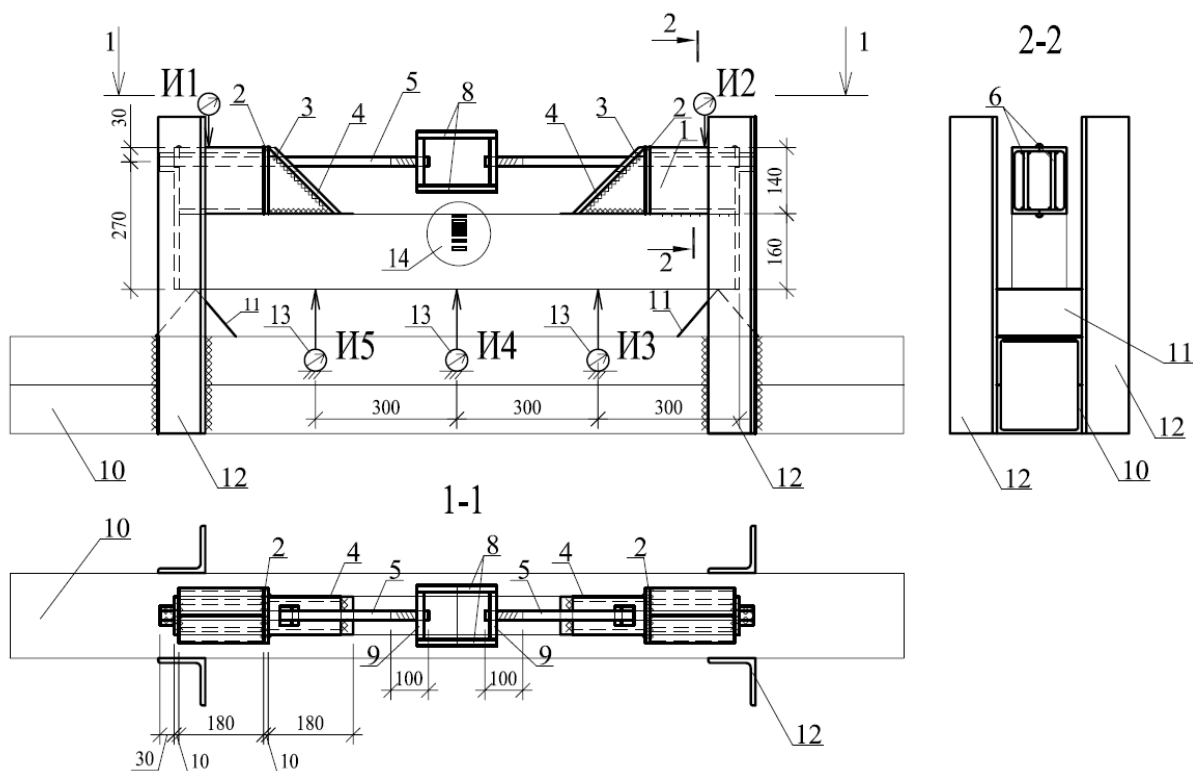


Рисунок 2 – Схема испытательного стенда и расстановки измерительных приборов:
 1 – кронштейн из швеллера №14; 2 – упор из стального листа 10×116×140; 3, 4 – опорное гнездо из стальных листов 10×140×140 и 10×208×80 соответственно; 5 – арматурный стержень Ø20 A240; 6 – ребра жесткости из листа стального 10×123×180; 7 – арматурные стержни для фиксации натяжного устройства Ø12 A240; 8 – арматурный стержень натяжного устройства Ø14 A240; 9 – торцовый лист 20×80×80, 10 – опорная балка стенда из двух швеллеров №18; 11 – опора опытного образца из уголка 100×100; 12 – стойка стенда из уголка 100×100, 13 – индикаторы часового типа; 14 – тензорезисторы

Усилие в исследуемом железобетонном элементе создавалось при помощи специального натяжного устройства из стержня арматуры A240 Ø20 мм с нарезанной резьбой за счет вращения гайки фаркопфа. Нагрузку прикладывали поэтапно ступенями по 0,1 от расчетной нагрузки трещинообразования, доводя опытные образцы до разрушения. На каждом этапе нагружения образцы выдерживались не менее 15 минут для снятия отсчетов по приборам.

Во время выдержки под нагрузкой производился тщательный осмотр поверхности конструкции, фиксировались величина нагрузки, появление и характер развития трещин, результаты показаний индикаторов, ширина раскрытия трещин, а так же результаты показаний тензостанции. Данные показатели фиксировались в начале и в конце каждой выдержки на соответствующей ступени.

Анализ полученных экспериментальных данных о перемещениях в середине и четверти пролета опытных образцов позволяет отметить следующее.

Выделяется три характерных участка деформирования опытных образцов в процессе нагружения. Первый участок в пределах нагрузки 4 кН имел характер деформаций близких к линейному. Второй участок при нагрузках более 4 кН характеризовался постепенным увеличением приращений прогибов по мере увеличения нагрузки, что было связано с возникновением проявления упруго – пластических деформаций в сжатом бетоне и началом трещинообразования в растянутой зоне (N_{crcl}). Третий участок начинался с момента образования трещин в шве контактов двух бетонов при нагрузке порядка 8-9 кН и характеризовался резким нарастанием прогибов по мере увеличения нагрузки.

Образование в опытных конструкциях первых трещин наблюдалось в растянутой зоне составных балок на 2-3 ступенях нагружения, что для всех опытных образцов соответствовало значению сосредоточенной силы 4-5 кН. Первые трещины образовывались в средней части пролета растянутой зоны сечения. Характерной особенностью развития трещин было то, что экспериментально был подтвержден сдерживающий эффект раскрытия трещин арматурой. Другими словами установлено, что количественно ширина раскрытия трещин уменьшается при приближении к рабочей арматуре.

Полученные опытные данные о перемещениях (средних значениях кривизн в сечениях рассматриваемых элементов) при практически постоянных значениях моментов по длине опытных образцов и опытные значения раскрытия и развития трещин по высоте нормальных трещин позволяет выполнить оценку эффективности предложенной уточненной расчетной модели сопротивления составных внецентренно-сжатых железобетонных элементов, которая учитывает структуру составного сечения и эффект нарушения сплошности при трещинообразовании [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 52-101-2003 Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры [Текст]. – Москва, 2004.
2. Гениев, Г.А. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях [Текст] / Г.А. Гениев, В.И. Колчунов, Н.В. Ключева, А.И. Никулин, К.П. Пятикрестовский. – М.: АСВ, 2004. – 216 с.
3. Казаков, Д.В. Специфика деформирования составных внецентренно сжатых железобетонных конструкций [Текст] / Д.В. Казаков, В.И. Колчунов // Строительство и реконструкция. – Орел: ОрелГТУ, 2010. – №5(31). – С. 8-17.

Казаков Дмитрий Вячеславович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Старший преподаватель кафедры «Строительство автомобильных дорог»
Тел.: +7 (4862) 76-03-72
E-mail: dkazakov84@yandex.ru

Колчунов Владимир Иванович

Национальный авиационный университет, Украина, г. Киев
Доктор технических наук, профессор
Тел.: +7 (4862) 76-03-72

Федоров Виктор Сергеевич

Московский институт инженеров транспорта, г. Москва
Доктор технических наук, профессор

КОЛЧИН Я.Е., КОЛЧУНОВ В.И.

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СИЛ ЗАЦЕПЛЕНИЯ В ЗОНЕ КОНТАКТА ЭЛЕМЕНТОВ СОСТАВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ*

Предложены аналитические зависимости для определения приведенного модуля сдвига с учетом сил зацепления между железобетонными элементами, соединенными непрерывным податливым пограничным железобетонным слоем.

Ключевые слова: *приведенный модуль сдвига, силы зацепления, экспериментальные исследования, составное сечение, железобетонные элементы*

Analytical dependences for definition of the reduced shift module into account the adhesion forces between reinforced concrete elements connected by a continuous pliable boundary reinforced concrete layer are offered.

Keywords: *reduced shift module, adhesion forces, experimental researches, compound section, reinforced concrete elements*

До настоящего момента, несмотря на выполненные в последнее время отдельные исследования составных железобетонных конструкций, одним из важных вопросов остается вопрос по определению модуля деформации и прочностных характеристик контактного шва. Известно, что эти параметры качественно зависят от конструктивного решения зоны контакта [1], в т.ч. толщины шва, характеристик поперечных связей (поперечных стержней-нагелей) и др. Для количественной оценки указанных параметров были проведены экспериментальные исследования на опытных образцах, моделирующих три основные типа швов сопряжения: 1 – составные балки и призмы с контактным слоем бетона, выполненным без армирования; 2 – то же с воздушным зазором между смежными элементами и поперечным армированием проволочной арматурой; 3 – то же с контактным бетонным слоем между элементами и поперечным армированием. Конструкции составных опытных образцов представлена на рис. 1, а методика их испытаний изложена в работах [2, 3].

В результате проведенных исследований получены новые количественные характеристики деформирования и прочности контактной зоны опытных образцов составного сечения, в частности, получены опытные зависимости сдвига (Δ) от сдвигающих усилий (Q) в зоне контакта элементов составной балки, кроме того, определены предельные значения сдвигающих усилий в момент разрушения шва контакта и получена картина образования трещин по шву контакта для образцов 1-го и 3-го типов. Для возможности сопоставления параметров деформирования опытных образцов различного типа были построены графики зависимости относительных смещений элементов от относительного усилия сдвига « $\Delta/l - Q/Q_{разр}$ », представленные на рисунке 2.

Анализ опытных графиков « $\Delta/l - Q/Q_{разр}$ », позволяет отметить следующее: при заданном значении уровня деформаций, значения относительной сдвигающей силы в образцах с монолитным бетонным швом контакта, армированным поперечной арматурой (рис. 2, кривая 3) превышают соответствующие значения усилий, полученные суммированием ординат графиков для образцов с неармированной (рис. 2, кривая 1) и с незамоноличенной контактными зонами (рисунок 2, кривая 2). Кривая 4, представленная на рисунке 2, является резуль-

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 09-08-99024-Р_ОФИ «Деформационная теория пластичности коррозионно повреждаемого бетона для случая сложного напряженного состояния при учете в нем неравновесных процессов».

тирующей для кривых 1 и 2. Физическую суть указанного явления можно объяснить наличием сил зацепления в зоне контакта после образования продольной трещины вдоль шва контакта. До уровня трещинообразования (при $Q/Q_{разр} \leq 0,4$) жесткость неармированного бетонного и армированного образцов различаются незначительно, что подтверждается опытными значениями (7-8%). После образования продольных трещин в контактной зоне армированных элементов из-за наличия поперечных связей возникают силы зацепления, и, соответственно, разница в значениях жесткости шва контакта достигает 20% и более.

Согласно принятой физической модели, при нагрузках, соответствующих уровню трещинообразования, в бетоне контактной зоны могут сохраняться некоторые бетонные связи-мостики между краями трещин. Кроме того, возможно непосредственное зацепление зерен заполнителя или цементного камня в смежных элементах составных образцов. Зацепление берегов зоны контакта моделируется равномерно распределенными по длине шва погонными силами зацепления $Q_{зн}$. Картина распределения усилий в контактном шве приведена на рисунке 3.

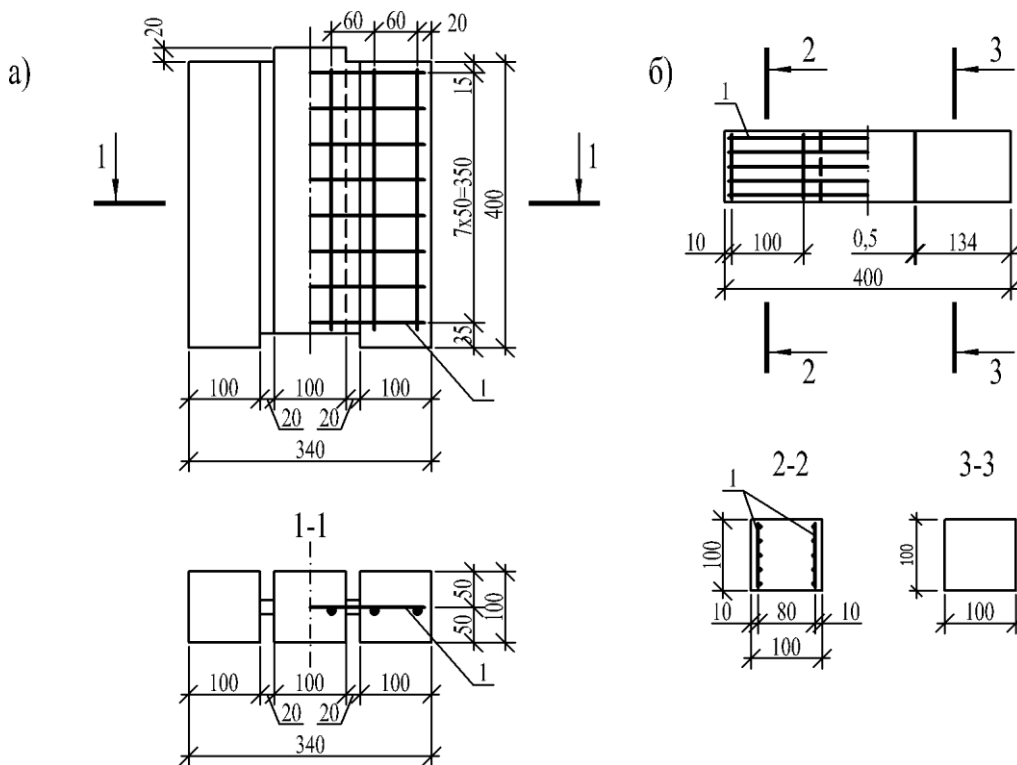


Рисунок 1 – Конструкции опытных образцов: а – опытные образцы первой серии испытаний; б – то же второй серии испытаний; 1 – арматурная сетка

Согласно [1], приведенный модуль сдвига предложено определять, как сумму двух слагаемых:

$$\bar{G}_0 = \bar{G}_s + \bar{G}_{0,b}, \quad (1)$$

где \bar{G}_s – приведенный модуль деформаций сдвига поперечных стержней; $\bar{G}_{0,b}$ – приведенный модуль деформаций сдвига материала шва.

Первое слагаемое формулы (1) определяется «нагельным эффектом» поперечных стержней-связей, методика его определения более подробно была изложена в [4]. Второе слагаемое формулы (1) учитывает деформирование бетона шва сдвига толщиной t_0 .

Представленная зависимость для определения приведенного модуля сдвига показала хорошую сходимость результатов расчета с опытными данными лишь на стадии упругой работы материала шва. Тогда как, при определении взаимных смещений смежных брусьев со-

ставных железобетонных конструкций на стадии работы шва сдвига с трещинами выявлены расхождения в значениях деформаций.

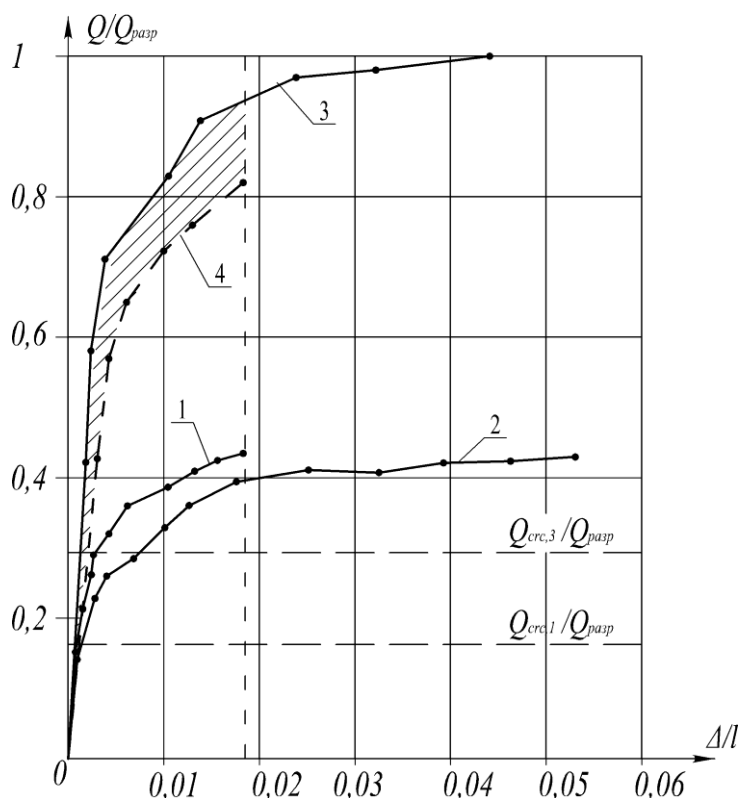


Рисунок 2 – Опытные зависимости « $\Delta/l - Q/Q_{разр}$ » для экспериментальных образцов:

1 – с контактном слое бетона, выполненном без армирования; 2 – то же выполненных, с воздушным зазором между смежными элементами и армированных проволоочной арматурой; 3 – то же, выполненных с контактном бетонном слое между элементами, армированным поперечной арматурой, 4 – результирующая кривая, построенная по сумме ординат кривых 1 и 2

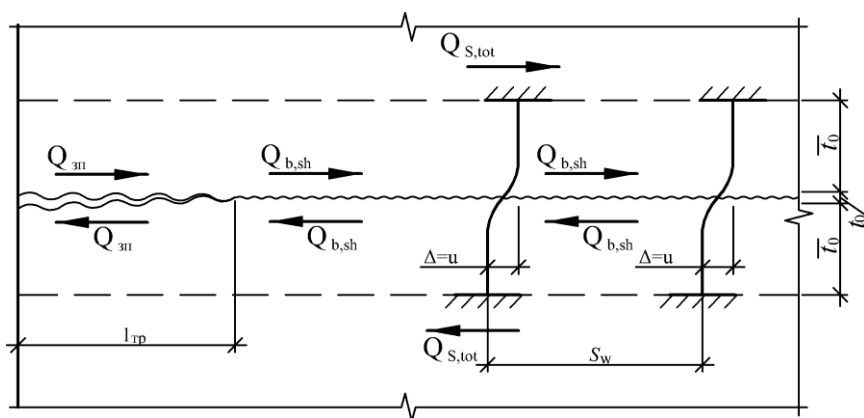


Рисунок 3 – Схема распределения усилий, возникающих в контактной зоне: $Q_{b,sh}$ – усилия сдвига, воспринимаемые бетоном зоны контакта, $Q_{S,tot}$ – то же, воспринимаемые арматурными стержнями-нагелями, $Q_{зп}$ – то же, воспринимаемые за счет зацепления берегов зоны контакта, t_0 – толщина шва сдвига, \bar{l}_0 – величина заделки поперечных стержней-нагелей

Используя полученные опытные данные, с целью уточнения зависимости (1) на стадии работы шва с трещинами, второе слагаемое формулы (1) в общем случае для бетонного армированного поперечной арматурой шва контакта предложено записать в виде суммы двух слагаемых: модуля сдвига бетона зоны контакта и модуля деформаций связей зацепления.

$$\bar{G}_{0,b} = \bar{G}_b + \bar{G}_{zn}, \quad (2)$$

где \bar{G}_b – приведенный модуль деформаций сдвига бетона; \bar{G}_{zn} – приведенный модуль деформаций сдвига связей зацепления.

На стадии работы бетона шва без трещин второе слагаемое формулы (2) принимается равным нулю, а сама зависимость (2) примет вид:

$$\bar{G}_{0,b} = \bar{G}_b, \quad (3)$$

в данном случае, $\bar{G}_b = \frac{G \cdot b}{1}$, где G – модуль сдвига бетона шва, b – ширина поверхности контактной зоны, 1 – единица длины контактного шва.

При уровне нагрузки превышающем предел прочности бетона контактной зоны на срез, происходит образование и раскрытие трещины вдоль шва сдвига, при этом сопротивление бетона контактной зоны обеспечивается только силами зацепления по берегам трещины. В этом случае выражение для определения приведенного модуля принимает вид:

$$\bar{G}_{0,b} = \bar{G}_{zn}. \quad (4)$$

Для определения модуля деформаций связей зацепления используется диаграмма, полученная путем многоточечного задания напряжений τ_i и относительных деформаций сдвига γ_i , в виде многозвенной ломаной линии, определяемой секущими и касательными модулями деформации, следуя работе [5]. Рассматриваемая диаграмма « $\tau - \gamma$ » представлена на рисунке 4, а.

При построении диаграмм « $\tau - \gamma$ » используется подход в виде связей секущих и касательных модулей с уровнями деформаций. При этом:

$$\tau = \gamma \bar{G}_0 \nu; \quad d\tau = \bar{G}_0 \nu^k d\gamma, \quad (5)$$

где ν, ν^k – коэффициенты перехода от начального модуля сдвига к секущему ($\bar{G}_0^c = \bar{G}_0 \nu$) и касательному ($\bar{G}_0^k = \bar{G}_0 \nu^k$) модулям, которые связаны зависимостью:

$$\nu^k = \nu + \gamma \frac{d\nu}{d\gamma}. \quad (6)$$

При условии кусочной линейризации диаграмм в ходе шагового нагружения, зависимость между приращениями напряжений сдвига и приведенными модулями сдвига при переходе ($i \rightarrow i+1$) примет вид:

$$\Delta\tau = \bar{G}_0 \nu^k \Delta\gamma; \quad \bar{G}_0 \nu^k = tg\alpha^*, \quad (7)$$

где α^* – угол наклона участка $i \div i+1$ к оси γ , $\Delta\gamma = \gamma_{i+1} - \gamma$. При этом условный коэффициент касательного модуля ν^k выражается через коэффициент секущего модуля в начале (точке i) и конце (точке $i+1$) шага нагружения по зависимости:

$$\nu^k = \frac{\gamma_{i+1}\nu_{i+1} - \gamma_i\nu_i}{\Delta\gamma}. \quad (8)$$

На некотором участке $\tau_i, \gamma_i \div \tau_{i+1}, \gamma_{i+1}$ для произвольной точки m с известной координатой τ_m или γ_m секущие ($\bar{G}_0^c, \bar{G}_0 \nu$) и касательные ($\bar{G}_0^k, \bar{G}_0 \nu^k$) приведенные модули сдвига вычисляются по зависимостям (см. рисунок 4, а):

$$\bar{G}_0 \nu^k = \frac{\tau_{i+1} - \tau_i}{\gamma_{i+1} - \gamma_i}; \quad \bar{G}_0 \nu = \frac{\tau_m}{\gamma_m}, \quad (9)$$

где τ_m или γ_m определяется из соотношения:

$$\frac{\tau_{i+1} - \tau_i}{\gamma_{i+1} - \gamma_i} = \frac{\tau_m - \tau_i}{\gamma_m - \gamma_i}. \quad (10)$$

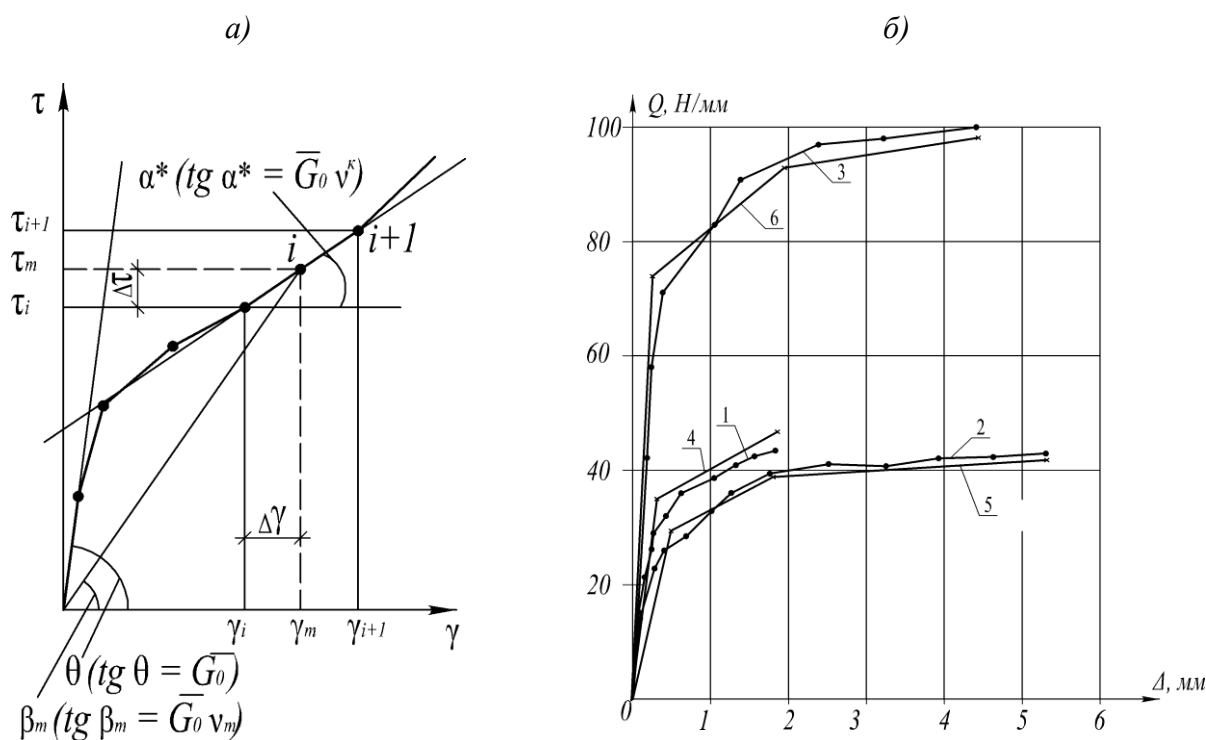


Рисунок 4 – Диаграмма «τ – γ» контактной зоны составных железобетонных элементов, построенная по методике конечных приращений (а); сравнение графиков «Δ – Q», полученных экспериментально (1, 2, 3) и с использованием методики конечных приращений (4, 5, 6):
 1, 4 – для образцов: с контактным слоем бетона, выполненным без армирования;
 2, 5 – то же выполненных, с воздушным зазором между смежными элементами и армированных проволочной арматурой; 3, 6 – то же, выполненных с контактным бетонным слоем между элементами, армированным поперечной арматурой (б)

Определение касательных модулей по формулам (5), (8) выполняется с использованием зависимостей, связывающих секущие модули сдвига с относительными деформациями сдвига. Указанные зависимости аналогичны коэффициентам, используемым в [5] для связи нормальных напряжений с касательными и секущими модулями деформаций, и записываются в виде:

$$\nu = \nu_b = \hat{\nu}_b + \hat{\nu}_b(1 - \eta_d) + 2(\nu_0 - \hat{\nu}_b)(1 - \eta_d)^n - \nu_0(1 - \eta_d)^m; \tag{11}$$

$$\nu^k = \nu_b^k = \nu_b - \eta_d \left(\hat{\nu}_b + 2n(\nu_0 - \hat{\nu}_b)(1 - \eta_d)^{n-1} - m\nu_0(1 - \eta_d)^{m-1} \right); \tag{12}$$

где n, m – величины, зависящие от класса бетона и вида деформаций $\eta = \gamma_b / \gamma_b^{ult}$ – уровень деформаций; γ_b, γ_b^{ult} – деформации сдвига бетона (текущие и в момент разрушения); $\hat{\nu}_b$ и $\nu_0 = 1$ – значения ν в вершине и в начале диаграммы.

Предполагая, что после образования трещин величина сил зацепления изменяется пропорционально классу бетона контактной зоны и интенсивности ее поперечного армирования, с использованием зависимостей (5)-(12) построены графики «Q – Δ» для трех типов опытных образцов. На рисунке 4, б представлены, соответственно, опытные и теоретические графики: 1, 4 – для образцов: с контактным слоем бетона, выполненным без армирования; 2, 5 – то же выполненных, с воздушным зазором между смежными элементами и армированных проволочной арматурой; 3, 6 – то же, выполненных с контактным бетонным слоем между элементами, армированным поперечной арматурой.

Алгоритм определения модуля деформаций сил зацепления, в соответствии с приведенными зависимостями, выглядит следующим образом:

1) Аппроксимация опытных кривых «τ – γ» или построение указанных графиков с использованием зависимостей (5)-(12).

2) Построение огибающей кривой по графикам для элементов с неармированным и незамоноличеным контактным швом;

3) Определение углов наклона касательных в заданных точках огибающей кривой и кривой, соответствующей составным элементам с монолитным контактным швом, армированным поперечной арматурой;

4) Определение значения модуля связей зацепления.

На основании полученных результатов экспериментальных и численных исследований, можно сделать вывод о том, что учет сил зацепления по берегам контактной зоны непосредственно связан с определением жесткостных параметров шва сдвига составных железобетонных конструкций на стадии работы бетона контактной зоны после возникновения и раскрытия трещин. Предлагаемая методика диаграммного определения сил зацепления при дальнейшем расширении экспериментальной базы, может быть использована для определения приведенного модуля сдвига на произвольном уровне загрузки составных железобетонных конструкций любого типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колчунов, В.И. Расчет составных тонкостенных конструкций [Текст] / В.И. Колчунов, Л.А. Панченко. – М.: АСВ, 1999. – 287 с.
2. Стадольский, М.И. Экспериментальные исследования по определению приведенной жесткости на сдвиг в железобетонных элементах составного сечения [Текст] / М.И. Стадольский, Я.Е. Колчин, В.И. Колчунов, Вл.И. Колчунов // Пространственные конструкции зданий и сооружений (Исследования, расчет, проектирование и применение): Сб. статей. – Вып. 11. – под ред. В.В. Шугаева [и др.] – М.: Пространственные конструкции. – 2008. – С. 137 – 144.
3. Колчин, Я.Е. Экспериментальные исследования по определению приведенной жесткости на сдвиг в железобетонных элементах составного сечения [Текст] / Я.Е. Колчин, Вл.И. Колчунов, М.И. Стадольский // Строительная механика и расчет сооружений. – 2009. – №2(223). – С. 62 – 67.
4. Колчин, Я.Е. Исследование закономерностей деформирования и разрушения зон контакта железобетонных составных конструкций [Текст] / Я.Е. Колчин, В.И. Колчунов // Строительство и реконструкция. – Орел: ОрелГТУ. – 2010. – № 2 (28). – С. 17-22.
5. Карпенко, С.Н. Модели деформирования железобетона в приращениях и методы расчета конструкций [Текст]: дис. ... док. техн. наук. – М.: НИИСФ РААСН. – 2010. – 375 с.

Колчин Ярослав Евгеньевич

ФГОУВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Ассистент кафедры «Строительные конструкции и материалы»
Тел.: +7 (4862) 73-43-95
E-mail: oantc@ostu.ru

Колчунов Виталий Иванович

ФГОУВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Академик РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции и материалы»
E-mail: oantc@ostu.ru
Тел.: +7 (4862) 76-03-72

КОРОБКО А.В., ЧЕРНЯЕВ А.А.

РАСЧЕТ ПЛАСТИН НА УСТОЙЧИВОСТЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТНОШЕНИЯ КОНФОРМНЫХ РАДИУСОВ

Для оценки критического усилия при потере устойчивости пластинок с выпуклым контуром, предлагается новая безразмерная характеристика плоской области – отношение конформных радиусов. В статье рассматриваются упругие изотропные пластинки с однородными граничными условиями при равномерном и всестороннем сжатии. Показана возможность использования отношения конформных радиусов при нахождении критических усилий для пластинок сложного вида, в частности параллелограммных.

Ключевые слова: устойчивость пластин, равномерное всестороннее сжатие, конформные радиусы, коэффициент формы.

For estimation of critical effort at loss of stability of plates of the salient form, it is proposed a new indifferent description of flat area – the relation of conformal radiuses. In the article considered resilient isotropic plates with homogeneous boundary conditions at uniform and all-round compression. It is shown is possibility of use the relation of conformal radiuses to get of estimations of critical effort for plates of a difficult kind, in particular a form is parallelogram.

Keywords: stability of plates, uniform all-round compression, conformal radius, form factor.

Точные решения задач устойчивости пластинок существуют лишь в ряде частных случаев для простейших форм пластинок, условий закрепления и видов нагрузки. В более сложных случаях используют приближенные численные методы, реализуемые с помощью ЭВМ. Когда необходимо быстро получить оценку критического усилия пластинок, что особенно актуально на начальной стадии проектирования, применяют геометрические методы и в частности изопериметрический метод (ИЗПМ) и метод интерполяции по коэффициенту формы (МИКФ). В этих методах основным аргументом, по которому оцениваются критические усилия пластинок, является безразмерная геометрическая характеристика плоской области – коэффициент формы K_f .

В работе [1] была рассмотрена возможность применения МИКФ к решению задач устойчивости пластинок с однородными граничными условиями (либо шарнирное опирание по опорному контуру, либо жесткое защемление). В качестве геометрического параметра, с помощью которого производилась оценка критического усилия для равномерно сжатых по контуру пластинок, было предложено использовать отношение внешнего и внутреннего конформных радиусов области, ограниченной контуром пластинки. Подробные сведения об этих радиусах плоских областей приведены в работах [2, 3]. В монографии [1] было показано, что указанное отношение для отдельных видов пластин, позволяет получать приближенные решения в виде простых аналитических зависимостей с хорошей для инженерных расчетов точностью.

Заметим, что внутренний и внешний конформные радиусы областей в задачах математической физики и строительной механики пластинок использовались как аргументы по отдельности при расчетах пластинок простейших форм, а вот их отношение к задачам устойчивости упругих пластинок впервые применено в работе [1].

1 Устойчивость пластинок шарнирно опертых по контуру

В работе [1] было получено неравенство для определения критического усилия пластинок в виде треугольников, ромбов и правильных n -угольников при потере устойчивости при равномерном и всестороннем сжатии:

$$q_{o,кр} \leq \pi K \frac{\bar{r}}{\dot{r}} \frac{D}{A}, \quad (1)$$

где K – числовой коэффициент, обращающий выражение (1) в равенство для круглых пластинок (при шарнирном опирании $K = 5,783$, при жестком защемлении $K = 14,79$); \bar{r} – внешний конформный радиус; \dot{r} – внутренний конформный радиус; D – цилиндрическая жесткость пластинки; A – площадь пластинки. Анализ выражения (1) показывает, что для рассматриваемых видов пластинок равной толщины и площади значение критического усилия при потере устойчивости при равномерном и всестороннем сжатии зависит только от одного аргумента \dot{r}/\bar{r} .

Помимо указанных видов пластинок, это неравенство можно применять и к пластинкам других форм, однако для сильно вытянутых пластинок, у которых отношение наибольшего габаритного размера к наименьшему равно 5 и более, это неравенство дает существенно завышенную (на 12-15%) оценку критической нагрузки. Для пластинок по форме, близкой к квадратной, погрешность снижается и не превышает 3-5%.

Приведем известные из научной литературы значения критического усилия при потере устойчивости шарнирно опертых по контуру пластинок в таблице 1 (колонка 3). Решения представим в виде:

$$q_{o,кр} = k \frac{D}{A}. \quad (2)$$

На основании данных таблицы 1 (колонки 2 и 5) построим графики изменения значения обратной величины k в зависимости от безразмерной величины \dot{r}/\bar{r} (рисунок 1). Построить единую кривую для эллиптических пластинок не представляется возможным ввиду зависимости критического усилия при шарнирном опирании контура от коэффициента Пуассона. На рисунке показаны две кривые для $\nu = 0,33$ и $\nu = 0,5$. По этой причине произвольные пластинки с криволинейными участками контура из рассмотрения исключены.

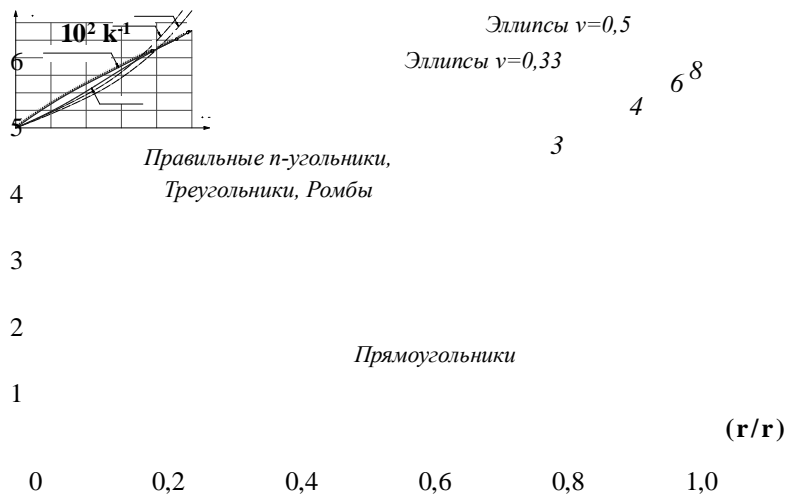


Рисунок 1– Графики зависимостей $k^{-1} - \left(\frac{\dot{r}}{\bar{r}} \right)$

Из представленного рисунка видно, что все множество значений k^{-1} для пластинок в виде треугольников, ромбов и правильных n -угольников описывается одной кривой. С помощью программного комплекса *TableCurve 2D v5.0* по приведенным в таблице данным построена аппроксимирующая функция:

$$k = \frac{1 + b \left(\frac{\dot{r}}{\bar{r}} \right)^2 + d \left(\frac{\dot{r}}{\bar{r}} \right)^4}{a + c \left(\frac{\dot{r}}{\bar{r}} \right)^2 + e \left(\frac{\dot{r}}{\bar{r}} \right)^4}, \quad (3)$$

где $a = -4,920173 \cdot 10^{-6}$; $b = 10,519781$; $c = 0,381037084$; $d = -0,254374443$; $e = 0,24667805$, которая дает погрешность не более 2,62%.

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

Таблица 1 – Точные и приближенные значения критического усилия k из выражения (2) при потере устойчивости шарнирно опертых пластинок при равномерном и всестороннем сжатии

Вид пластинки	r/\bar{r}	Известное решение		k^{-1}	Приближ
		k	Источник		решен
1	2	3	4	5	6
Правильные фигуры:					
Восьмиугольник	0,9903	18,04	[6]	0,05543	18,124
Шестиугольник	0,9762	18,394	[5]	0,05437	18,384
Квадрат	0,9139	19,739	[5]	0,05066	19,597
Треугольник	0,7748	22,792	[5]	0,04388	22,742
Равнобедренные треугольники:					
$\alpha=85^0$	0,3309	47,17	[6]	0,0212	48,01
$\alpha=80^0$	0,5308	31,153	[6]	0,0321	31,069
$\alpha=75^0$	0,6541	26,042	[6]	0,0384	26,2
$\alpha=70^0$	0,727	23,866	[6]	0,0419	24,007
$\alpha=45^0$	0,7034	24,674	[5]	0,04053	24,678
$\alpha=30^0$	0,5342	31,35	[5]	0,0319	30,906
$\alpha=15^0$	0,2984	55,234	[5]	0,0181	53,922
Прямоугольные треугольники:					
$\alpha=40^0$	0,697	24,752	[6]	0,0404	24,866
$\alpha=35^0$	0,6771	25,381	[6]	0,0394	25,468
$\alpha=30^0$	0,6436	26,455	[6]	0,0378	26,549
$\alpha=25^0$	0,5941	28,329	[6]	0,0353	28,335
$\alpha=20^0$	0,5284	31,546	[6]	0,0317	31,186
$\alpha=15^0$	0,4419	37,175	[6]	0,0269	36,327
Ромбы:					
$\alpha=75^0$	0,8906	20,115	[5]	0,04971	20,078
$\alpha=60^0$	0,8199	21,626	[5]	0,04624	21,644
$\alpha=45^0$	0,7002	24,915	[5]	0,04014	24,772
$\alpha=30^0$	0,5277	30,746	[6]	0,03252	31,22
$\alpha=20^0$	0,3807	40,617	[6]	0,02462	41,71
Прямоугольники:					
$a/b=1,3$	0,8791	20,402	[7]	0,04901	20,411
$a/b=1,6$	0,8129	21,944	[7]	0,04557	21,926
$a/b=2,0$	0,7222	24,674	[7]	0,04053	24,659
$a/b=2,5$	0,6281	28,593	[7]	0,03497	28,617
$a/b=3,0$	0,5544	32,865	[7]	0,03043	32,899
$a/b=4,0$	0,4498	41,903	[7]	0,02386	41,892
$a/b=5,0$	0,3788	51,322	[7]	0,01948	51,289

Примечания:

- 1) α – для равнобедренного треугольника угол при основании, для прямоугольного – любой из двух углов при гипотенузе, для ромба – любой из острых углов;
- 2) a и b ($a > b$) – стороны прямоугольника;
- 3) Значения конформных радиусов подсчитаны по формулам из работ [2 и 4].

Для ручного счета построена менее точная зависимость:

$$k = \frac{1 + 0,2112 \left(\frac{r}{r} \right)^2}{0,0002 + 0,0664 \left(\frac{r}{r} \right)^2}, \quad (4)$$

которая дает погрешность не более 4,2%.

Для прямоугольных пластинок построена аппроксимирующая функция:

$$k = \frac{1}{a + b \left(\frac{r}{r} \right)^2 + c \left(\frac{r}{r} \right)^3 + d \left(\frac{r}{r} \right)^4}, \quad (5)$$

где $a = -2,2091526 \cdot 10^{-6}$; $b = 0,037398601$; $c = 0,049512006$; $d = -0,032595016$, которая дает погрешность не превышающую 0,11%. Для ручного счета построена зависимость:

$$k = \frac{1 - 0,6954 \left(\frac{r}{r} \right)^2 + 0,4577 \left(\frac{r}{r} \right)^3}{0,0414 \left(\frac{r}{r} \right)^2}, \quad (6)$$

с максимальной погрешностью 0,32%.

2 Устойчивость пластин жестко заземленных по контуру

Приведем известные из научной литературы значения критического усилия при потере устойчивости жестко заземленных по контуру пластинок в таблице 2 (колонка 3). На основании данных таблицы 2 (колонки 2 и 5) построим графики изменения значения обратной величины k в зависимости от безразмерной величины r/\bar{r} (рисунок 2). Из рисунка видно, что все множество значений k^{-1} для пластин в виде треугольников, ромбов и правильных n -угольников так же описываются одной кривой.

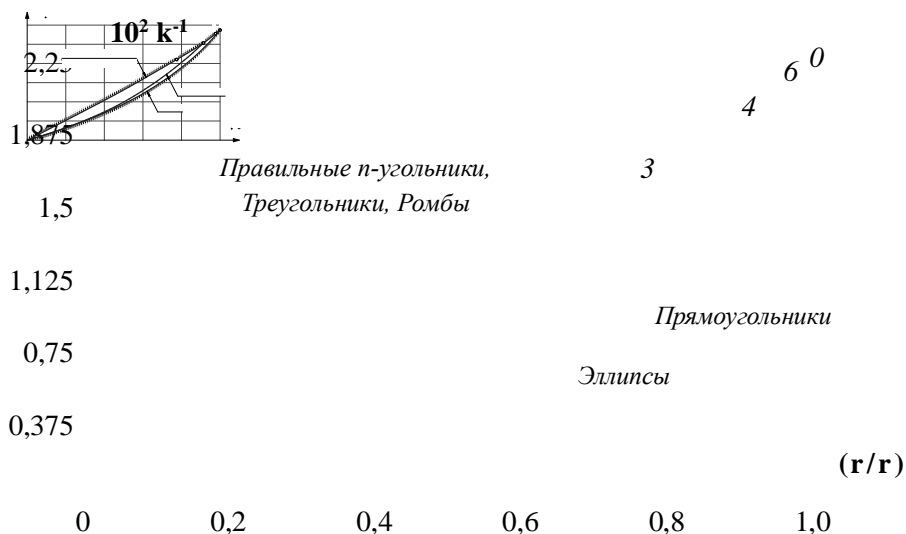


Рисунок 2 – Графики зависимостей $k^{-1} - \left(\frac{r}{r} \right)^2$

В работе [1] для построения аппроксимирующей функции не учитывались решения для ромбов. Нами построена новая аппроксимирующая функция:

$$k = \frac{1 + b \left(\frac{r}{r} \right)^2 + d \left(\frac{r}{r} \right)^4}{a + c \left(\frac{r}{r} \right)^2}, \quad (7)$$

где $a = -1,8339917 \cdot 10^{-6}$; $b = 3,6503838$; $c = 0,070904386$; $d = -1,3590031$, которая дает максимальную погрешность 0,62%. Для ручного счета построена зависимость:

$$k = \frac{1}{0,0187 \left(\frac{r}{r} \right)^2 + 0,00273 \left(\frac{r}{r} \right)^4}, \quad (8)$$

с максимальной погрешностью 1,26%.

Для прямоугольных пластинок построена зависимость:

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

$$k = \frac{1 + b \left(\frac{r}{\bar{r}} \right) + d \left(\frac{r}{\bar{r}} \right)^2}{a + c \left(\frac{r}{\bar{r}} \right)}, \quad (9)$$

где $a = -8,4522437 \cdot 10^{-7}$; $b = -0,73303709$; $c = 0,010157738$; $d = 0,1895131$, с погрешностью, не превышающей 0,13%. Для ручного счета построена зависимость:

$$k = \frac{1}{0,0075 + 0,0144 \left(\frac{r}{\bar{r}} \right)^2} \quad (10)$$

с максимальной погрешностью 1,81%.

Таблица 2 – Точные и приближенные значения критического усилия k из выражения (2) при потере устойчивости жестко защемленных пластинок при равномерном и всестороннем сжатии

Вид пластинки	r/\bar{r}	Известное решение		k^{-1}	Приближенное решение		Погрешность, %
		k	Источник		k	по	
№ п/п	1	2	3	4	5	6	7
Правильные фигуры:							
Круг	1	46,464	[5]	0,02152	46,421	(7)	-0,1
Восьмиугольник	0,9903	46,895	[5]	0,02132	47,069		0,35
Шестиугольник	0,9762	48,012	[5]	0,02083	48,019		0,02
Квадрат	0,9139	52,605	[5]	0,01901	52,363		-0,46
Треугольник	0,7748	63,393	[5]	0,01577	63,474		0,1
Равнобедренные треугольники:							
$\alpha=45^0$	0,7034	70,074	[5]	0,01427	70,509	(7)	0,61
Ромбы:							
$\alpha=75^0$	0,8906	54,168	[5]	0,01846	54,064	(7)	-0,2
$\alpha=60^0$	0,8199	59,489	[5]	0,01681	59,581		0,16
$\alpha=45^0$	0,7002	71,044	[5]	0,01408	70,856		-0,24
$\alpha=30^0$	0,5277	97,127	[5]	0,0103	96,802		-0,3
Эллипсы:							
$a/b=1,2$	0,9838	48,464	[5]	0,02063	48,219	(11)	-0,53
$a/b=1,4$	0,9467	51,943	[5]	0,01925	52,005		0,11
$a/b=2,0$	0,808	69,241	[5]	0,01444	69,239		-0,02
$a/b=4,0$	0,5038	140,12	[5]	0,00714	140,241		0,13
Прямоугольники:							
$a/b=1,2$	0,8968	54,33	[8]	0,01841	54,347	(9)	0,05
$a/b=1,4$	0,8587	58,572	[5]	0,01707	58,508		-0,13
$a/b=1,6$	0,8129	64,117	[8]	0,0156	64,114		0,02
$a/b=1,8$	0,7664	70,576	[8]	0,01417	70,595		0,03
$a/b=2,0$	0,7222	77,641	[5]	0,01288	77,633		-0,01
$a/b=2,5$	0,6281	96,239	[8]	0,01039	96,304		0,06
$a/b=3,0$	0,5544	115,686	[8]	0,00864	115,77		0,02
$a/b=4,0$	0,4498	155,4	[5]	0,00644	155,123		-0,1

Примечания:

1) α – для равнобедренного треугольника – угол при основании.

2) a и b ($a > b$) – для эллипса – длины полуосей, для прямоугольника – длины стороны.

Для эллиптических пластинок построена аппроксимирующая функция:

$$k = \frac{1 + b \left(\frac{r}{\bar{r}} \right)}{a + c \left(\frac{r}{\bar{r}} \right)} \quad (11)$$

где $a = 4,0015022 \cdot 10^{-6}$; $b = -0,50929643$; $c = 0,010514103$, с максимальной погрешностью 0,53%. Для ручного счета получена зависимость:

$$k = \frac{1 - 0,5093 \left(\frac{r}{\bar{r}} \right)}{0,0105 \left(\frac{r}{\bar{r}} \right)} \quad (12)$$

С максимальной погрешностью 0,53%.

3 Взаимосвязь отношения конформных радиусов с коэффициентом формы

При использовании методов комплексного переменного для расчета пластинок и нахождении конформных радиусов плоской области возникает большая математическая проблема, заключающаяся в сложности определения отображающей функции. Для некоторых видов областей (круг, правильные n-угольники, произвольные треугольники, ромбы, эллипсы, круговые сектора и прямоугольники) [2, 4] известны формулы для определения максимального внутреннего \dot{r} и внешнего \bar{r} конформных радиусов. В настоящей статье предлагается способ определения отношения минимального внутреннего и максимального внешнего конформных радиусов \dot{r}/\bar{r} с помощью коэффициента формы.

В работе [1] были построены графики, отображающие взаимосвязь отношения конформных радиусов \dot{r}/\bar{r} и обратной величины коэффициента формы K_f^{-1} для указанных выше фигур, за исключением прямоугольников. Авторы ошибочно включили в построенную кривую и ромбы. На рисунке 3 построены указанные функциональные зависимости с учетом исправлений и дополнения графиков кривыми, относящимися к прямоугольникам и эллипсам.

Разработанный профессором А.В. Коробко метод интерполяции по коэффициенту формы [5] позволяет находить значения некоторой интегральной физической характеристики F для сложных классов фигур (произвольных треугольников, параллелограммов, трапеций и т.д.) при непрерывном монотонном (или дискретном) преобразовании так называемых опорных фигур.

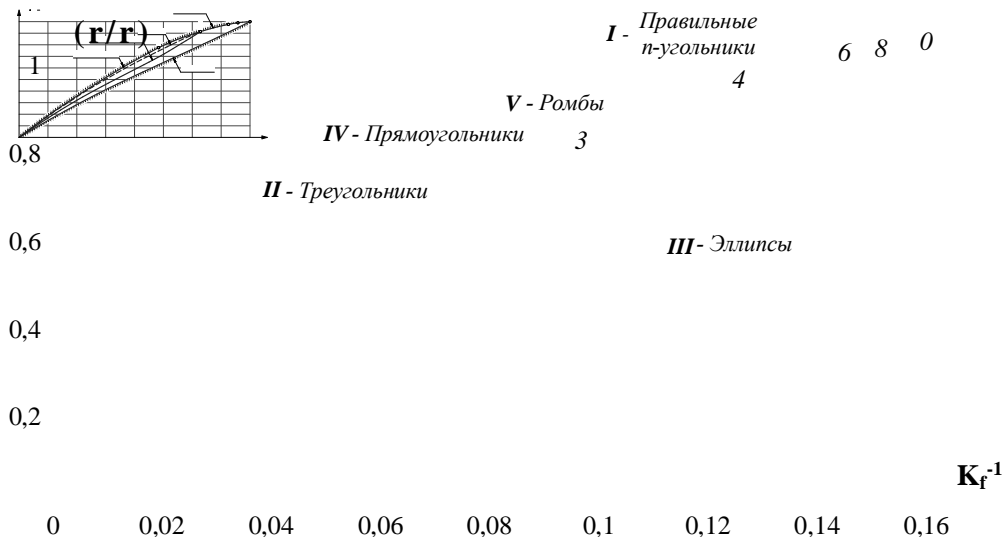


Рисунок 3 – Графики зависимостей $\left(\frac{r}{\bar{r}} \right) - K_f^{-1}$

Расчетные формулы при двух опорных решениях имеют вид [5]:

$$F = F_1 \left(\frac{K_f}{K_{f1}} \times \frac{A_1}{A} \right)^n; \quad n = \frac{\ln \left(\frac{F_2/F_1}{K_{f2}/K_{f1} \times A_1/A_2} \right)}{\ln \left(\frac{K_f/K_{f1}}{K_{f2}/K_{f1} \times A_1/A_2} \right)} \quad (13)$$

где F и A – неизвестная интегральная физическая характеристика пластинки и ее площадь; F_1, F_2 и A_1 и A_2 – известные значения F и площади опорных фигур; K_f, K_{f1} и K_{f2} – значения коэффициентов формы для всех трех фигур. Получаемые по формулам (13) решения имеют малую погрешность при близко расположенных опорных решениях.

Анализ графиков на рисунке 3 позволяет непосредственно перенести изопериметрические теоремы об изменении коэффициента формы фигур [5] на изменение отношения \dot{r}/\bar{r} . Так например, все множество значений \dot{r}/\bar{r} для параллелограммных областей ограничено значениями \dot{r}/\bar{r} для прямоугольных и ромбических областей, для трапециевидных – прямоугольными и треугольными и т.д. Более того, сама область возможных значений \dot{r}/\bar{r} (ограниченная правильными n -угольниками и эллипсами) довольно узкая, что позволяет ожидать получение искомого решения с малой погрешностью.

Покажем на примере параллелограммных областей применение МИКФ для определения значений \dot{r}/\bar{r} . На рисунке 4 представим непрерывное аффинное преобразование сдвига прямоугольника в ромб. Эти фигуры выступают в роли «опорных».

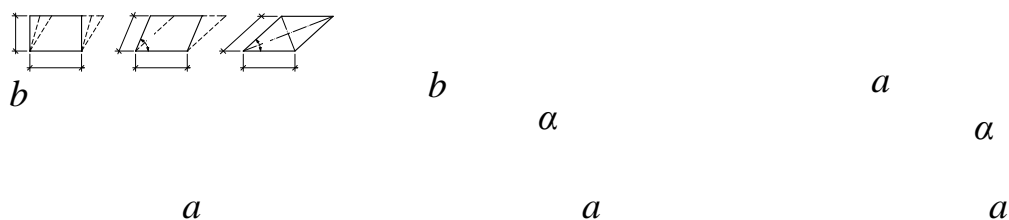


Рисунок 4 – Аффинное преобразование прямоугольником путем его сдвига

Пусть требуется найти \dot{r}/\bar{r} для параллелограмма с отношением сторон $a/b = 2,0$ и острым углом 60° . Этому параллелограмму соответствует прямоугольник с отношением сторон $a/b = 2,309$ и ромб с острым углом $25,66^\circ$. По формулам из работы [5] определяем коэффициенты формы фигур:

– для прямоугольника $K_f = 4\left(\frac{a}{b} + \frac{b}{a}\right) = 4\left(2,309 + \frac{1}{2,309}\right) = 10,968$;

– для параллелограмма $K_f = 4\left(\frac{a}{b} + \frac{b}{a}\right) / \sin \alpha = 4\left(2 + \frac{1}{2}\right) / \sin 60^\circ = 11,547$;

– для ромба $K_f = 8 / \sin \alpha = 8 / \sin 25,66^\circ = 18,474$.

По формулам из [2, 4] определяем значения \dot{r}/\bar{r} :

– для прямоугольника 0,6618;

– для ромба 0,4668.

Так как при выбранном аффинном преобразовании площадь остается неизменной, то в формулах (13) отношение площадей равно единице и искомое значение \dot{r}/\bar{r} для заданного параллелограмма равно:

$$\dot{r}/\bar{r} = 0,6618 \left(\frac{11,547}{10,968} \right)^{-0,67} = 0,6394, \text{ где } n = \frac{\ln(0,4668/0,6618)}{\ln(18,474/10,968)} = -0,67.$$

Непосредственно оценить полученное решение не представляется возможным. Но получить приближенную оценку можно следующим косвенным образом. Используя методiku МИКФ получим решения критического усилия, заменяя в расчетных формулах (13) аргумент K_f на \dot{r}/\bar{r} . Для опорных пластинок получим:

– для прямоугольной пластинки по формуле (5) $k=27,038$;

– для ромбической пластинки по формуле (3) $k=35,555$.

Искомое решение для параллелограммной пластинки:

$$k = 27,038 \left(\frac{0,6394}{0,6618} \right)^{-0,784} = 27,778, \text{ где } n = \frac{\ln(5,555/27,038)}{\ln(0,4668/0,6618)} = -0,784,$$

что отличается от известного решения [5] $k = 27,474$ всего на 1,11%.

В заключение отметим преимущества предлагаемой в статье безразмерной характеристики плоской области – отношение конформных радиусов \dot{r}/\bar{r} . Для областей, форма которых однозначно определяются одним геометрическим параметром, можно получить функциональные зависимости для определения интегральной физической характеристики пластинки по этому параметру. Но как только форма области определяется двумя и более параметрами, такой возможности нет. В этих случаях, как показано выше, можно успешно использовать отношение конформных радиусов \dot{r}/\bar{r} . Целесообразно в дальнейшем проверить указанные возможности в задачах колебаний и поперечного изгиба пластинок.

Выводы

1 Отношение конформных радиусов \dot{r}/\bar{r} , зависящее только от геометрической формы пластины, может использоваться для определения значений критического усилия при потере устойчивости пластинок с однородными граничными условиями (либо шарнирное опирание по контуру, либо жесткое защемление) при их равномерном и всестороннем сжатии.

2 Получены функциональные зависимости для определения критического усилия при потере устойчивости при равномерном и всестороннем сжатии шарнирно опертых и жестко защемленных по контуру пластин по параметру \dot{r}/\bar{r} для подмножества форм пластинок в виде правильных n -угольников, произвольных треугольников, ромбов, прямоугольников и эллипсов.

3 Показана возможность нахождения значений \dot{r}/\bar{r} и значения критического усилия $q_{0,кр}$ для сложных областей (в частности параллелограммных) с помощью МИКФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробко, В.И. Изопериметрический метод в задачах устойчивости пластинок [Текст] / В.И. Коробко, А.Н. Хусточкин. – Ростов-на-Дону: Изд-во Северо-Кавказского научного центра высшей школы, 1994. – 148 с.
2. Полия, Г. Изопериметрические неравенства в математической физике: Пер. с англ. Изд. 2-е, стереотипное [Текст] / Г. Полия, Г. Сеге. – М.: КомКнига, 2006. – 336 с.
3. Эйдерман, В.Я. Основы теории функций комплексного переменного и операционного исчисления [Текст] / В.Я. Эйдерман. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 256 с.
4. Казанцев, В.П. Электростатика на плоскости. Нормировка потенциала. Емкости уединенного проводника и линии относительно точки. Конформные радиусы [Текст] / В.П. Казанцев, О.А. Золотов, М.В. Долгополова // Вестник КрасГУ. Серия физ.-мат. науки. – Красноярск: КрасГУ, 2005. – №1. – С. 32-38.
5. Коробко, А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости [Текст] / А.В. Коробко. – М.: АСВ, 1999. – 320 с.
6. Сенин, М.А. Определение динамических характеристик пластинок с комбинированными граничными условиями с помощью метода интерполяции по коэффициенту формы. Дис. канд. техн. наук [Текст] / М.А. Сенин. – Орел, 2009. – 259 с.
7. Биргер, И.А. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трех томах. Том 3 [Текст] / И.А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1901. – 568 с.
8. Алфутов, Н.А. Основы расчета на устойчивость упругих систем [Текст] / Н.А. Алфутов. – М.: Машиностроение, 1978. – 312 с.

Коробко Андрей Викторович

ФГОУВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
 Доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретическая и прикладная механика»
 Тел.: +7 (4862) 41-9846
 E-mail: center_epb@mail.ru

Черняев А.А.

ФГОУВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
 Аспирант кафедры «Строительные конструкции и материалы»
 Тел.: +7 (4862) 73-43-95
 E-mail: oantc@ostu.ru

МЕДНОВ Е.А.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ДИНАМИЧЕСКОГО ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ СТАЛИ
В УСЛОВИЯХ ЗАПРОЕКТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМУЮ
СТЕРЖНЕВУЮ СИСТЕМУ**

Приведены результаты экспериментальных исследований динамического предела текучести неразрезных стержневых систем в условиях мгновенного разрушения опоры.

Ключевые слова: динамические напряжения, динамический предел текучести, сменный элемент.

Results of experimental researches of a dynamic limit of fluidity of not cutting rod systems in the conditions of instant support destruction.

Keywords: dynamic pressure, dynamic limit of fluidity, replaceable element.

При действии аварийных нагрузок металл находится в сложном напряженно-деформированном состоянии, изменяющемся во времени. Свойства металла в этих условиях могут существенно отличаться от статического поведения при низких скоростях деформации. Анализ работы металла в этих условиях осложняется тем, что инерционные силы накладываются на внутренние усилия, характеризующие свойства материалов.

Динамические свойства конструкционных сталей с явно выраженной площадкой текучести существенно отличаются от статических. При этом отличие наблюдается за пределом текучести. Высокопрочные «жесткие» стали практически нечувствительны к скоростному нагружению. Динамический предел текучести возрастает с увеличением скорости деформирования и уменьшается с ростом статического предела текучести.

При определенных параметрах динамической нагрузки необходимая энергия деформирования до малых пластических деформаций может превышать расчетное значение статической энергии более чем в 6 раз. Особенно актуально учитывать фактический динамический предел текучести при расчете на прогрессирующее обрушение, т.к. задача этого расчета предотвратить мгновенное разрушение конструкции при однократном запроектном динамическом воздействии.

К сожалению, динамические характеристики не могут быть непосредственно использованы в расчетах на прочность, как некие константы, так как их значения зависят от скорости нагружения и формы импульса нагрузки.

Методика непосредственных измерений динамических характеристик материалов основывается на измерениях напряжений и деформаций, возникающих в образце под действием динамического нагружения в условиях одноосного растяжения.

Необходимо, чтобы диаграммы изменения нагрузки, прикладываемой к образцу, и его деформации получались непосредственно из эксперимента без каких либо дополнительных вычислений.

Как правило, динамический предел текучести экспериментально определяется при ударных нагружениях что не может быть использовано для расчетов на прогрессирующее обрушение. Поэтому для получения корректных результатов необходимо определять динамический предел текучести в тех же условиях нагружения, которые возникают при запроектном воздействии.

По скорости приложения нагрузки или скорости деформирования все динамические нагружения можно условно разделить на 3 группы:

1 – «Постепенное нагружение» – возрастание нагрузки измеряется секундами (от 50 до 1 сек);

2 – «Скоростное» нагружение – возрастание нагрузки измеряется миллисекундами (от 1 до 10^{-3} сек);

3 – «Высокоскоростное» (ударное) нагружение – возрастание нагрузки измеряется микросекундами (от 10^{-3} до 10^{-6} сек);

Первая группа характеризуется тем, что скорости нагружения значительно отличаются от обычных «статических», но тем не менее возможно применение чисто механических приборов для фиксации нагрузок и деформаций.

Вторая группа занимает особое положение по методам нагружения и измерения нагрузок и деформаций. Скорости нагружения очень велики для обычных статических испытательных машин и недостаточно велики по сравнению с ударным нагружением, вследствие чего для получения таких скоростей необходимы специальные нагружающие устройства. В пределах этой группы еще полностью применимы условия статического равновесия, т.е. можно пренебречь волнами напряжения в образце. Например, для стали скорость распространения упругих волн составляет 5000 м/сек и при длине образца 300 мм время распространения волны нагрузки составляет 6×10^{-5} сек, т.е. 6% от наименьшего времени нагружения (10^{-3} сек) и отраженные волны при скоростном нагружении практически отсутствуют, поэтому возможно использование постоянных проволочных тензометров, соединяемых со сменными образцами. Интервал скоростей нагружения в этой группе перекрывает все возможные скорости, характерные при условиях запроектных воздействий.

Третья группа характерна для ударном или взрывном воздействии.

Для скоростного нагружения при котором минимальное время до начала текучести может составлять 10^{-3} сек. не существует промышленных образцов испытательного оборудования. Поэтому необходимо было разработать установку для проведения испытаний и одновременно приблизить условия испытаний к реальной работе конструкции в условиях выключения из работы одной из связей. Для испытаний была изготовлена стальная двухпролетная неразрезная ферма с треугольной решеткой из профильных труб сечением $20 \times 1,5$. Расстояния между опорами – 2 м. В панели нижнего пояса (рядом со средней опорой) предусмотрена возможность установки сменного элемента.

Крепление элемента осуществляется соединением на фланцах. Особенностью конструкции данного соединения является то, что фланцы на нижнем поясе фермы выполняются из пластин, имеющих кривизну свободной поверхности из плоскости фермы. Радиус кривизны составляет 360 см. Фланцы на сменных элементах имеют строго параллельные плоскости. Данное решение позволяет выполнять центровку сменного элемента для обеспечения осевой передачи усилия.

Было изготовлено две серии элементов по 9 шт: 1- серия для статических испытаний на разрывной машине для определения предела текучести; 2 серия – для динамических испытаний.

Сам сменный элемент для динамических испытаний представляет собой плоский лист толщиной 3 мм и шириной в крайних третях пролета 30 мм, в середине пролета – 10 мм. Конструкция элемента показана на рисунке 1.

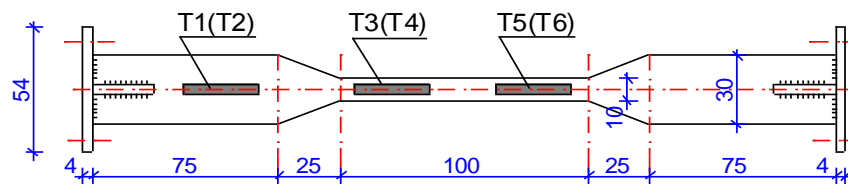


Рисунок 1 – Конструкция сменного элемента

На каждом сменном элементе, предназначенном для динамических испытаний предварительно устанавливались парные тензодатчики сопротивления типа КФ 5П1-20-200-Б-12

(сопротивление 199,5 ом). Датчики Т1-Т2 служат для определения усилий в элементе. Датчики Т3-Т6 фиксируют деформации в средней трети элемента.

Все сменные элементы изготавливались из одного листа по ГОСТ 19904-90 из стали марки С235. По результатам испытаний 9-ти образцов на разрывной машине определено среднее значение физического предела текучести – $\sigma_T = 260$ МПа.

Динамические испытания начинались с установки сменного элемента нижнего пояса фермы. Далее при отсутствии средней опоры к ферме поэтапно прикладывалась статическая нагрузка с фиксацией показаний тензодатчиков. Цель статических испытаний – добиться, чтобы разница показаний парных датчиков на всех этапах нагружения на противоположных сторонах образца не превышала 5%. Это достигалось затягиванием или ослаблением соответствующих болтов фланцевого соединения. Далее проводились поэтапные динамические испытания с приложением запроектной нагрузки в виде мгновенного разрушения средней опоры.

Измерение динамических характеристик производилось с помощью программно-аппаратного комплекса, состоящего из персонального компьютера и аппаратных средств сбора информации, представляющие собой инструментальные платы аналогово-цифровых преобразователей и модули фирмы L-card. Компьютер оснащен специальным комплексом программ для обработки результатов измерений, называемом Пакетом обработки сигналов (ПОС). К комплексу подключаются тензодатчики. Калибровка измерительной аппаратуры производилась на тарировочной балке. Программно-аппаратный комплекс и платы L-card имеют заключение метрологической экспертизы.

Нагружение фермы запроектной нагрузкой проводилось ступенями по следующей схеме.

1. При наличии всех опор фиксировались показания тензодатчиков при отсутствии нагрузки.
2. Прикладывалась нагрузка очередной ступени и фиксировались показания тензодатчиков.
3. Включался аппаратный комплекс, удалялась средняя опора и выполнялась запись динамических характеристик колебательного процесса в сменном элементе.
4. Снималась нагрузка, восстанавливалась средняя опора и снова фиксировались показания тензодатчиков.

1-я ступень соответствовала уровню нагружения 0,55 от физического предела текучести в сечении сменного элемента. Все последующие ступени шли с шагом 0,075 от физического предела текучести.

В результате проведенных экспериментальных исследований были выявлены закономерности изменения динамических напряжений в сменных элементах при последовательном увеличении исходной нагрузки.

На рисунке 2 представлены характерные графики зависимости статических и динамических напряжений от уровня нагружения при испытании сменного элемента.

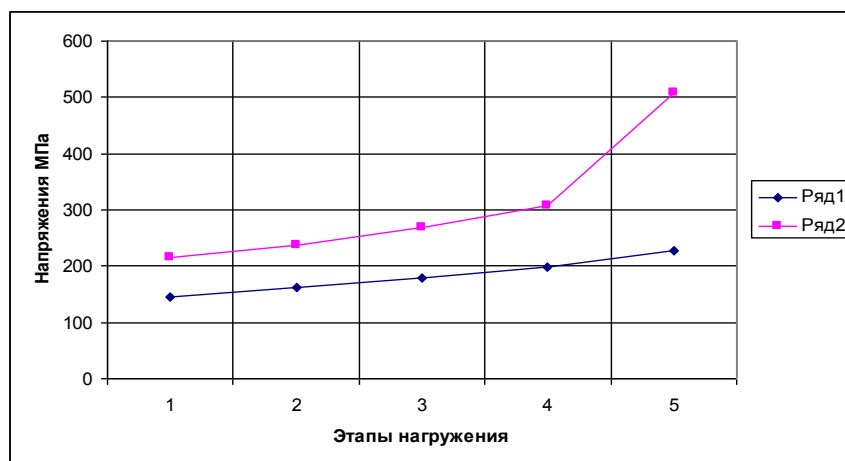


Рисунок 2 – Зависимость динамических напряжений от уровня нагружения. Ряд 1 – статические напряжения; ряд 2 – динамические напряжения

На рисунке 3 представлены характерные графики зависимости статических напряжений и остаточных деформаций от уровня нагружения при испытании сменного элемента.

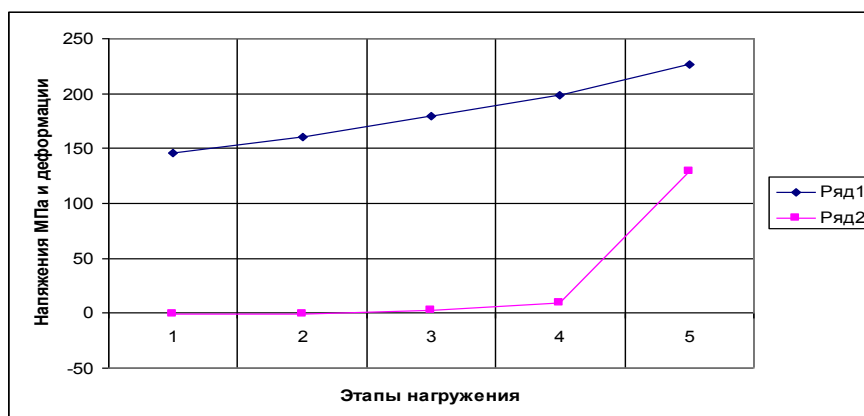


Рисунок 3 – Зависимость остаточных деформаций от уровня нагружения
Ряд 1 – статические напряжения; ряд 2 – остаточные деформации

На рисунке 4 представлена характерная запись колебаний на примере показаний датчика ТЗ, 4-я ступень нагружения.

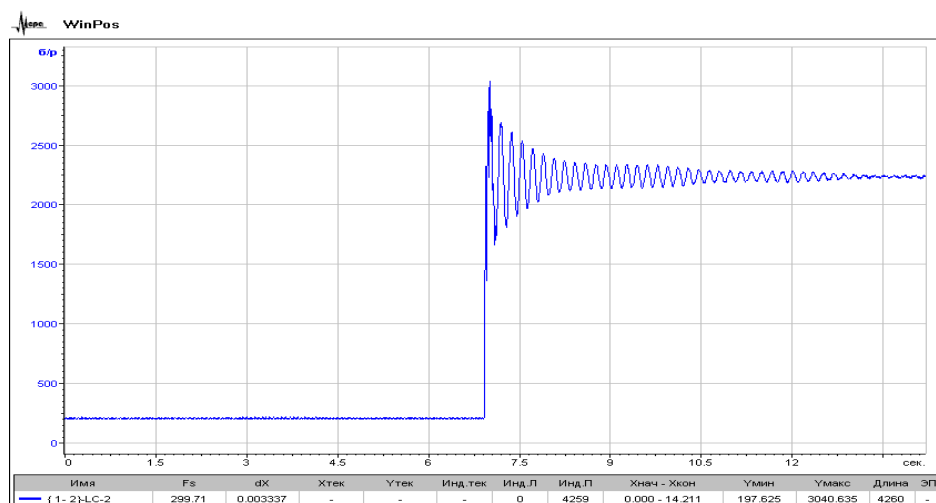


Рисунок 4 – Датчик ТЗ, 4-я ступень нагружения

На рисунке 5 представлена характерная запись колебаний на примере показаний датчика ТЗ, 5-я ступень нагружения.

Результаты опытов показывают (рисунок 2, рисунок 3), что до 4-го этапа нагружения (включительно) не наблюдается существенного роста остаточных деформаций, а динамические напряжения возрастают пропорционально статическим. На 5-ом этапе фиксируется резкий рост остаточных деформаций и динамических напряжений, связанных с явлением текучести материала.

Анализ записей колебаний показал, что на 5-ом этапе нагружения (рисунок 5) максимальные динамические напряжения фиксируются во 2-ом периоде колебаний, в то время как на всех предыдущих этапах нагружения (рисунок 4) максимальные динамические напряжения фиксируются в 1-ом полупериоде колебаний.

Таким образом, за динамический предел текучести можно принять значения максимальных динамических напряжений 4-го этапа нагружения.

В таблице 1 приведены значения динамического предела текучести $\sigma_{ТД}$, полученные по данной методике по результатам испытаний серии из 9-ти образцов. По результатам ста-

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

статистической обработки среднее значение $\sigma_{ТД} = 307$ МПа или в относительных единицах $\sigma_{ТД} = 1,18\sigma_T$, а с надежностью 0,95 $\sigma_{ТД} = 286$ МПа или в относительных единицах $\sigma_{ТД} = 1,1\sigma_T$.

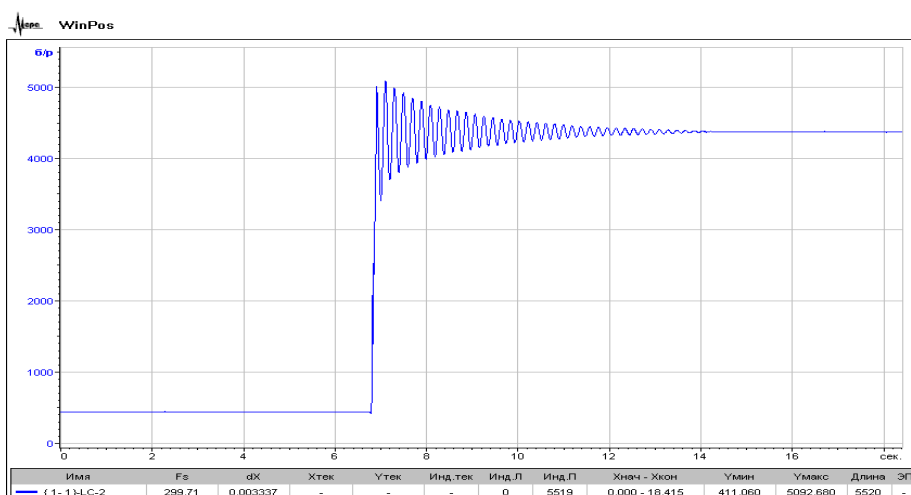


Рисунок 5 – Датчик ТЗ, 5-я ступень нагружения

Таблица 1

№ испытания	Максимальные динамические напряжения, МПа	$\sigma_{ТД}/\sigma_T$
1	308	1,18
2	320	1,23
3	316	1,22
4	295	1,13
5	298	1,15
6	316	1,22
7	309	1,19
8	302	1,16
9	300	1,15
Среднее арифм.	307	1,18
	Стандартное отклонение	0,03
	Коэффициент вариации	2,90
	Значение с надежностью 0,95	1,10

В то же время по данным [1] для арматурной стали класса А-I, имеющей характеристики близкие к стали марки С235 рекомендуется принимать $\sigma_{ТД} = 1,3\sigma_T$.

Выводы

1. Предложенная методика экспериментальных исследований позволяет достаточно точно определять динамический предел текучести стали применительно к условиям реальной работы конструкции при запроектных воздействиях.

2. При скоростях динамического нагружения, характерных для случая мгновенного разрушения опоры в стержневых конструкциях, динамический предел текучести оказывается ниже, заявленного в справочнике [1] и для стали С235 может быть принят $\sigma_{ТД} = 1,1\sigma_T$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Динамический расчет зданий и сооружений. Справочник проектировщика. Москва, Стройиздат, 1984. – С. 212.

Меднов Е.А.

Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ), г. Москва
Аспирант

ТУРКОВ А.В., КАЛИНОВ А.В., АЛДУШКИН Р.В.

ИНТЕНСИВНОСТЬ ОСВОБОЖДЕНИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ ДЕЙСТВИИ СТАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ (ВИБРАЦИОННОЙ) НАГРУЗКИ НА ДЕРЕВЯННУЮ БАЛКУ, РАБОТАЮЩУЮ С ТРЕЩИНАМИ

Рассматривается двухшарнирная деревянная балка с трещинами на опоре при действии статических и динамических (вибрационных) нагрузок. Исследуется интенсивность освобождения энергии на конце трещины поперечного сдвига, при которой происходит развитие трещины. Выведена зависимость критической интенсивности освобождения энергии при действии статических и динамических (вибрационных) нагрузок.

Ключевые слова: трещиностойкость деревянных конструкций, деревянная балка, трещина, интенсивность освобождения энергии.

The double-hinged wooden balk was considered. This balk has the cracks on support legs under action of static and dynamic (vibration) loading. Intensity of energy release of transverse shift on the end of crack was explored. The equation was compiled for critical intensity of energy release under action of static and dynamic (vibration) loading.

Keywords: crack resistance of the wood constructions, wooden balk, crack, intensity of energy release.

Как показывает практика, многие деревянные конструкции эксплуатируются с трещинами, расположенными вдоль волокон деревянного элемента. Причина образования трещин различна – это могут быть как силовые трещины, вызванные ошибками в проектировании или возникновением в процессе эксплуатации запроектных нагрузок, так и трещины, образовавшиеся при неправильной эксплуатации в результате процессов разбухания-усушки.

В последнее время отдельными авторами проведен ряд исследований, в которых рассмотрены механизмы трещинообразования в элементах деревянных конструкций при статических нагрузках, в том числе трещин нормального отрыва и поперечного плоского сдвига. Вместе с тем, к настоящему времени работ по трещинообразованию деревянных конструкций при действии динамических (вибрационных) нагрузок недостаточно. В связи с вышесказанным целью настоящей работы является оценка трещинообразования в деревянных конструкциях при действии вибрационных нагрузок по результатам исследования параметра интенсивности освобождения энергии в трещинах поперечного сдвига.

Как известно, механизм разрушения деревянных конструкций, можно разделить на две стадии [1]: образование трещины, происходящее на клеточном уровне при размерах $10^{-8} \dots 10^{-3}$ см (исследованием этой стадии занимаются физика и материаловедение) и рост трещины вследствие действия внешних нагрузок (исследованием этой стадии занимается механика разрушения (МР)).

Раскрытие трещины в зависимости от направления перемещения ее берегов может произойти по трем схемам (моделям) [2], изображенным на рисунке 1:

- I – трещина нормального отрыва;
- II – трещина поперечного сдвига (плоского);
- III – трещина продольного сдвига (антиплоского).

Чаще всего силовые трещины образуются в конструкциях вследствие действия нормальных (модель I) и касательных (модель II) напряжений и их совместного действия (смешанная модель). Основными базовыми характеристиками, которыми оперирует механика разрушения, являются следующие [3]:

- 1) коэффициент интенсивности напряжений K , который описывает поля напряжений в

вершине трещины и определяется по формуле:

$$K = \sigma \sqrt{\pi a} Y, \quad (1)$$

где Y – коэффициент (K – тарировка), зависящий от геометрических характеристик тела и трещины; a – длина трещины; σ – нормальные напряжения, вызванные внешней нагрузкой.

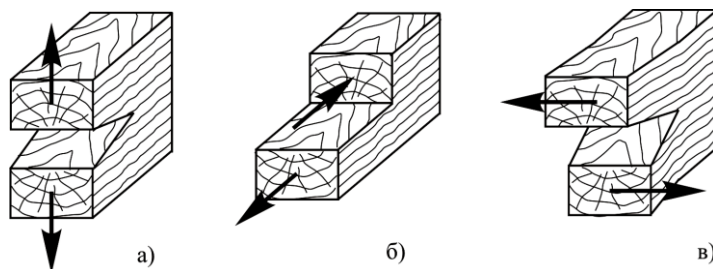


Рисунок 1 – Основные типы раскрытия трещин: а – трещина нормального отрыва; б – трещина поперечного сдвига; в – трещина продольного сдвига

2) интенсивность освобождения энергии G . Этот параметр характеризует приращение упругой энергии, необходимой на увеличение длины трещины на единицу, и определяется по формуле:

$$G = \pi \cdot \sigma^2 \cdot a / E, \quad (2)$$

где E – модуль Юнга. Интенсивность освобождения энергии имеет размерность Н/м.

3) J -интеграл, J является характеристикой суммарной плотности энергии деформации вдоль замкнутого контура, расположенного в вершине трещины, и определяется по формуле:

$$J = \int \left(W dy - T \frac{\partial u}{\partial x} \right) dS, \quad (3)$$

где S – замкнутый контур интегрирования; T – перпендикулярный контуру S вектор напряжений, направленный во внешнюю сторону; u – вектор перемещений; W – энергия упругой деформации единицы объема, определяемая по формуле:

$$W = \int_0^{\varepsilon_{ij}} \sigma_{ij} d\varepsilon_{ij}, \quad (4)$$

где σ_{ij} – тензор напряжений, ε_{ij} – тензор деформаций.

4) Ширина раскрытия трещины δ является характеристикой трещиностойкости материала при наличии пластических деформаций в вершине трещины, и определяется по формуле:

$$\delta = \frac{8\sigma a}{\pi E^{\ln \sec \left(\frac{\sigma}{2\sigma_m} \right)}}, \quad (5)$$

где δ – ширина раскрытия трещины; σ_m – напряжения текучести. Ширина раскрытия трещины имеет размерность длины, м.

Перечисленные характеристики являются постоянными для материала, т.е. при достижении величинами K , G , J -интеграл или δ своих критических значений начнется рост трещины.

Коэффициент интенсивности напряжений и интенсивность освобождения энергии являются величинами взаимозаменяемыми, поскольку обе характеризуют поле напряжений в окрестности вершины трещины. Через коэффициент интенсивности напряжений можно определить интенсивность освобождения энергии для плоского напряженного состояния по формуле:

$$G_I = K_I^2 / E, G_{II} = K_{II}^2 / E \quad (6)$$

и для плоской деформации:

$$G_I = K_I^2 \left(-\mu^2 \right) / E, G_{II} = K_{II}^2 \left(-\mu^2 \right) / E. \quad (7)$$

Параметр интенсивности освобождения энергии G является показателем необходимого количества энергии для того, чтобы трещина увеличилась на единицу длины. Данный подход, названный энергетическим, был предложен в начале двадцатого века английским ученым А. Гриффитсом. В дальнейшем эта теория нашла свое развитие в методе податливости, которым удобно пользоваться при экспериментальном нахождении интенсивности освобождения энергии.

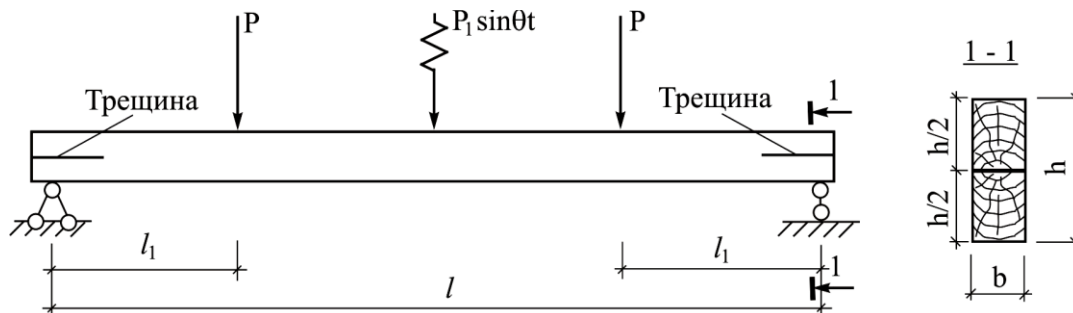


Рисунок 2 – Расчетная схема и сечение опытной конструкции

В качестве конструкции для исследования рассматриваем однопролетную двухшарнирную деревянную балку, расчетная схема которой представлена на рисунке 2, когда раскрытие трещины происходит по II модели в результате чистого плоского сдвига.

В соответствии с [1] критическая интенсивность освобождения энергии определяется:

$$G_{крит} = \frac{Q_{max}^2}{2b} \cdot \frac{dC}{da}, \quad (8)$$

где Q_{max}^2 – максимальная перерезывающая сила, возникающая в сечении с искусственной трещиной; b – ширина сечения деревянной балки; dC/da – значение производной функции податливости от длины искусственной трещины.

Податливость материала образцов высчитывается по формуле:

$$C = \frac{\Delta f}{Q_{max}}, \quad (9)$$

где Δf – перемещение берегов трещин, равное перемещению захватов испытательной машины при проведении экспериментальных исследований.

Учитывая, что поперечная сила на опоре двухшарнирной балки будет складываться из статической и динамической составляющей, ее значение будет равно:

$$Q_{max} = P + G/2 + m \cdot \theta^2 \cdot \rho \cdot \sin \theta t. \quad (10)$$

Тогда значение критической интенсивности освобождения энергии, учитывая (8)...(10), будет равно:

$$G_{крит} = \frac{(P + G/2 + m \cdot \theta^2 \cdot \rho \cdot \sin \theta t)^2}{2b} \cdot \frac{d\left(\frac{\Delta f}{P + G/2 + m \cdot \theta^2 \cdot \rho \cdot \sin \theta t}\right)}{da}, \quad (11)$$

где P – статическая нагрузка, приложенная к образцу, G – вес устройства, создающего динамическую нагрузку, m_2 – вес неуравновешенной массы устройства, создающего динамическую нагрузку, θ – частота работы двигателя, ρ – эксцентриситет неуравновешенной массы двигателя, t – время.

Интегрирование (11) по длине трещины a дает значение критической интенсивности освобождения энергии при совместном действии статической и динамической нагрузки на изгибаемый деревянный элемент, работающий с трещинами сдвига на опорах.

Вывод

Получено выражение для определения значения критической интенсивности освобождения энергии при совместном действии статической и динамической нагрузки на изгибаемый деревянный элемент, работающий с трещинами сдвига на опорах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаппоев, М.М. Оценка несущей способности деревянных конструкций методами механики разрушения [Текст] // Автореф. дис. докт. техн наук. – М., 1996. – 34 с.
2. Масалов, А.В. Трещиностойкость изгибаемых клееных элементов // Автореф. дис. канд. техн. наук. – Воронеж, 1992. – 25 с.
3. Авдяков, Д.В. Метод контроля трещиностойкости изделий и конструкций из клееной древесины [Текст] // Автореф. дис. докт. техн наук. – Орел, 2007. – 22 с.

Турков Андрей Викторович

ФГОУВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции и материалы»
Тел.: +7 (4862) 73-43-95
E-mail: antur@orel.ru.

Калинов Андрей Валентинович

ФГОУВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Ассистент кафедры «Городское строительство и хозяйство»
Тел.: +7 (910) 747 1945
E-mail: kalina169@mail.ru

Алдушкин Роман Владимирович

ФГОУВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции и материалы»
Тел.: +7 (4862) 73-43-95

ВЛИЯНИЕ ИСХОДНОГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И УРОВНЯ НАГРУЖЕНИЯ НА ВОЗНИКАЮЩИЙ ДИНАМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПРИ АВАРИЙНОМ РАЗРУШЕНИИ ОПОРЫ В НЕРАЗРЕЗНЫХ СТАЛЬНЫХ БАЛКАХ

Приведены результаты экспериментальных исследований динамики неразрезных балок при мгновенном разрушении опоры.

Ключевые слова: динамические напряжения, мгновенное разрушение, балка.

Results of experimental researches of dynamics of not cutting beams are resulted at instant destruction of a support.

Keywords: dynamic pressure, instant destruction, beam.

Цель исследований – анализ динамического поведения статически неопределимых балочных строительных конструкций при мгновенном разрушении опоры.

Исследования проводились на двухпролетных неразрезных стальных балках из профильных труб 40×20×2 по ГОСТ 8645-68. Закрепление на опорах – шарнирное.

Для испытания балок был разработан и изготовлен специальный стенд, включающий опорные устройства и загрузочное приспособление с платформами и штучными грузами. В качестве средней опоры применялась подвеска из круглой стали, передающая нагрузку на поперечную опорную жесткую раму. Между подвеской и рамой устанавливался электромагнит. Схема стенда показана на рисунке 1.

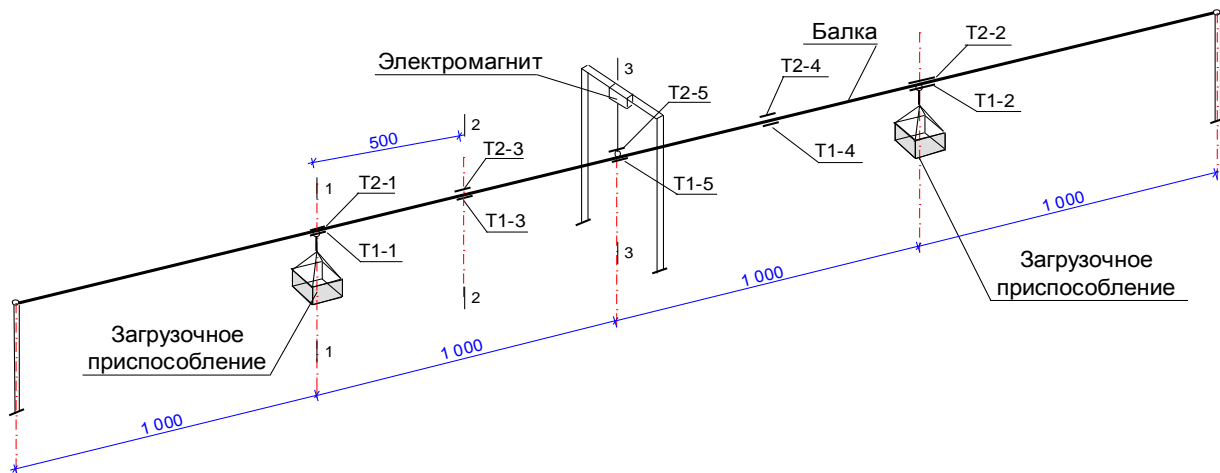


Рисунок 1 – Конструкция стенда и расстановка измерительных приборов

Запроектная нагрузка прикладывалась в виде мгновенного разрушения средней опоры. Технически такое приложение нагрузки осуществлялось путем выключения электромагнита, рассчитанного на усилие отрыва 500 кг.

В процессе испытаний измерялись относительные деформации по нижней и верхней гранях в трех характерных сечениях, а именно: в местах приложения сосредоточенных сил (сечение 1-1), между сосредоточенными силами и центральной опорой (сечение 2-2) и над средней опорой (сечение 3-3).

Измерение динамических характеристик производилось с помощью программно-аппаратного комплекса, состоящего из персонального компьютера и аппаратных средств сбора информации, представляющие собой инструментальные платы аналогово-цифровых преобразователей и модули фирмы L-card. Компьютер оснащен специальным комплексом программ для обработки результатов измерений, называемом Пакетом обработки сигналов (ПОС). К комплексу подключаются датчики. В данном случае в качестве датчиков использовались тензодатчики сопротивления типа КФ 5П1-20-200-Б-12 (сопротивление 199,5 ом). Калибровка измерительной аппаратуры производилась на тарировочной балке. Программно-аппаратный комплекс и платы L-card имеют заключение метрологической экспертизы.

Нагружение балок запроектной нагрузкой проводилось ступенями по следующей методике.

1. При наличии всех опор фиксировались показания тензодатчиков при отсутствии нагрузки.
2. Прикладывалась нагрузка очередной ступени в виде сосредоточенных сил в середине каждого пролета и фиксировались показания тензодатчиков.
3. Включался аппаратный комплекс, отключался электромагнит и выполнялась запись динамических характеристик колебательного процесса в исследуемых сечениях балки.
4. Снималась нагрузка, восстанавливалась средняя опора и снова фиксировались показания тензодатчиков.

Величина нагрузки каждой ступени соответствовала 0,1 от теоретической разрушающей нагрузки при расчете балки без промежуточной опоры.

В результате проведенных экспериментальных исследований были выявлены закономерности изменения динамических напряжений в исследуемых сечениях при запроектном воздействии при различных уровнях загрузки.

В сечении 1 – 1 при запроектном воздействии напряжения увеличиваются, не меняя своего знака. В сечении 2 – 2 при запроектном воздействии напряжения увеличиваются практически от 0 до максимального значения. В сечении 3 – 3 при запроектном воздействии напряжения увеличиваются и меняют знак.

Введем следующие обозначения:

σ_n^c – статическое напряжение в рассматриваемом сечении при наличии средней опоры;

σ_{n-1}^c – статическое напряжение в рассматриваемом сечении при удалении средней опоры;

σ_{n-1}^d – динамическое напряжение в рассматриваемом сечении при удалении средней опоры;

$K_c = \frac{\sigma_{n-1}^c}{\sigma_n^c}$ – статический коэффициент;

$K_d = \frac{\sigma_{n-1}^d}{\sigma_{n-1}^c}$ – коэффициент динамичности.

Статический коэффициент не зависит от уровня загрузки и для рассматриваемых сечений составил:

Сечение 1 – 1 $K_c = 3,2$;

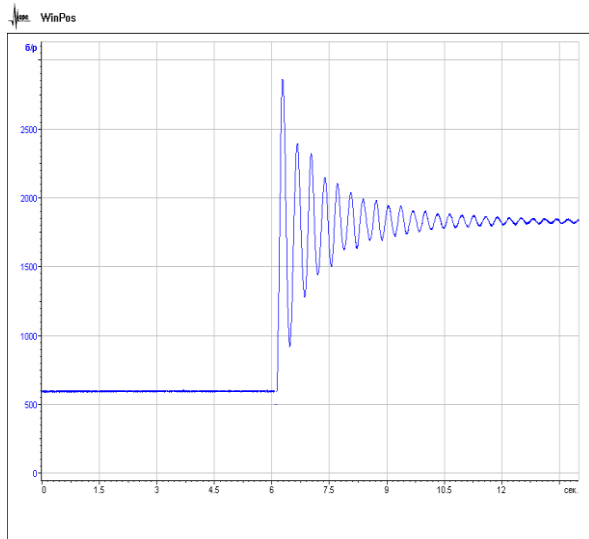
Сечение 2 – 2 $K_c = 31,2$;

Сечение 3 – 3 $K_c = -2,6$

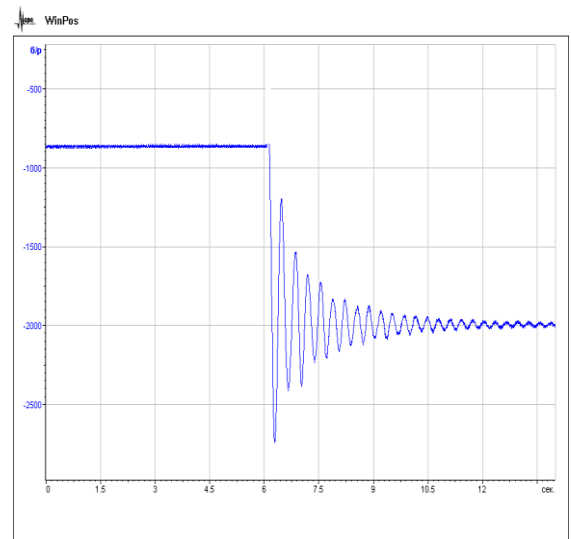
На рисунке 2 представлены записи колебаний на примере показаний датчиков Т1-1 и Т2-1 (сечение 1-1), Т1-3 и Т2-3 (сечение 2-2), Т1-5 и Т2-5 (сечение 3-3) 7-я ступень загрузки.

На рисунке 3 представлены графики зависимостей коэффициента динамичности K_d от уровня загрузки для трех рассматриваемых сечений.

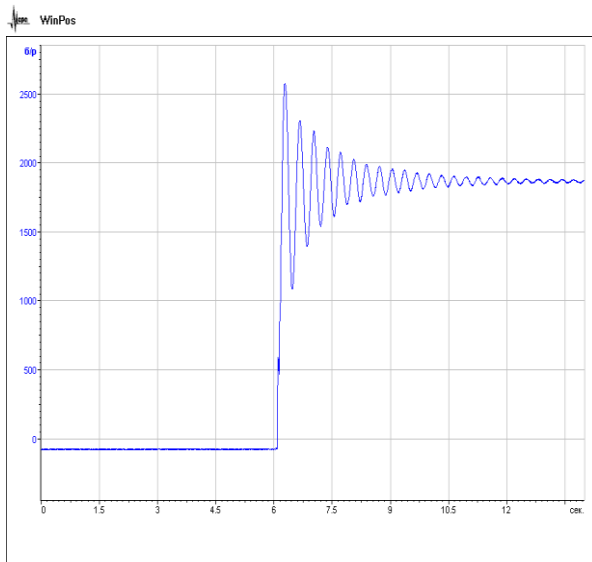
Строительство и реконструкция



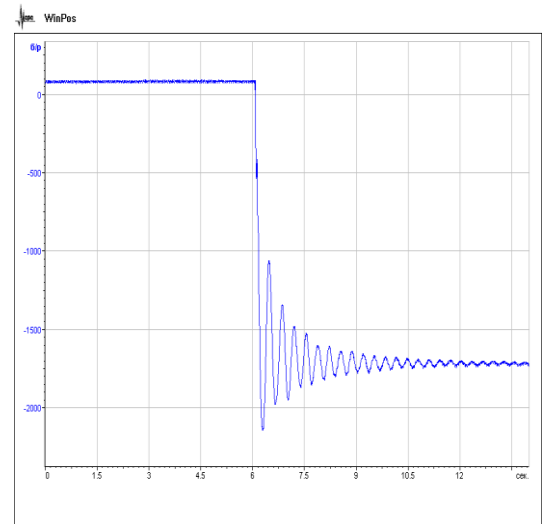
Датчик Т1-1



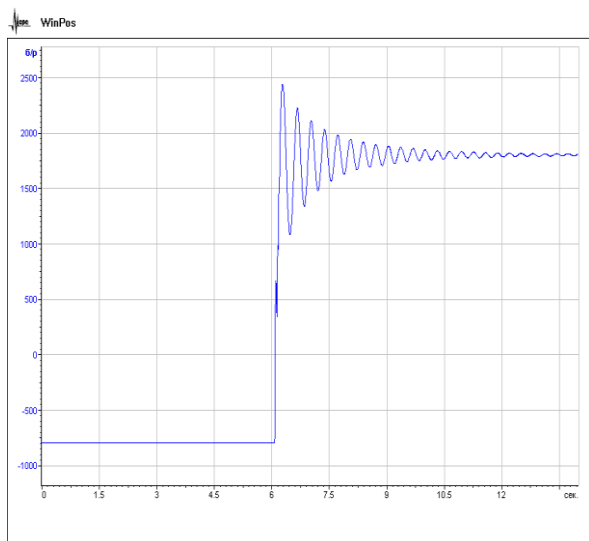
Датчик Т2-1



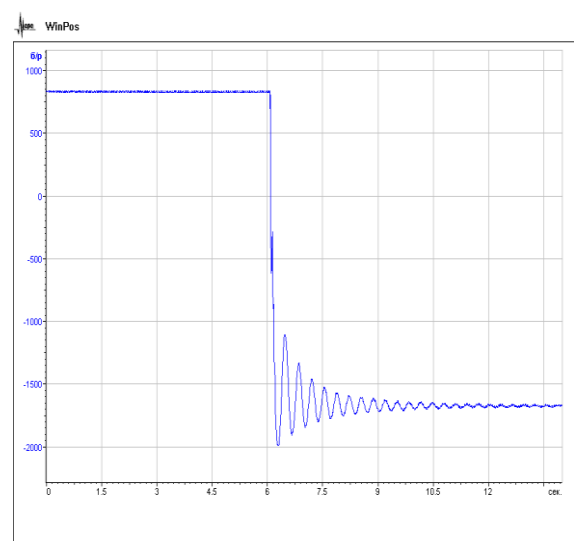
Датчик Т1-3



Датчик Т2-3



Датчик Т1-5



Датчик Т2-5

Рисунок 2 – Запись показаний датчиков Т1-1, Т2-1, Т1-3, Т2-3, Т1-5, Т2-5, 7-я ступень загрузки

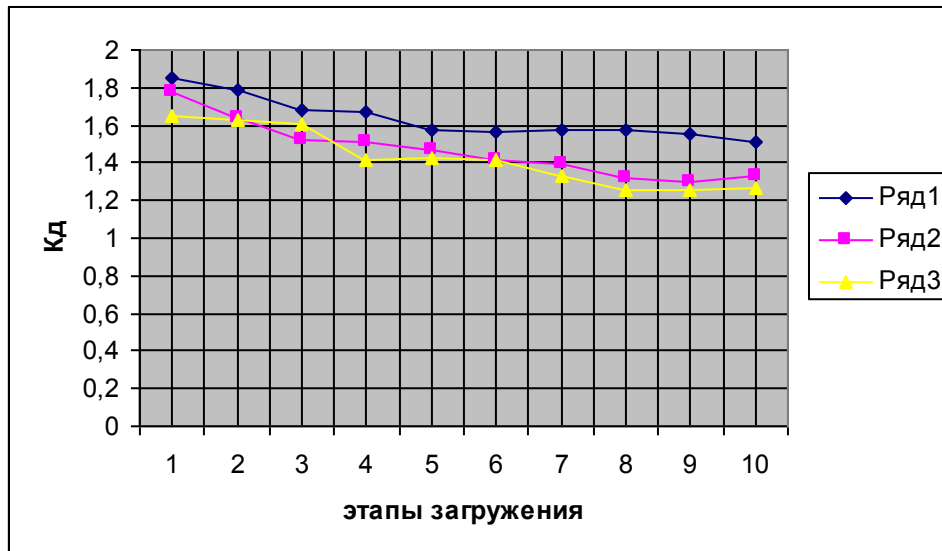


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента динамичности K_d от уровня загрузки. Ряд 1 – сечение 1-1; ряд 2 – сечение 2-2; ряд 3 – сечение 3-3

В работе [1] Г.А. Гениевым предложена методика определения приращений напряжений в элементах стержневых статически неопределимых конструкций при мгновенном разрушении отдельных элементов. По этой методике для упругого материала динамические напряжения в произвольном сечении при выключении одной связи определяются из выражения:

$$\sigma_{n-1}^d = 2\sigma_{n-1}^c - \sigma_n^c. \quad (1)$$

Формула (1) позволяет определять динамические напряжения, не требуя выполнения расчетов деформируемой конструкции в динамической постановке.

На рисунке 4. представлены результаты сравнения экспериментальных данных и расчетов по методу Гениева для трех характерных сечений.

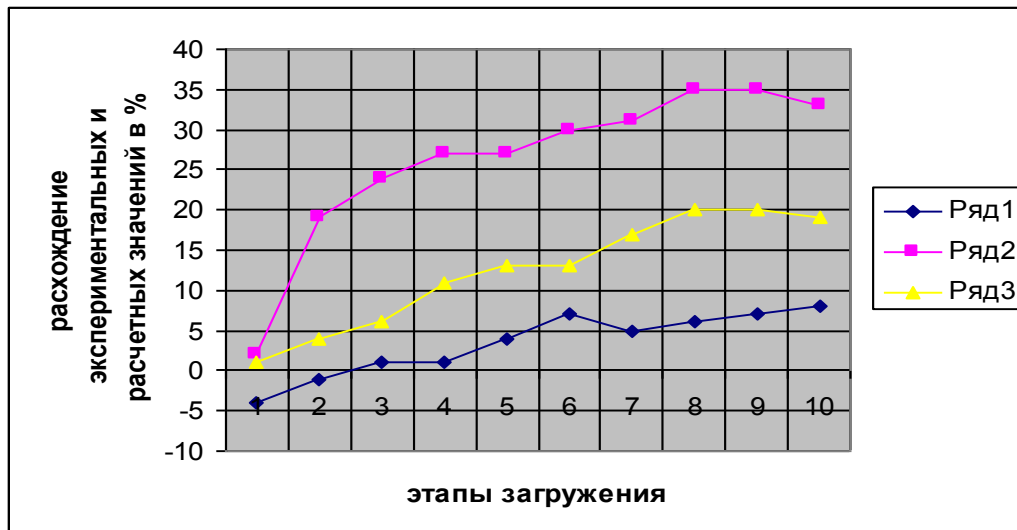


Рисунок 4 – Результаты сравнения экспериментальных данных и расчетов по методу Гениева. Ряд 1 – по сечению 1 – 1; ряд 2 – по сечению 2 – 2; ряд 3 – по сечению 3 – 3

Выводы

1. Коэффициент динамичности K_d не является постоянной величиной для рассматриваемой стержневой системы. При увеличении статической нагрузки в исходной системе K_d уменьшается.

Строительство и реконструкция

Существенным образом K_d зависит от величины статического коэффициента K_c . Минимальное значение имеет место для сечения, в котором знак напряжений меняется при разрушении опоры.

2. Метод Гениева дает удовлетворительные оценки динамических напряжений при мгновенном разрушении опоры в сечении 1-1. При этом погрешность не превышает 8%. Для сечения 3-3 (знакопеременные напряжения) погрешность возрастает до 20%, а для сечения 2-2 ($K_c = 31,2$) погрешность составляет более 35%.

Во всех сечениях на всех этапах нагружений, начиная с 3-го, динамические напряжения, полученные по результатам экспериментов меньше расчетных. Одной из причин такого несоответствия может являться затухание поперечных колебаний системы уже в течение первого полупериода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гениев, Г.А. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях [Текст] / Г.А. Гениев, В.И. Колчунов, Н.В. Клюева, А.И. Никулин, К.П. Пятикрестовский. – М.: АСВ, 2004. – 216 с.

Федоров Виктор Сергеевич

Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ), г. Москва
Доктор технических наук, профессор
Тел.: +7 (4862) 76-03-72
E-mail: oantc@ostu.ru

Меднов Е.А.

Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ), г. Москва
Аспирант
Тел.: +7 (4862) 76-03-72
E-mail: oantc@ostu.ru

УДК 624.021

МЕРКУЛОВА Е.В.

**ВИЗУАЛЬНО-ЭСТЕТИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ
К ОБЪЕКТАМ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ**

Рассмотрены вопросы визуального загрязнения городской среды, и их влияние на комфортное проживание населения города. Предложено при разработке проекта застройки выполнять оценку воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: городская среда, проект застройки.

Questions of the aesthetical visual pollution of urban environment are examined, and their influence on the comfortable stay of the population of city. It is proposed with the development of the design of building to carry out the evaluation of action on the environment.

Keywords: the city environment, the building project.

Значительное увеличение объемов жилищного строительства, его удвоение в соответствии с национальным проектом «Доступное жилье – гражданам России» связано с применением типовых проектов или проектов повторного применения жилых зданий, что неизбежно приводит к строительству архитектурно невыразительных объектов. В российских городах продолжают возводить кварталы однотипных зданий – близнецов. Эта ситуация создает не только эстетическую проблему в градостроительстве, но и формирует серьезную опасность комфортному проживанию людей в подобных микрорайонах. В последнее время разрабатываются теоретические основы оценки видеозагрязнений в архитектуре [1, 2].

Визуальное загрязнение окружающей среды наносит вред здоровью человека. Механизм этого влияния показан В.А.Филиным [1]. Основную информацию человек получает посредством зрения, физиологи считают глаз «частью головного мозга», необходимого для контакта с внешней средой, безликая массовая застройка разрушает зрение и психику человека. Свойства человеческого глаза – фокусировать зрение на объекте и постоянно находиться в движении: медленном, быстром, молниеносном. Этих быстрых движений, которые называли саккадами, совершается до двух в секунду. В это время глаз ничего не видит, не успевает рассмотреть. Видеть и рассматривать – задача медленных движений глазами. Саккады это такой же автоматический процесс, как дыхание или биение сердца. Нарушения нормального режима саккад приводят к расстройствам зрения и расстройствам психики. Плохое подчинение глаз внутренним командам это уже диагноз, который свидетельствует о серьезных психически расстройствах человека [2].

Глаз человека, как орган зрения, является основным источником информации об окружающей нас среде. Если быть точнее, то посредством этого сенсорного канала человек получает 90% информации об окружающем нас мире.

Психологи давно обнаружили, что если не достает информации для органов чувств, то возникает «сенсорный голод». Прямое подтверждение этому является то, что в городах намного больше (в 1,5-2 раза) близоруких людей, чем в сельской местности, в которой господствует многообразная природная среда.

Однообразная архитектура однотипных жилых массивов получила название «визуальное загрязнение», а наличие на поверхности фасада множества одинаковых архитектурных элементов – название «агрессивного визуального поля» [1]. Последнее понятие можно распространить и на совокупность рядом стоящих одинаковых зданий с фасадами указанного типа.

Проблема однообразия массовой застройки обостряется в случае возведения панельных зданий. Подавляющее большинство заводов крупнопанельного домостроения не имеют возможности производить и монтировать жилые здания более чем 1-2 серий. Причем, сам принцип заводского изготовления панелей зданий не предполагает большого многообразия архитектурных элементов оформления фасадных панелей, что обуславливает архитектурную невыразительность жилой застройки городов. Плоские однообразные фасады жилых массивов с однотипными элементами неотличимы друг от друга и напоминают гигантский по размерам «забор». Визуальная информация от таких объектов раздражает и перегружает мозг человека, агрессивное визуальное поле не дает человеку сориентироваться в пространстве, возникает чувство дискомфорта, связанное либо с перегрузкой мозга информацией либо мозг испытывает сенсорный голод (отсутствие деталей концентрирующих внимание человека).

Несмотря на то, что визуальное загрязнение по степени воздействия и уровню последствий уступают таким опасным факторам, как шум, электромагнитные и ионизирующие излучения и другие, необходимо их учитывать при выполнении комплексной оценки воздействий на условия проживания в конкретном жилом микрорайоне.

Такой опыт известен и в мировой практике. Современный квартал Парижа ДеФанс, построенный в стиле современной архитектуры с невыразительными плоскими однообразными стеклянными фасадами, так и не стал популярным местом у жителей и гостей Парижа. Архитектурный минимализм делает этот район не комфортным для человека, он пуст и в дневные и в вечерние часы, люди стремятся провести свое время не среди коробок из стекла и металла, а в старых исторических кварталах.

На снижение опасных воздействий на человека, создание комфортных условий проживания направлено принятие Технического регламента о безопасности зданий и сооружений [5]. В Техническом регламенте установлены требования по обеспечению безопасности от вредного воздействия на человека физических, биологических, химических, радиационных факторов при проектировании и строительстве жилых зданий. В отличие от других известных вредных факторов на сегодняшний день отсутствуют нормированные параметры и нормативные методики оценки видеозагрязнения, как фактора воздействия на человека. Не смотря на то, что видеозагрязнение относится к физическим факторам, оценка его влияния выполняется субъективно на подсознательном уровне. Нормирование, разработка рекомендаций для проектировщиков требуют определения количественной оценки рассматриваемого фактора. На кафедре охраны труда и окружающей среды Юго-западного государственного университета выполнены исследования по оценке комфортности пребывания людей в различных микрорайонах г. Курска. Определяющим фактором исследований являлось архитектурное решение фасадов зданий. Установлено, что раздражающими факторами являются здания с плоскими, агрессивными, длинными, многоподъездными фасадами, а так с фасадами, перегруженными многочисленными монотонно повторяющимися архитектурными элементами.

Для оценки комфортности восприятия архитектурного облика здания предлагается параметр «коэффициент комфортности видеовоздействия», оценивающий плотность использования архитектурных элементов в оформлении здания и определяемый выражением:

$$K = A_3 / A, \quad (1)$$

где A_3 – суммарная площадь архитектурных элементов на фасаде; A – общая площадь фасада.

Анализ оценок жителями комфортности влияния облика здания на их психологическое самочувствие позволил установить соответствующее численное значение параметра $K = 0,42 \dots 0,65$.

Этому интервалу параметра K отвечают фасады зданий старой постройки (рисунок 1, 2), фасады панельных жилых зданий, создавая агрессивное визуальное поле, оказывают негативное влияние на человека (рисунок 2).

Традиционное зодчество опиралось на повторяемость определенных функциональных и декоративных элементов, обеспечивающих узнаваемость того или иного объекта его совместимость с окружающей средой, сомасштабность человеку. Современное зодчество, отказавшись от применения традиционных приемов формообразования, лишило архитектуру

Архитектура и градостроительство

«дара речи». Старая архитектура, сохранилась в центральной части города и приятно привлекает внимание горожан. Более ранние постройки (до 1917 г.), как правило, выполнены по индивидуальному плану и лишены описанных недостатков.



Рисунок 1 – Здание Дворянского собрания; построено в 1877 году; ныне гарнизонный дом офицеров г. Курска. коэффициент комфортности видеовоздействия $K = 0,65$



Рисунок 2 – Жилой дом по ул. М. Горького в к. Курске. Коэффициент комфортности видеовоздействия $K=0,48$



Рисунок 3 – Массовая застройка жилого северо-западного микрорайона г. Курска, 1980 г. коэффициент комфортности видеовоздействия $K=0,26$



Рисунок 4 – Современные панельные здания на проспекте Победы в г. Курске, 2008 г. коэффициент комфортности видеовоздействия $K=0,7$

Типовая архитектура стремилась убрать все излишества с фасадов зданий, тем самым оголив фасады зданий, представленных в одной плоскости. Удобство и экономичность строительной индустрии преобразило формы возводимых строений. Самые популярные в городах строения выглядят как прямоугольные коробки с плоскими, агрессивными, длинными, многоподъездными фасадами. Если учесть, что крупнопанельное домостроение составляет 60% всего строительства в стране, а в нашем городе Курске 75% от общего количества вводимого жилья, то вопрос о создании экологически безвредного визуального облика городов на данный момент актуален. Статистика показывает, что северо-западный микрорайон города Курска является проблемным районом по количеству правонарушений его жителями.

Архитектор организует среду, которая по силе своего воздействия на человека во многом превосходит другие виды искусств. Кто такой архитектор, это человек, профессионально занимающийся формообразованием. В отличие от дизайнера он не рассчитывает на шок от своих произведений, среда которую он организует способствует развитию личности. Предлагаемый коэффициент комфортности видеовоздействия позволяет оценить возможные отрицательные видеовоздействия строительного объекта на стадии разработки проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Истомин, Б.С. Влияние биологических факторов на повышение качества городской визуальной среды [Текст] / Б.С. Истомин, В.А. Филин, И.Н. Кузнецов // Известия ОрелГТУ. Серия «Строительство. Транспорт». – Орел: ОрелГТУ. – 2007. – №2/14 (530).
2. Филин, В. Зрение в агрессивном поле [Текст] / В.Филин // Строительная газета. – №27. – 6 июля. – 2007.
3. Князева, В.П. Экологические аспекты выбора материалов в архитектурном проектировании [Текст]: учеб. пособие / В.П. Князева, В.П. Князева. – М.: Архитектура-С, 2006. – 296 с.
4. Прикладная экология [Текст]: учебное пособие для вузов. – М.: Академический Проект: Традиция, 2005. – 384 с.
4. Хомич, В.А. Экология городской среды [Текст]: учеб. пособие / В.А. Хомич. – М.: АСВ, 2006. – 240 с.
5. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений. ФЗ-384 от 30.12.2009.

Меркулова Елена Владимировна

Юго-западный государственный университет, г. Курск
Старший преподаватель кафедры «Охраны труда и окружающей среды»
Тел.: 8-910-316-60-77
E-mail: mer.ev@yandex.ru

УДК 621.3.004.18:332.8

ЧЕРНЫШОВ Л.Н., ПИЧУГИН И.Л.

ОБОСНОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Нынешнее состояние объектов ЖКХ в России требует завышенного потребления энергоресурсов. Экономия тепловой энергии достигается за счет снижения сверхнормативных потерь. Наибольший экономический эффект дает оптимизация режимов эксплуатации оборудования, потребляющего электрическую энергию. Актуальным является энергосбережение в водоснабжении. В целом необходима модернизация ЖКХ и создание жесткой системы учета и контроля за потреблением энергоресурсов.

Ключевые слова: *завышенное потребление энергоресурсов; экономия тепловой, электрической энергии, воды; модернизация ЖКХ.*

The present condition of objects of housing and communal services in Russia demands the overestimated consumption of power resources. The economy of thermal energy is reached at the expense of decrease in losses above permitted standard. The greatest economic benefit is given by optimization of modes of operation of the equipment consuming electric energy. The power savings in water supply are topical. As a whole modernization of housing and communal services and creation of rigid system of the account and control over consumption of power resources is necessary.

Keywords: *the overestimated consumption of power resources; economy of thermal, electric energy, water; housing and communal services modernization.*

Необходимость комплексного подхода к осуществлению энерго- и ресурсосберегающих мероприятий при проектировании, строительстве, эксплуатации зданий и в первую очередь систем их микроклимата не подлежит сомнению и обусловлена главным образом сокращением запасов невозобновляемых природных ресурсов, и как следствие, их постоянным удорожанием. В то же время современная ситуация с нормированием энергосбережения и теплозащиты, а так же недостаточное применение современных методик учета и контроля потребления энергоресурсов в коммунальном хозяйстве ориентирует на применение весьма ограниченного набора таких мероприятий, не всегда отвечающих конкретным условиям строительства и эксплуатации зданий.

Кроме того, следует сказать, что проводимая в прошлые годы политика «дешевых» энергоносителей привела к строительству в России зданий с низким термическим сопротивлением ограждающих конструкций, а в отсутствие средств регулирования и учета расхода тепловой энергии, горячей и холодной воды, природного газа – к расточительному их использованию в системах городского хозяйства. Завышенному потреблению энергоресурсов способствовала также низкая эффективность автономных теплогенераторов и бытовых электроприборов.

По данным статистики, фактические теплотери в жилых домах на 20-30 % превышают проектные значения вследствие низкого качества строительства и эксплуатации. Больше всего тепла требуется для отопления и горячего водоснабжения старых жилых домов, содержание которых требует значительных эксплуатационных затрат.

Жилищный фонд застройки середины прошлого века устарел настолько, что население, проживающее в таких домах практически оплачивает отопление улицы и утечки через ветхие подводящие сети. По разным оценкам до 70% выработанного на теплоисточниках тепла не доходит до потребителей, из них 40% теряется в теплоцентралях и 30% – непосред-

Строительство и реконструкция

венно в домах. Инструментальное обследование некоторых зданий полностью подтверждает этот тезис (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Результаты инструментального обследования домов первых массовых серий крупнопанельного домостроения (КПД)

Наименование показателей	Нормативная величина	Величина по результатам натурного обследования
Приведенное сопротивление теплопередаче стен	3,16	0,8
Приведенное сопротивление теплопередаче окон	0,54	0,2

Наиболее значительные теплопотери в зданиях происходят через наружные стеновые ограждения (42% для 5-этажных и 49% для 9-этажных зданий), окна (32 и 35% соответственно) и через вентиляционные системы зданий, в которых не предусматривается рекуперация выбрасываемого вместе с воздухом в атмосферу тепла. В результате показатели удельного теплопотребления в таких зданиях в 2-4 раза превышают аналогичные показатели в странах Европы и Америки с близкими климатическими условиями. Высокое удельное теплопотребление приводит к неоправданным расходам тепловой энергии, которые, по оценкам специалистов по домам крупнопанельного домостроения (КПД) составляет 3,3 млн. Гкал в год.

Сравнительная расчетная оценка зданий КПД по энергозатратам и расходам тепла в сопоставлении с современными нормативными требованиями представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительная расчетная оценка зданий КПД по энергозатратам и расходам тепла в сопоставлении с современными нормативными требованиями представлены

№ п/п	Наименование показателей	Серии				
		1-335	1-528	1-507	ОД	ГИ
1	Среднее приведенное сопротивление теплопередаче*, кв.м°С/Вт (существующее)	0,62	0,61	0,63	0,53	0,57
2	Среднее приведенное сопротивление теплопередаче, кв.м°С/Вт, требуемое СНиП П-3-79*, II этап	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85
3	Удельный годовой расход тепла на отопление 1 кв.м общей площади здания, (существующий)	237	256	271	284	367
4	Удельный годовой расход тепла на отопление 1 кв.м общей площади здания, рассчитанный после утепления ограждающих конструкций**	132	133	134	136	202
*Среднее приведенное сопротивление теплопередаче определяется с учетом доли площадей и сопротивления теплопередаче всех ограждающих конструкций.						
**С учетом теплопотерь на обогрев вентиляционного воздуха.						

Если учесть, что в России общая площадь эксплуатируемых зданий составляет около 5,4 млрд. м², в том числе около 3,1 млрд. м² – это жилые дома, при их обслуживании расходуется более 410 млн. т у.т., или около 30% годовых энергоресурсов страны, то становится ясно, какое значение для экономики России имеет повышение эксплуатационных характеристик зданий.

Предпосылки энергосбережения в теплоснабжении

Технически процесс теплоснабжения объединяет в себе: добычу минерального топлива; производство тепловой энергии на теплоснабжении (ТЭС), в котельных и бойлерах;

транспортировку теплоносителя с помощью устройств передачи и преобразования энергии (трубопроводы, теплообменники); потребление в гражданских зданиях, с помощью теплопотребляющего оборудования.

Отсутствие любого из этих компонентов исключает саму возможность теплоснабжения: либо не выполняются необходимые функции – при отсутствии теплоисточников или устройств передачи теплоты; либо отсутствует потребность и цель процесса – при отсутствии объекта теплоснабжения и субъекта потребления.

Добываемое в Российской Федерации минеральное топливо (газ, нефть, уголь) оценивается в денежном выражении, по данным Минприроды России, суммой около 2,0 трилл. рублей ежегодно. С учетом стоимости полученных из топлива вторичных энергоресурсов: электроэнергия, теплота, бензина, дизельного топлива и т.п. Сумма ежегодного энергетического оборота (и потерь) составляет в целом по стране десятки триллионов рублей.

Так, исходя из ранее приведенных величин тепловых потерь, только 15-20% ресурсов в России расходуется на действительно полезное для конечного потребителя поддержание температуры в помещениях, где находятся люди (+20-22°C). Остальная теплота (кроме технологических и производственных нужд) фактически уходит на обогрев окружающей среды.

В тоже время, суровые климатические условия в России определяют теплоснабжение как наиболее социально значимый и в то же время наиболее топливоемкий сектор экономики: в нем потребляется примерно 50% используемых энергоресурсов, а более половины этих ресурсов приходится на жилищно-коммунальный и социальный сектор.

Тепловые электростанции и котельные. В настоящее время около 72% всей тепловой энергии в России производится централизованными источниками (тепловыми электростанциями) (мощностью более 20 Гкал/ч), остальные 28% производятся децентрализованными источниками теплоснабжения (котельными), в том числе 8% - автономными и индивидуальными источниками. Мелкие котельные (до 3 Гкал/ч) и индивидуальные отопительные установки (теплопроизводительностью до 25 тыс. ккал/ч) характеризуются устаревшими конструкциями, отсутствием средств автоматического регулирования и контроля, требуют значительных затрат и времени для эксплуатации, имеют значительно более низкий коэффициент полезного действия (КПД), чем установки аналогичного назначения зарубежных фирм. Кроме того, незначительная часть спроса на тепловую энергию (4,5%) удовлетворяется за счет утилизации сбросного тепла от технологических установок, а доля тепла, получаемого от возобновляемых источников энергии, очень мала.

На тепловых электростанциях сжигается свыше 380 млн. т у.т. из которых 240,0 млн. т у.т. идет на производство электроэнергии, а остальное 140,0 млн. т у.т. на выработку тепла. В совокупности, «большая энергетика» производит 1510 млн. Гкал, тепло и еще около 600 млн. Гкал тепловой энергии производится на муниципальных и ведомственных котельных.

В России насчитывается около 70 тыс. муниципальных и ведомственных котельных. Из них около половины работает на твердом топливе, еще 12% - на нефти и нефтепродуктах, а остальные - на газе. Более трети котлов имеет срок службы свыше 20 лет. Средний КПД котельных составляет 40-И50%, что увеличивает удельные расходы топлива до 41,0 млн. т у.т., включая 2,5 млн. тонн нефтепродуктов и 7,0 млрд. м³ природного газа. Изношенность оборудования котельных и низкое качество его эксплуатации приводят к завышенному потреблению электрической энергии на сумму более 13 млрд. кВт.ч в год.

Тепловые сети. Тепловые сети в России имеют протяженность 184 тыс.км, из которых 34 тыс.км нуждаются в срочной замене. Средний износ сетевого хозяйства в системах теплоснабжения превышает - 65%. На каждые 100 км тепловых сетей ежегодно регистрируется более 70 аварий и повреждений. С утечками теплоносителя ежегодно теряется более 0,25 км³ сетевой воды. 82% общей протяженности тепловых сетей требуют капитального ремонта или полной замены. Количество ветхих сетей, требующих незамедлительной замены (20% от общей протяженности), увеличивается из года в год. В результате потери энергии значительно превышают нормативы и составляют 35-40% против 16% по нормативу. Во многих странах Западной Европы с развитыми системами теплоснабжения потери в тепловых сетях составляет от 2 до 10%).

Таким образом, потенциал экономии тепловой энергии за счет снижения сверхнормативных потерь в сетях составляет порядка 250 млн. Гкал. Для производства такого количества тепла ежегодно требуется (при нынешнем уровне эффективности источников тепловой энергии) 50 млн. т, включая 16 млрд. м³ газа. Эквивалентное снижение потребности в мощности систем теплоснабжения за счет этого составляет 100 тыс. Гкал/час. Это в 2,5 раза выше подключенных тепловых нагрузок в г.Москве. Такой высвобожденной мощности достаточно для нового строительства 400-500 млн. м жилья.

Предпосылки энергосбережения в электроснабжении

Суммарное производство электроэнергии в мире к 2007 году составило более 10000 млрд. кВт.ч. После распада СССР Россия утратила постоянное второе место в мире по производству электроэнергии. Сегодня 2-е и 3-е места делят Япония и Китай. В каждой этих странах годовое производство электроэнергии достигло более 1100 млрд.кВт.ч. Бесспорным лидером в производстве электроэнергии являются США, которые производили свыше 3000 млрд.кВт.

Суммарное производство электрической энергии в России составляет порядка 880,0 млрд.кВт.ч^{*}, в том числе 160,0 млрд.кВт.ч. – на гидроэлектростанциях; 120,0 млрд.кВт.ч. на атомных электростанциях; 590,0 млрд.кВт.ч. на тепловых электростанциях «Большой энергии»; и около 10,0 млрд. кВт.ч. на мини ТЭС муниципальных образований и промышленных предприятий.

Для этих стран характерны и довольно низкие потери электроэнергии в сетях, в Японии они составляют 5,5%; во Франции – 7,3%; в Великобритании – 7,6%; в Канаде – 8%; в России потери составляют электроэнергии в сетях около 13%) (более 100 млрд.кВт.ч).

Использование электрической энергии в экономике России по группам потребителей складывается в следующей пропорции: промышленность – 56,0 %; бюджетная сфера – 14,5%; домашние хозяйства – 18,0%; транспорт и другие потребности – 6,0 %; сельское хозяйство – 5,5%.

Современное городское хозяйство насчитывает тысячи мелких, средних и крупных субъектов предпринимательства, объекты социальной сферы и население, которые являются наряду с промышленностью основными потребителями электрической энергии. Поэтому энергосбережение в ЖКС является одним из базовых видов деятельности на рынке потребительских услуг.

Как правило, передача и распределение электрической энергии осуществляется предприятиями электрических сетей, в том числе и муниципальными². Кроме того, в коммунальном комплексе городов и поселений осуществляется выработка около 10,0 млрд. кВт. ч электроэнергии в год, как правило, на современных дизельных и когенерационных установках³.

Потребители энергии на розничном рынке подразделяются по категориям (группам) в зависимости от уровня напряжения в точке подключения потребителя к сети электроснабжающей организации. Выделяют три основных категории (группы) потребителей:

- на высоком напряжении – 110 кВ и выше (промышленные и приравненные к ним потребители);
- на среднем напряжении – от 35 до 6 кВ (непромышленные, производственные сельскохозяйственные потребители);
- на низком напряжении – 0,4 кВ и ниже (население с подразделением на городское и сельское и бюджетные потребители).

^{*} До падения производства в экономики России в 1990г, объем производства электроэнергии составлял 1086,0 млрд.кВт.ч.

² Принадлежность тепло- и электроснабжения к коммунальному комплексу муниципальных образований необходимо рассматривать исключительно по причине того, что оно органически связано с городским или поселковым хозяйством, но не по форме собственности объектов тепло-, электроснабжения.

³ Когенерация (от англ. - cogeneration) - комбинированное производство тепловой и электрической энергии.

Как правило, на коммунальных предприятиях ведется постоянный учет расхода электроэнергии, оборудован ее входной коммерческий учет на ТП, распределительных устройствах для крупных внутренних потребителей, а на индивидуальных вводах квартир установлены электросчетчики.

Зачастую системы электроснабжения эксплуатируются не на номинальных режимах. Электрооборудование и распределительные сети оказываются, перегружены или недогружены. Это приводит к увеличению доли потерь в трансформаторах, электродвигателях, к снижению значения $\cos \varphi$ в системе электроснабжения.

Экономия потребляемой коммунальным предприятием электрической энергии достигается непосредственно через снижение потерь электрической энергии в системах трансформирования, распределения и преобразования (трансформаторы, распределительные сети, электродвигатели, системы электрического уличного и местного освещения), а также через оптимизацию режимов эксплуатации оборудования, потребляющего эту энергию. Причем последнее дает наибольший экономический эффект (до 70-80% от общей экономии).

Неоправданные потери в трансформаторах наблюдаются как при недогрузках, когда потребляемая мощность значительно ниже номинальной мощности трансформатора, работающего в режиме, близком к режиму холостого хода (потери составляют 0,2-0,5% от номинальной мощности трансформатора), так и при перегрузках.

Большие, сверхнормативные потери могут быть и в протяженных, перегруженных распределительных сетях.

Практически каждая квартира в многоквартирном доме или индивидуальный дом оборудована электросчетчиками, и население само заинтересовано в сбережении электроэнергии, в условиях роста цен на электроэнергию, в том числе за счет приобретения экономичного электрооборудования (холодильников, осветительных приборов и т.п.). Все большее распространение приобретают экономичные точечные источники освещения, которые создают необходимый уровень освещенности в рабочей зоне и мягкий рассеянный свет в квартире.

Применяемая собственниками жилых помещений или нанимателями и другими потребителями бытовая аппаратура характеризуется таким показателем, как энергоэкономичность.

Предпосылки энергоресурсосбережения в водоснабжении

Общий объем воды на земном шаре огромен – около 1,5 млрд. куб. км. Но следует учесть, что 94,2% ее сосредоточено в океане, а на континентах большая часть воды находится под землей и только 4 млн. куб. км. находятся в зоне активного водообмена. Основные запасы воды сосредоточены в: озерах – 230 тыс. куб. км, почвенной влаге – 75, ледниках – 24, парах атмосферы – 14 тыс. куб. км. соответственно.

Мировой расход воды на все виды водоснабжения быстро увеличивается. В конце XX в. он составил немногим более 600 куб. км, в том числе безвозвратно 150 куб. км., или менее 1% ресурсов устойчивого водостока. При этом необходимо иметь в виду, что основной забор воды приходится на сравнительно небольшие и часто недостаточно обводненные территории – города, а на очистку 1 куб. м. канализационного стока тратится 12-15 куб. м чистой, естественной. Неудивительно, что в настоящее время в хозяйственный оборот вовлечено уже более 12% устойчивого водостока.

Россия занимает второе место в мире (после Бразилии) по водным природным ресурсам. На ее территории протекает более 2,5 млн. рек общей протяженностью свыше 8 млн. км. И расположены два крупнейших источника пресной воды озеро Байкал и Ладожское озеро. Суммарные естественные ресурсы пресных вод Российской Федерации оцениваются в 7770,0 куб. км в год, на одного жителя в нашей стране приходится примерно

30 тыс. куб. м воды в год, тогда как в Европе эта величина составляет около 4,0 тыс. куб. м.

На долю одного горожанина в России расходует на бытовые нужды в среднем 450 л воды в день, житель Вашингтона – 700, Нью-Йорка – 800, Рима – 1000 л.

Вода – это жизнь. Без воды земля превращается в пустыню. 80% болезней условия (по данным ЮНЕСКО) связаны именно с недоброкачественной питьевой водой.

Строительство и реконструкция

Система водоснабжения города - это прежде всего водоисточник, вода которого пригодна для питья по большому количеству показателей: химических, органолептических (вкус, запах, цвет), бактериологических, радиационных и т.д.

Источник. ЦНИИ организации и информатизации здравоохранения и Федерального центра Госсанэпиднадзора (Известия июнь 2002, 21 июня).

Таблица 3 – Заболевания, наиболее зависимые от загрязнения питьевой воды (ранжированные данные)

№	По всем источникам заболевания	Децентрализованное водоснабжение	Централизованное водоснабжение
1	Болезни нервной системы органов чувств	Осложнение беременности, родов и послеродового периода	Болезни системы кровообращения
2	Осложнения беременности, родов и послеродового периода	Атопический дерматит	Гипертоническая болезнь
3	Болезни системы кровообращения	Болезни нервной системы органов чувств	Осложнения беременности, родов и послеродового периода.
4	Гипертоническая болезнь	Ревматизм в активной фазе	Болезни мочеполовой системы
5	Желчнокаменная болезнь, холецистит, холангит	Сахарный диабет (инсулинозависимый)	Бактериальная дизентерия (шигеллез)
6	Атопический дерматит	Нарушения свертываемости крови	Анемия
7	Симптомы, признаки неточно обозначенных состояний	Синдром дефибринации	Болезни нервной системы и органов чувств
8	Нарушения с вовлечением иммунных механизмов	Желчнокаменная болезнь холецистит, холангит	Гастрит и дуоденит
9	Неинфекционный энтерит и колит	Желчнокаменная болезнь, холецистит, холангит	
10	–	–	Болезни костомышечной системы и соединительной ткани

Средний уровень удельного водопотребления на хозяйственно-питьевые и коммунально-бытовые нужды составляет около 260,0 л. на чел. в сутки (в пищу употребляется всего от 1,5 до 3 литров воды на человека в сутки), что почти в два раза больше, чем в Европейских странах. Такой перерасход ежегодно увеличивает забор воды предприятиями водоснабжения из поверхностных и подземных источников в объем 50,0 млн. м³, а на ее очистку и транспортировку к потребителю расходуется более 100,0 млрд.рублей.

Основными источниками потерь воды, являются утечки из отслуживших свой срок трубопроводов и некачественной санитарно - технической арматуры.

Например. Унитаз, в котором вода бежит постоянно невидимым ручейком, теряет до 100 м³ воды в год.

Заметный для глаза поток воды (при незначительном видимом нарушении спокойствия поверхности «блюдца» воды в унитазе) означает потерю около 400 м³ в год.

Протекающий водопроводный кран (смеситель) приводит к потере 7 м³ воды в год даже при медленном капании. Когда же капли следуют одна за другой, потеря воды может составлять до 30 м³ в год.

Заключение

Учитывая вышесказанное следует отметить, что не смотря на значительные объективные и субъективные причины потерь тепла, электроэнергии и воды, в жилищно-коммунальной сфере сложилась система гражданского права отношений между производителем и потребителями ЖКУ такова, что экономить не выгодно никому. Это обусловлено тем, что экономия энергоресурсов (как источник прибыли) у предприятий возникает в результате скрытой недопоставки услуг населению (например, путем занижения параметров теплоносителей или включение в оплату сверхнормативных потерь) при фиксированном тарифе за единицу ЖКУ.

Коммунальные предприятия не несут ответственности перед плательщиком за качество предоставляемых услуг, не обеспечивают надлежащее техническое состояние и безопасность функционирования инженерных сетей и оборудования. Фактически платежи за коммунальные обусловлено:

- несовершенством договорных отношений между ресурсоснабжающими организациями и собственниками помещений в многоквартирных домах;
- услуги собираются как налоги, без учета качества услуг, что
- отсутствием или неисправностью регулирующего оборудования в тепловых пунктах;
- неравномерностью распределения теплоносителя и воды в пределах внутри квартальных сетей между потребителями;
- отсутствием должного контроля со стороны поставщиков за параметрами в узловых точках сетей тепло и водоснабжения;
- несогласованностью действий тепло-, водоснабжающих и управляющих организаций в жилищной сфере, особенно в период пуска тепла.

Таким образом, вышеуказанные обстоятельства и высокий потенциал сохранения энергетических ресурсов в жилищной и коммунальной сфере обуславливают необходимость проведения широкомасштабных организационно-технических, проектно-изыскательных технологических и иных мероприятий направленных на рациональное использование минерального топлива и вторичных энергетических ресурсов и обеспечение снижения энергоемкости производимой муниципальной и региональной экономикой продукции и услуг, а также на сохранение окружающей природной среды.

Суммируя краткий анализ аргументов в пользу энергосбережения в целом, следует отметить, что экономическую эффективность планируемых мероприятий по энергосбережению следует подтверждать конкретными расчетами, учитывающими экономическую ситуацию в стране.

В последние 18 лет экономическая обстановка в стране не благоприятствовала проведению программ в целях энергосбережения. Имела место высокая процентная ставка за банковские кредиты (ставка рефинансирования возростала до 150-200%). Все эти годы наблюдалась низкая платежеспособность населения, которая обуславливала низкую цену тепловой энергии. Дальнейшее падение производства не будет способствовать нормализации экономической обстановки в стране.

Поэтому политика модернизации жилищно-коммунального хозяйства и одновременное создание жесткой системы учета потребления и контроля за потреблением энергоресурсов в системе ЖКХ, а так же формирование энергосберегающего сознания граждан позволит не только навести порядок в структурах производства и потребления энергоресурсов, повысить эффективность использования энергоресурсов, но и создать потенциал для развития новых возможностей для бизнеса, и как следствие, новых рабочих мест, став выгодной как для государства, так и для граждан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гагарин В. Г. К обоснованию повышения теплозащиты ограждающих конструкций зданий [Текст] / В.Г. Гагарин. – СтройПРОФИль. – №1(79) 2010.
2. Грабовый, П.Г. Основы организации и управления жилищно-коммунальным комплексом [Текст]: учебно-практическое пособие / П.Г. Грабовый, Л.Н. Чернышев. – М.: АСВ, 2004.
3. Чернышов, Л.Н. Основы энергоресурсосбережения в жилищной и коммунальной сфере [Текст] / Л.Н. Чернышов. – Москва, 2008.
4. Клименко, В.В. Влияние климатических и географических условий на уровень потребления энергии [Текст] / В.В. Клименко // Доклады АН, 1994. – Т. 339. – №3. – С. 319-322.
5. Энергетика России: когда наступит завтра? [Текст] // Наука и Жизнь. – 2006. – №3. – С. 3-7.
6. Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий: проблема Киотского протокола [Текст] // Материалы совета семинара при президенте РАН. – М., 2006.
7. Илларионов, А.Н. Экономические последствия ратификации Российской Федерацией Киотского протокола [Текст] / А.Н. Илларионов, Н.А. Пивоварова // Вопросы экономики. – 2004. – №11. – С. 34-59.
8. Гагарин, В.Г. Об окупаемости затрат на повышение теплозащиты ограждающих конструкций зданий [Текст] / В.Г. Гагарин // Новости теплоснабжения. – 2002. – №1. – С. 3-12.

Чернышов Л.Н.

Московский государственный строительный университет, г. Москва

Доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Национальной экономики и оценки бизнеса»

Тел.: +7 (495) 287-49-19 доб. 3041

E-mail: onib@mail.ru

Пичугин И.Л.

Орловский государственный аграрный университет, г. Орел

Аспирант кафедры «Экспертиза и управление недвижимостью»

Тел.: +7 (4862) 43-65-80

E-mail: sliceofpie@yandex.ru

УДК 625.731.863

ВОЛОКИТИНА О.А.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ВДАВЛИВАНИЯ СФЕРИЧЕСКОГО ШТАМПА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Предложен метод определения и оценки прочностных и деформационных характеристик конструктивных слоев нежестких дорожных одежд автомобильных дорог, полученных при вдавливании сферического штампа в слоистое полупространство, позволяющий оценить деформационные и прочностные свойства как конструкции дорожной одежды в целом, так и отдельного конструктивного слоя, что дает возможность проектирования конструкций нежестких дорожных одежд с учетом накопления деформаций между слоями, а также повышения достоверности оценки качества устройства различных конструктивных слоев.

Ключевые слова: сферический штамп; модуль упругости; угол внутреннего трения; коэффициент сцепления; деформация; прочность; слой.

The definition and estimation method durability and deformation characteristics of constructive layers of nonrigid road clothes of highways, received is offered at cave-in of a spherical stamp in the layered semispace, allowing to estimate deformation and durability properties as designs of road clothes as a whole, and a separate constructive layer that gives the chance designing of designs of nonrigid road clothes taking into account accumulation of deformations between layers, and also increase of reliability of an estimation of quality of the device of various constructive layers.

Keywords: spherical stamp; the elasticity module; corner of an internal friction, coupling factor; deformation; durability; a layer.

Введение

В настоящее время большое внимание стало уделяться вопросам обследования состояния, а также испытанию и оценке деформационно-прочностных характеристик автомобильных дорог, на основании которых можно определить вероятность возникновения деформаций и разрушений и своевременно принять меры, предотвращающие их развитие в неблагоприятный период года в конструкции дорожной одежды.

Исходя из современных представлений о напряженно-деформируемом состоянии дорожных одежд, для прогнозирования достаточной работоспособности и долговечности на стадии проектирования и строительства необходимо знать достоверные расчетные характеристики конструктивных слоев дорожной одежды: модуль упругости и деформации; прочностные показатели в виде предельных напряжений; распределение напряжений по толщине слоя; внутреннее трение и сцепление между частицами; значение коэффициента Пуассона [1].

Сохранение эксплуатационных качеств автомобильной дороги в процессе длительной эксплуатации возможно лишь при учете механики накопления пластических деформаций во всех конструктивных слоях дорожной одежды, и более жестких требований, предъявляемых к материалам, применяемых в дорожном строительстве. При этом необходимо учитывать способность материалов в различной степени проявлять упругие и пластические свойства, степень проявления которых зависит от уровня напряжений, числа и длительности загрузений.

Сложившаяся к настоящему времени теоретическая база по конструированию и расчету позволяет проектировать достаточно долговечные и работоспособные нежесткие до-

рожные одежды на весь расчетный период в пределах 15-20 лет. Начиная с 70 годов прошлого века, конструирование и расчет ведется, исходя из предположения упругой работы всей конструкции под расчетной нагрузкой. Именно на этих положениях основаны действующие нормативные документы ВСН 46-83 и ОДН 218.046-01 по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. Однако конструкции дорожных одежд начинают терять свою работоспособность задолго до конца расчетного срока из-за появления многочисленных дефектов. Многие ученые [1, 2] связывают такое положение со значительным увеличением нагрузки на ось и интенсивностью движения автотранспорта, особенно на магистральных дорогах, и в тоже время мало уделено внимания учету возможности накопления остаточных деформаций в конструктивных слоях дорожных одежд и в земляном полотне.

Актуальность, цели и задачи исследования

В настоящее время необходимо решение проблемы повышения долговечности и работоспособности дорожных одежд нежесткого типа путем учета при проектировании конструкции более высокой расчетной нагрузки на колесо автомобиля и введения большего количества динамических воздействий на конструкцию дорожной одежды.

Немаловажным фактором для решения данной проблемы является необходимость соответствия деформационно-прочностных расчетных характеристик конструктивных слоев дорожных одежд и грунта земляного полотна, назначенных на стадии проектирования, фактическим значениям.

Однако на стадии проектирования расчетные показатели деформационно-прочностных свойств конструктивных слоев назначаются на основе табличных значений, представленных в нормативных документах. Следует отметить, что табличные показатели установлены на основе многочисленных экспериментальных исследований и имеют, в одних случаях, усредненные значения (для грунта, песчаных подстилающих слоев и асфальтобетона), а, в других случаях, значительный диапазон возможных принимаемых значений, поэтому основными задачами исследования являются:

1) Необходимость учета процессов, протекающих в конструкции при ее многократном нагружении, при выборе расчетной схемы и критериев предельного состояния;

2) Повышение деформационных и прочностных характеристик за счет уменьшения необратимых деформаций, вызванных пластическими смещениями в одном из элементов конструкции.

Поэтому с целью сохранения высоких эксплуатационных качеств нежесткой дорожной одежды в течение расчетного срока эксплуатации необходимо рассматривать ее работу в стадии обратимых деформаций.

Обоснование выбора предельного состояния

Выбор критерия предельного состояния для расчета нежестких дорожных одежд обусловлен тем, что автомобильные дороги подвержены воздействию главным образом кратковременной нагрузки от движущихся автомобилей. Такая нагрузка в отличие от статической приводит к более быстрому затуханию напряжений по глубине и вызывает при прочих равных условиях меньшую деформацию дорожной одежды.

Надо иметь в виду, что дорожные одежды состоят, как правило, из нескольких слоев, в которые могут входить слабосвязные и зернистые материалы, недостаточно или вовсе неспособные сопротивляться растягивающим напряжениям. И если напряжения превышают сопротивление сдвигу материалов этих слоев, то возникают постепенно накапливающиеся от многократных приложений нагрузки, остаточные деформации, в результате чего дорожная одежда начинает разрушаться. Поэтому обязательным критерием прочности при расчете таких конструкций дорожных одежд следует считать достижение местного предельного равновесия по сдвигу в подстилающем грунте или слабосвязном материале одного из слоев, кроме этого при расчете оснований нельзя пренебрегать условиями сопряжения слоев (условия на контакте). Реальные же условия сопряжения зависят от характера поверхности и степени сцепления слоев на контакте.

Методы определения реальных расчетных характеристик конструктивных слоев

Реальное значение модуля упругости отдельного конструктивного слоя можно получить при послойном испытании дорожной одежды жестким штампом при динамическом или статическом действии нагрузки [3]. Этот метод наиболее применим в процессе строительства слоев дорожной одежды, но не является достаточно надежным, так как определение модуля упругости может производиться на недостаточно сформировавшихся слоях. В случае использования метода послойного определения модулей упругости, в процессе эксплуатации возникает необходимость устройства шурфа минимальным размером 1,0×1,0 м на всю толщину дорожной одежды с последующей заливкой данного шурфа бетонной смесью.

Значения модулей упругости слоев, приведенные в инструкции [4], даны слишком обобщено, и не учитывают большого разнообразия материалов, значительно отличающихся по своим механическим свойствам. Эти значения модулей упругости не учитывают и не отражают технологических особенностей строительства дорожной одежды, оказывающих значительное влияние на прочность конструкции.

Таким образом, можно предложить метод вдавливания сферического штампа для определения реальных расчетных характеристик конструктивных слоев нежестких дорожных одежд, работающих в стадии обратимых деформаций. В качестве расчетной схемы здесь используется модель слоистого упругого полупространства (рисунок 1).

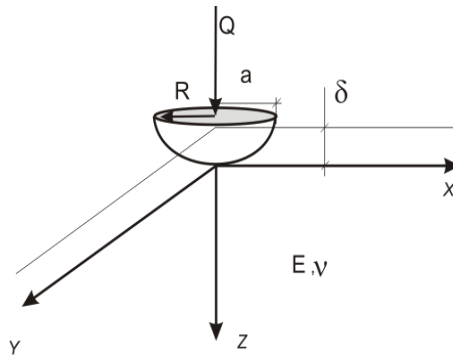


Рисунок 1 – Расчетная схема при вдавливании сферического штампа

Жесткий сферический штамп радиусом R нагружается под воздействием силы Q в упругое полупространство. Перемещение осуществляется по оси OZ направленной внутрь полупространства. Упругое полупространство характеризуется модулем упругости E и коэффициентом Пуассона ν . При оценке равновесия штампа рассматриваются область соприкосновения Ω , содержащая точки смещенной поверхности S после вдавливания. При вдавливании штампа образуется круговая площадка. Радиус окружности, ограничивающий эту площадку равен a (3).

Уравнение равновесия имеет вид (1):

$$Q = \iint_{\Omega} p(x, y) dx, dy \tag{1}$$

Перемещения точек поверхности S вдоль оси z описываются зависимостью (2):

$$\omega = \delta - \phi(x, y) \tag{2}$$

Радиус площадки опирания a (3) и перемещения сферического штампа δ (4) в зависимости от приложенной силы Q имеют вид:

$$a = \left[\frac{3}{4} \cdot \frac{Q \cdot (1 - \nu^2)}{E} \cdot R \right]^{1/3} ; \tag{3}$$

$$\delta = \left[\frac{3}{4} \cdot \frac{Q(1 - \nu^2)}{E \cdot \sqrt{R}} \right]^{2/3} \tag{4}$$

При известных значениях δ и Q решение (5) может быть использовано для оценки модулей упругости конструктивных слоев нежесткой дорожной одежды, применяемых при расчете на статическое воздействие нагрузки.

$$E = 0,75 \cdot \frac{Q \cdot (1 - \nu^2)}{\delta \cdot \sqrt{\delta \cdot R}} \quad (5)$$

Метод циклического вдавливания сферического штампа

Была выдвинута гипотеза, что при циклическом нагружении штампа постоянной нагрузкой, в результате накопления остаточных деформаций и увеличения площади поверхности опирания под штампом формируется область установившихся напряжений $\sigma_{nz} = \sigma_{yz}$, которые не превосходят упругих характеристик конструктивного слоя и могут характеризовать его прочностные свойства [5,6]. При неоднократном приложении нагрузки происходит накопление остаточных деформаций, и область жесткости увеличивается с C_1BC до C'_1BC' (рисунк 2). Угол внутреннего трения - постоянный конус жесткости будет определяться суммарной остаточной деформацией и соответственно радиусом a . При этом сформированная поверхность сводит к минимуму влияние неоднородности материала слоя, а практическое отсутствие остаточных деформаций позволяет рассматривать конструктивный слой при данных напряжениях как упругое полупространство. Метод циклического вдавливания шарового штампа был применен для определения угла внутреннего трения и силы сцепления в различных конструктивных слоях. При этом рассмотрена модель вдавливания шарового штампа в упруго – пластическую среду и жестко – пластическую среду.

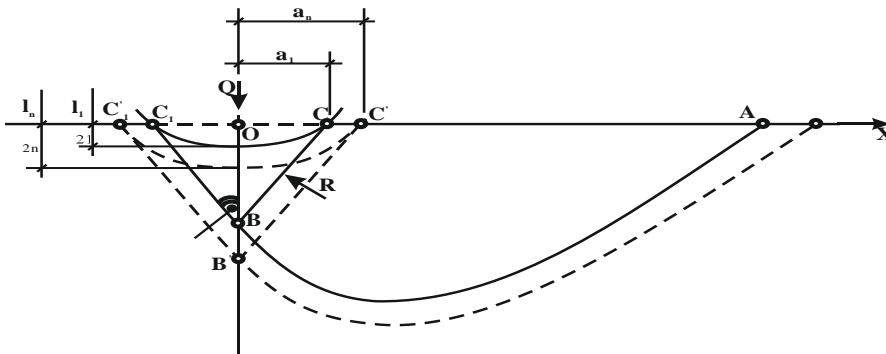


Рисунок 2 – Модель вдавливания штампа в полупространство

Рассматривая напряжения на образующей конуса BC можно установить, что на данной поверхности наблюдаются простые силы сжатия, что позволяет в соответствии с теорией Мора составить два уравнения равновесия (6) и (7) при установившемся напряжении и при первом нагружении:

$$\sigma_y \cdot \sin(45 - \varphi/2) = 2 \cdot C \cdot \text{tg}(45 + \varphi/2), \quad (6)$$

$$\sigma_1 \cdot \sin(45 - \varphi/2) = 2 \cdot C \cdot \text{tg}(45 + \varphi/2) + C \cdot l_j \cdot \sin(45 - \varphi/2), \quad (7)$$

где σ_1 и σ_y – соответственно напряжения при первом и после n – циклов нагружения; φ – угол внутреннего трения; C – сцепление между частицами материала слоя; l_j – суммарная деформация после n – циклов нагружения (8).

$$l_j = \sum l_{oj} + \delta_n, \quad (8)$$

где l_{oj} – остаточные деформации; δ_n – упругие деформации.

Решение системы тригонометрических уравнений позволяет определить угол внутреннего трения (9):

$$\operatorname{tg}(45 + \varphi/2) = \sqrt{-\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \left(\frac{\sigma_y \cdot l_j}{2 \cdot (\sigma_1 - \sigma_y)}\right)^2}}. \quad (9)$$

Показатель сцепления определяется из первого уравнения системы уравнений равновесия (6) при установившемся напряжении.

Учитывая число и время нагружений, упругие и вязко – упругие свойства материалов и используя теорию наследственной ползучести и соотношение Больцмана – Вольтерры при моделировании упругопластических свойств материалов общая относительная деформация составит (10):

$$\varepsilon^{n,t} = \frac{\sigma}{E_y} + \frac{\sigma^2}{E_{Д} R} \cdot \frac{\lg n}{\lg N} \cdot (e^{t/t_p} - 1), \quad (10)$$

где R – предел прочности материала на сжатие; E_y и $E_{Д}$ – модули упругости и деформации; σ – напряжение сжатия; N – число нагружений, которые должен выдержать материал до разрушения; n – реализованное число нагружений; t – время действия напряжения; t_p – время релаксации напряжений.

Метод определения деформационных характеристик конструктивных слоев

Полная вертикальная деформация кубического элемента объемом $dx \, dy \, dz$, расположенного в упруго – пластическом полупространстве (сплошном или слоистом) составит при условии сопротивления боковому расширению (11):

$$dU^{n,t} = \left[\frac{\sigma}{E_y} + \frac{\sigma^2}{E_{Д} R} \cdot \frac{\lg n}{\lg N} \cdot (e^{t/t_p} - 1) \right] \cdot (1 - \nu^2) dz. \quad (11)$$

При рассмотрении слоистого полупространства [7,8] состоящего из M слоев (рисунок. 3), полный прогиб ее поверхности, при n раз нагружениях, под центром нагрузки составит (12):

$$U^{n,t} = \sum_1^M \frac{\sigma_j}{E_{y_j}} \cdot (1 - \nu_j^2) \cdot h_j + \sum_{n=1}^n \sum_1^M \frac{\sigma_j^2 \cdot (1 - \nu_j^2)}{E_{Д_j} \cdot R_j} \cdot \frac{\lg n}{\lg N} \cdot (e^{D_j/t_{pj}} - 1) \cdot h_j, \quad (12)$$

где σ_j – напряжения сжатия; E_{y_j} – модуль упругости; ν_j – коэффициент Пуассона; h_j – толщина слоя; $E_{Д_j}$ – модуль деформации; $[R]$ – прочность на сжатие; D_j – диаметр круговой площади нагружения j -го слоя полупространства; t_{pj} – время релаксации материала j -го слоя полупространства; ν – скорость горизонтального перемещения нагрузки по поверхности полупространства.

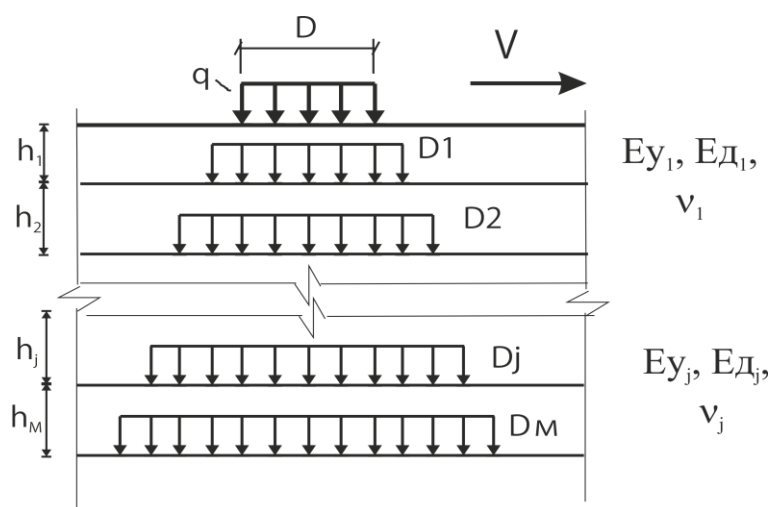


Рисунок 3 – Расчетная схема для определения необходимых численных значений параметров

Учитывая, что в реальной работе покрытия деформационные и прочностные показатели слоев переменны, в соответствии с температурами и влажностным режимом, то полные прогибы слоистой конструкции необходимо рассматривать в период работы на талом грунтовом основании, когда величины прогибов и деформаций существенны.

Следовательно, к этому периоду относятся число загрузений n , а к заданному сроку службы дорожной одежды T предельное число загрузений до разрушения N . Поэтому:

$$\sum_{n=1}^{n=N} \lg n / \lg N = T \cdot \sum_{i=1}^i \frac{\lg n_{oi}}{\lg N},$$

где n_{oi} – месячное число нагружений в i месяц.

Таким образом, полный прогиб поверхности к периоду времени T , с учетом изменения деформативных характеристик слоев, при переменных температурах и влагосодержании в течении i месяцев в году, составит (13):

$$U_T = \sum_1^M \frac{\sigma_{j,i}}{E_{y,j,i}} \cdot (1 - \nu_j^2) \cdot h_j + T \cdot \sum_1^i \sum_1^M \frac{\sigma_{ji}^2 (1 - \nu_j^2)}{E_{Дji} R_j} \cdot \frac{\lg n_{oi}}{\lg N} \cdot (e^{\frac{D_{ji}}{V_j}} - 1) \cdot h_j. \quad (13)$$

На основе полученного решения имеется возможность определения времени T достижения слоистой конструкцией определенной величины деформаций поверхности U_n (14):

$$T U_n = \frac{U_n}{\sum_1^i \sum_i^M \frac{\sigma_{j,i}^2 \cdot (1 - \nu_i^2) \cdot \lg n_{oi}}{E_{Дji} \cdot R_j \cdot \lg N} \cdot (e^{\frac{D_{ji}}{V_j}} - 1) \cdot h_j}. \quad (14)$$

Научная новизна

Данный метод позволяет производить определение прочностных и деформационных характеристик конструктивных слоев нежестких дорожных одежд, как в лабораторных, так и непосредственно в натуральных условиях. Выходные характеристики при данном методе испытания полностью сопоставимы без дополнительной обработки.

Заключение

Проводимые ранее исследования охватывали лишь слои покрытия и не учитывали, как правило встречающиеся в конструкции нежесткой дорожной одежды слабосвязные и зернистые материалы, остаточные деформации в которых возникают от многократного приложения нагрузок, и в случае превышения напряжений сопротивления сдвигу материалов этих слоев дорожная одежда начинает разрушаться, поэтому обязательным критерием прочности при расчете таких конструкций дорожных одежд следует считать достижение местного предельного равновесия по сдвигу в подстилающем грунте или слабосвязном материале одного из слоев, а предлагаемый метод по определению основных прочностных и деформационных характеристик конструктивных слоев нежестких дорожных одежд позволит:

1. получить адекватные и сопоставимые показатели прочностных и деформативных характеристик в лабораторных и натуральных условиях;
2. обосновать толщину любого конструктивного слоя и конструкции дорожной одежды в целом на основе полученных характеристик;
3. ускорить оперативность и повысить достоверность оценки при проведении контроля качества устройства различных конструктивных слоев;
4. проектировать конструкции нежестких дорожных одежд с учетом накопления деформаций между слоями.

Таким образом, преимущество метода вдавливания сферического штампа, состоит в том, что решение построено непосредственно на оценке эксплуатационно-прочностных по-

казателей автомобильной дороги и в нем учитываются особенности напряженно-деформированного состояния дорожной одежды. При этом учитываются модуль деформации, модуль упругости, время релаксации и прочность на сжатие материалов конструкции.

Результаты исследований подтверждают необходимость учета необратимых деформаций, вызванных пластическими смещениями в одном из элементов конструкции, означающих ее переход в запредельное состояние, что ведет к снижению деформационных и прочностных характеристик, и, следовательно, к уменьшению срока службы нежесткой дорожной одежды и автомобильной дороги в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апестин, В.К. Испытание и оценка прочности нежестких дорожных одежд [Текст] / В.К. Апестин, Ю.М. Яковлева. – М.: Транспорт, 1977. – 185 с.
2. Бируля, А.К. Работоспособность дорожных одежд [Текст] / А.К. Бируля, С.И. Михович. – М.: Транспорт 1968. – 172 с.
3. Корсунский, М.Б. Практические методы определения напряженно-деформированного состояния конструкций дорожных одежд [Текст] / М.Б. Корсунский. – М.: Союздорнии, 1966. – Вып. 6. – С. 152-155.
4. Отраслевые дорожные нормы. ОДН 218.046 – 01. Проектирование нежестких дорожных одежд [Текст]. – М.: Транспорт, 2001. – 157 с.
5. Лурье, П.И. Пространственные задачи теории упругости [Текст]. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1955. – 492 с.
6. Илиополов, С.К. Уточненный расчет напряженно-деформированного состояния системы «Дорожная одежда-грунт» [Текст] / С.К. Илиополов, М.Г. Селезнев. – Ростов-на-Дону: Российский государственный строительный институт, 1997. – 125 с.
7. Смирнов, А.В. Механика устойчивости и разрушения дорожных конструкций [Текст] / А.В. Смирнов, А.А. Малышев, Ю.А. Агалков. – Омск: СибАДИ, 1997. – 91 с.
8. Смирнов, А.В. Динамическая устойчивость и расчет дорожных конструкций: учеб. пособие [Текст] / А.В. Смирнов, С.К. Илиополов, А.С. Александров. – Омск: СибАДИ, 2003. – 188 с.

Волокитина Ольга Анатольевна

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, г. Воронеж

Ассистент кафедры проектирования автомобильных дорог и мостов

Тел.: +7 (4732) 71-52-02

E-mail: dixi.o@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ, ВЛАЖНОСТИ, УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО И ИНФРАКРАСНОГО ОБЛУЧЕНИЙ НА СТАРЕНИЕ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА

В статье приведены теоретические сведения, касающиеся деструкции пенополистирола под действием внешних факторов. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния температуры, влажности, ультрафиолетового и инфракрасного облучений на долговечность пенополистирола строительного назначения.

Ключевые слова: пенополистирол, деструкция полимера, фотостарение, теплостарение, водопоглощение, ультрафиолетовое и инфракрасное облучения, поверхностная эрозия материала, инфильтрация.

The theoretical data concerning the destruction of foamed polystyrene under the influence of external factors are resulted at this article. There are presented the results of experimental researches of influence of temperature, moisture, ultra-violet and ultra-red irradiations on working life of foamed polystyrene of a building appointment.

Keywords: foamed polystyrene, destruction of polymer, photo degradation, heat ageing, water absorption, ultra-violet and ultra-red irradiations, superficial erosion of material, water infiltration.

Постановка задачи исследования

Введение новых требований по теплозащите зданий и сооружений привело к развитию строительной индустрии теплоизоляционных материалов различного происхождения. На сегодняшний день наиболее востребованным органическим теплоизоляционным материалом является пенополистирол строительного назначения. Данный материал применяют как для наружной, так и внутренней теплоизоляции зданий и сооружений. Широкое распространение пенополистирол нашел и в качестве теплоизоляционного слоя многослойных конструкций.

Энергоэффективность пенополистирола очень высока [1], но вместе с этим данный материал обладает рядом отрицательных свойств, к которым следует отнести недолговечность, пожароопасность и токсичность [2-4].

Исследования свойств пенополистирола являются весьма актуальной задачей. Так, в докладе участника круглого стола «Безопасность зданий и сооружений», прошедшего в рамках годовичного собрания РААСН (г. Иваново, 2010), был затронут вопрос о недопустимости применения пенополистирола в строительстве. Там же было выдвинуто предложение о дополнительном изучении характеристик этого материала с целью четкого ограничения области его безопасного применения в строительстве [5].

При эксплуатации и хранении пенополистирол подвержен естественной деструкции под действием внешних и внутренних факторов. Внутренними факторами являются процессы, связанные с естественной деструкцией полимера. Внешние факторы – это действие жидких агрессивных сред, а также атмосферные воздействия (колебание температуры и влажности) и старение (фото-, тепло- и механохимическое старение). При длительном воздействии этих факторов происходит изменение структуры материала и, как следствие, его физико-механических свойств.

Таким образом, дальнейшие исследования процессов деструкции пенополистирола, как теплоизоляционного материала, применяемого в строительстве, являются весьма актуальной проблемой.

Сведения о деструкции пенополистирола под влиянием внешних факторов

Влияние температуры. При длительном воздействии температуры происходит изменение структуры пенополистирола. Для таких материалов наиболее пагубным является тем-

пературное колебание во времени [6]. В результате температурного старения степень замкнутости ячеек и кажущаяся плотность пенополистирола снижается. Разрушение стенок ячеек обусловлено как действием механического напряжения за счет перепада давления газа внутри и снаружи, так и деструкцией самого полимера. В результате этого происходит изменение физико-механических свойств и окраски. Причиной термостарения пенополистирола является радикально-цепная реакция окисления [1, 6]. Скорость процесса старения пенополистирола зависит от рецептуры композита, технологии его производства, температуры окружающей среды и продолжительности воздействия.

Влияние влажности. Перенос воды в полимерсодержащих материалах осуществляется как по механизму активированной диффузии, так и в виде субмикрокапиллярного потока через микропоры, трещины и другие полости в полимере [1]. Движущая сила диффузии у пенопластов обусловлена разностью химических или термодинамических потенциалов, а также разностью концентраций диффундирующего вещества. Известно [1], что в закрытопористых пенопластах сорбция воды лимитируется диффузией через тонкие стенки ячеек. Влияние ячеистой структуры на водопоглощение проявляется при обильном водонасыщении, а также при возрастании водопоглощения на начальных стадиях испытания за счет разрушенных ячеек с поверхности образцов при их вырезке и появления некоторого количества открытых пор. В случае открытопористых пенопластов механизм диффузии на уровне ячеистой структуры меняется, что приводит к увеличению коэффициента диффузии в два раза. В работах [1, 7] представлены данные о длительном водопоглощении различных пенопластов. В процессе старения пенопластов в воде происходит существенное изменение их эксплуатационных характеристик, причем, в начальный период существенно снижается прочность из-за пластификации полимера водой.

Влияние УФ и ИК облучений. В результате действия УФ и ИК облучений пенополистирол испытывает процессы фотодеструкции. Так, при воздействии солнечного света в полимерах протекают окислительные реакции, приводящие к их деструкции. Параллельно с этим происходит снижение механических и электрических свойств, наблюдается растрескивание поверхности, изменяется окраска полимера [8]. Наиболее вредное воздействие на пенополистирол оказывает ультрафиолетовое излучение в диапазоне 290...400 нм. Энергия УФ радиации обычно превышает уровень, необходимый для разрушения химических связей в полимерных цепях. В результате поглощения полимером УФ излучения возбуждаются макромолекулы. Поглощенная энергия вызывает разрушение наиболее слабых химических связей в цепях, но мало влияет на скорость межмолекулярных перегруппировок. При этом образуются активные свободные радикалы, инициирующие деструкцию полимера. Свободные радикалы также могут вызывать сшивание полимера. Присутствие атмосферного кислорода и воды ускоряет процесс деструкции, а повышение температуры приводит к возрастанию скорости его окисления [6]. Действие инфракрасного облучения связано с теплостарением. В результате ИК старения степень замкнутости ячеек и кажущаяся плотность материала снижается. Все это приводит к тому, что коэффициент теплопроводности пенопластов интенсивно увеличивается на начальном этапе старения, а в дальнейшем изменяется незначительно [1, 6].

Методы и материалы исследования

Исследования процесса тепло- и фотостарения пенополистирола проводились на экспериментальных установках УФ и ИК облучения, разработанных и изготовленных на кафедре «Строительная механика» ИГАСУ. Установка по УФ облучению представляет собой закрытую светоизолированную камеру, выполненную из светоотражающего материала. Камера оборудована электроустановкой с пускорегулирующим аппаратом (ПРА) для включения газоразрядных дуговых ртутных ламп высокого давления. Источником ультрафиолетового излучения служит ДРЛ лампа без колбы мощностью 125 Вт и величиной светового потока 6200 Лм.

В установке ИК облучения (рисунок 2) источником инфракрасного излучения служит инфракрасная зеркальная лампа (ИКЗК) мощностью 250 Вт, которая представляет собой высокоэффективный теплооблучатель, максимальная зона излучения которого расположена в

эффективном диапазоне. Такая лампа превращает потребляемую электроэнергию (свыше 90%) в тепловое излучение, а внутренний зеркальный отражатель в форме параболоида фокусирует это излучение для повышения его интенсивности. Установка оборудована термодатчиком и механическим диммером для поддержания заданной температуры. При испытании пенополистирола на теплостарение, он был помещен в светоизолирующий кожух, защищающий от воздействия инфракрасных лучей.

Для исследования были отобраны образцы беспрессового пенополистирола производства компании ООО «ТРЕС+» самой популярной марки ПСБ-С-25, применяемой для утепления стен, полов, фасадов, лоджий, крыш и т.п. Экструдированный пенополистирол был представлен отечественным производителем ООО «Полиспен» марки «Полиспен Стандарт». Перед испытанием определялись первоначальные свойства материала в соответствии с требованиями ГОСТ 15588-86 «Плиты пенополистирольные. Технические условия» и ГОСТ 17177-94 «Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний».

В экспериментальных исследованиях использовались образцы с линейными размерами $[(50 \times 50 \times 40 \dots 50) \pm 0,5]$ мм. Для всех образцов выполнялся контроль внешнего вида и определялись плотность, водопоглощение, прочность на сжатие при 10% линейной деформации, предел прочности при растяжении, твердость по Шору [9].

Влияние температуры

Плотность беспрессового пенополистирола при выдержке его в нормальных условиях изменяется незначительно и зависит от влажности окружающей среды. С увеличением температуры и времени выдержки плотность материала уменьшается. Так, при температуре выдержки +30°C плотность к 28 суткам испытания снижается на 6,5%, а при +50°C – на 9,1%. Это связано с уменьшением степени замкнутости ячеек пеноматериала. Разрушение стенок происходит за счет перепада давления газа внутри и снаружи ячеек. При максимально возможной температуре эксплуатации +60°C [6] плотность к 28 суткам снижается на 13%. При этом происходит коробление и растрескивание поверхности образца и увеличение открытой пористости. Результаты исследования показали, что плотность пенополистирола «Полиспен Стандарт» уменьшается при температуре +30°C на 1,5%. Дальнейшее увеличение температуры приводит к незначительному уменьшению плотности. Так, например, при температуре +40°C этот показатель снижается на 2,6%, а при +60°C – на 4,1%.

Исследования беспрессового пенополистирола при теплостарении в интервале температур +25 - +40°C свидетельствуют о значительном увеличении его водопоглощения. Так, водопоглощение пенополистирола при температуре +25°C после 28 суточной выдержки в воде возрастает на 14,6%, а при температуре +40°C – на 28,6%. Дальнейшее увеличение температуры до +60°C приводит к резкому снижению роста водопоглощения, вследствие оплавления поверхностных слоев. При температуре +50°C величина водопоглощения по объему составляет 5,1%, что на 19,6% больше первоначального значения – 4,1%. При температуре +60°C водопоглощение увеличивается на 16,3%. По мнению авторов, это происходит за счет разрушения стенок ячеек и инфильтрации влаги по образовавшимся открытым порам. Экструдированный пенополистирол (рисунок 1) хуже воспринимает более высокие температуры (выше +35°C), которые приводят к изменению внешней поверхности материала с образованием открытой пористости.

Прочность на сжатие при 10% линейной деформации образцов из пенополистирола, изготовленного по беспрессовой технологии, в интервале температур +30-40°C уменьшается на 6,2% (рисунок 2). При повышении температуры до +60°C происходит резкое уменьшение прочности на 16%. Аналогично ведет себя при испытании экструдированный пенополистирол. В интервале температур +25 - 50°C прочность на сжатие при 10% линейной деформации к 28 суткам снижается на 1,1%, а при температуре +60°C – на 2,6%. Это также связано с разрушением тяжелой структуры пенопласта.

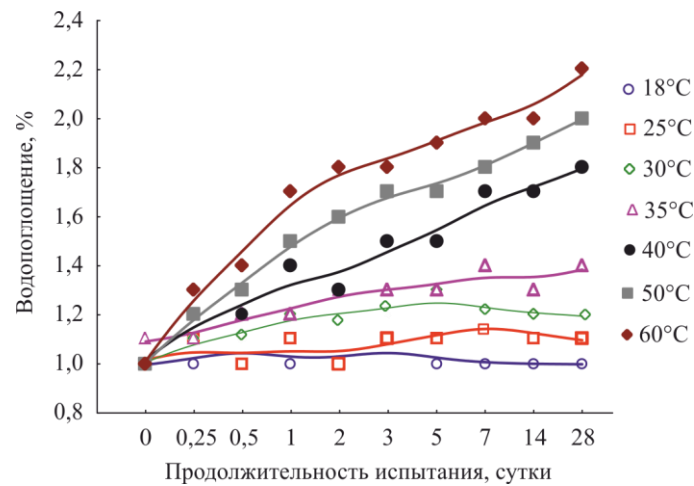


Рисунок 1 – Исследование водопоглощения экструдированного пенополистирола Полиспен Стандарт при испытании на теплостарение

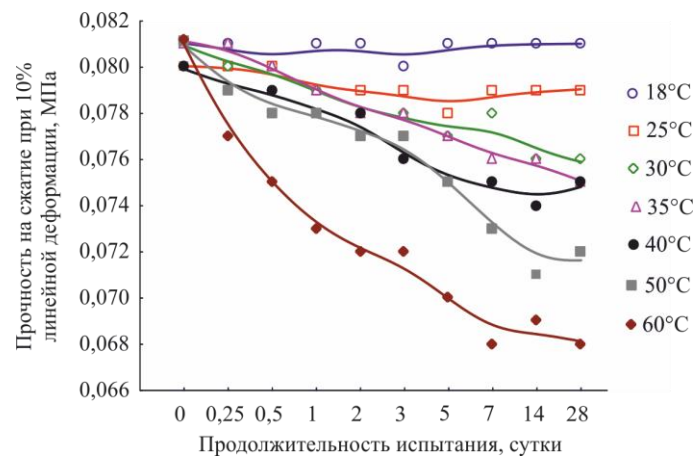


Рисунок 2 – Исследование прочности на сжатие при 10% линейной деформации беспрессового пенополистирола ПСБ-С-25 при испытании на теплостарение

Величина предела прочности при растяжении беспрессового пенополистирола при температуре +30°C снижается на 2,7%, а при температуре +40°C – на 6,7%. При более высокой температуре – +60°C – происходит резкое падение упругих характеристик материала, что вызвано изменением пластических свойств пенопласта за счет разрушения тяжей и стенок ячеек структуры, приводящим к его охрупчиванию. Предел прочности при растяжении экструдированного пенополистирола с увеличением температуры уменьшается монотонно. Так, при температуре +30°C к 28 суткам испытания прочность падает на 0,9%, а при температуре +40°C – на 1,5%. Увеличение температуры до +60°C приводит к снижению предела прочности при растяжении на 3,4%, что также обусловлено появлением хрупкости.

Термодеструкция пенополистирола пагубно влияет на твердость материала. Экспериментальные данные показывают снижение твердости пенопласта ПСБ-С-25 в интервале +25 - +40°C. В указанном диапазоне температур твердость беспрессового пенополистирола уменьшается на 78,6%.

С увеличением температуры падение твердости уменьшается. Так, при температуре +50°C твердость образцов беспрессового пенополистирола уменьшается на 66,7%, а при температуре +60°C – на 59,3%.

На рисунке 3 приведены зависимости изменения твердости экструдированного пенополистирола от температуры. Увеличение температуры приводит к уменьшению твердости образцов за счет разрушения структуры пенополистирола.

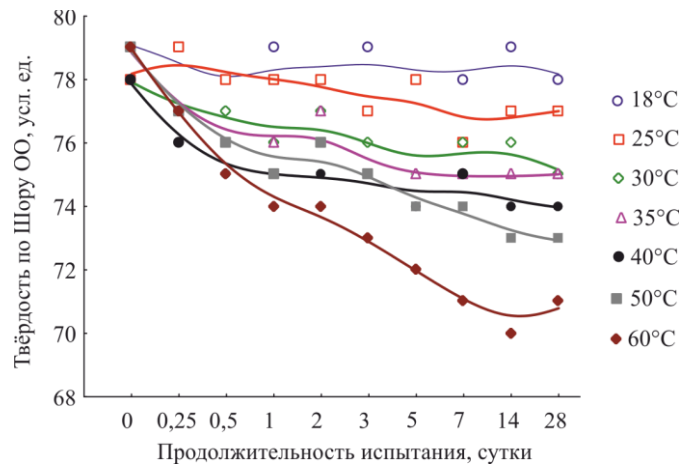


Рисунок 3 – Исследование твердости экструдированного пенополистирола Полиспен Стандарт при испытании на теплостарение

Влияние влажности

Результаты исследования физико-механических свойств пенополистирола после 28 суток водопоглощения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства образцов пенополистирола после испытания на водопоглощение

Марка	Показатель	Количество суток испытания на водопоглощение						
		1	3	5	7	14	21	28
Полиспен	Прочность на сжатие при 10% лин. деформ., МПа	0,390	0,384	0,381	0,380	0,371	0,369	0,368
	Твердость по Шору ОО, ед.	79	78	78	74	70	65	59
	Объем, см ³	75,12	75,38	75,52	75,54	75,94	76,06	76,14
ПСБ-С-25	Прочность на сжатие при 10% лин. деформ., МПа	0,031	0,031	0,031	0,029	0,029	0,028	0,028
	Твердость по Шору ОО, ед.	27	27	26	23	21	21	20
	Объем, см ³	74,92	75,23	75,73	75,96	76,12	76,27	76,31

Как видно из таблицы 1, при длительном водопоглощении прочность образцов на сжатие при 10% линейной деформации в среднем уменьшается на 25%. Материал обладает небольшим линейным расширением (набуханием), которое не превышает 1%.

Прочность на сжатие при 10% линейной деформации в результате испытания для беспрессового пенополистирола снизилась на 10-12%, твердость – на 20-30%. Величина линейного расширения варьируется в пределах 1-3% и зависит от степени неоднородности структуры и размера гранул полимера.

Влияние УФ и ИК облучений

Результаты УФ и ИК облучения беспрессового и экструдированного пенополистирола представлены в таблицах 2, 3.

Плотность беспрессового пенополистирола в первые 7 суток испытания на УФ облучение уменьшается на 5,9%, а к 28 суткам исследования – на 11,3%. Воздействие инфракрасного облучения существенно выше на начальном этапе. Так, через 7 суток плотность образцов уменьшилась на 11,8%, что в два раза выше показаний при УФ облучении, а по истечении 28 суток этот показатель снижается еще на 13,4%. При фотостарении водопоглощение пенополистирола возрастает. Максимальное увеличение составляет 16% к 84 суткам испыта-

ния при УФ воздействии. Это вызвано разрушением стенок ячеек пенопласта, что подтверждается уменьшением плотности и увеличением влагопереноса по толще материала. Рост водопоглощения в первые 7 суток испытания составляет 8,9%, причем эта величина не зависит от вида облучения.

Прочность на сжатие при 10% линейной деформации у беспрессового пенополистирола при УФ облучении возрастает в первые 5 суток испытания. Так, прочность на сжатие при 10% линейной деформации через 5 суток УФ облучения составила 0,088 МПа, что на 12,3% больше своего начального значения. ИК облучения также негативно сказывается на прочности образцов: к 28 суткам прочность на сжатие снижается на 7,4%. Независимо от вида облучения прочность на растяжение падает в среднем на 6,6%. Наиболее отрицательно сказывается действие источников облучения на твердость пенополистирола. Так, твердость беспрессового пенополистирола, в результате УФ облучения к 28 суткам уменьшилась на 74%, а при ИК облучении – на 63%.

Таблица 2 – Физико-механические свойства беспрессового пенополистирола в условиях УФ и ИК облучений

Показатель	Вид облучения	Количество суток испытания								
		0	0,5	1	2	3	5	7	14	28
Плотность, кг/м ³	УФ	18,6	18,5	18,2	18,1	17,8	17,7	17,5	17,1	16,5
	ИК		18,6	18,0	17,5	17,1	16,8	16,4	16,2	16,1
Водопоглощение, %	УФ	4,1	4,1	4,2	4,2	4,3	4,5	4,5	4,6	4,9
	ИК		4,1	4,3	4,4	4,4	4,4	4,5	4,7	4,9
Прочность на сжат. при 10% лин. деформ., МПа	УФ	0,081	0,082	0,083	0,085	0,086	0,088	0,087	0,087	0,086
	ИК		0,081	0,080	0,079	0,078	0,077	0,077	0,076	0,075
Предел прочности при растяжении, МПа	УФ	0,075	0,075	0,074	0,072	0,073	0,072	0,071	0,070	0,071
	ИК		0,074	0,073	0,073	0,073	0,072	0,071	0,070	0,069
Твердость по Шору ОО, усл. ед.	УФ	27	25	22	19	16	13	11	9	7
	ИК		26	24	21	20	17	14	12	10

Таблица 3 – Физико-механические свойства экструзионного пенополистирола в условиях УФ и ИК облучений

Показатель	Вид облучения	Количество суток испытания								
		0	0,5	1	2	3	5	7	14	28
Плотность, кг/м ³	УФ	34,4	34,4	34,4	34,3	34,1	34,1	34,0	33,8	33,7
	ИК		34,4	34,4	34,4	34,2	34,2	34,1	33,9	33,8
Водопоглощение, %	УФ	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1
	ИК		1,1	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1
Прочность на сжат. при 10% лин. деформ., МПа	УФ	0,350	0,351	0,352	0,363	0,372	0,379	0,385	0,391	0,394
	ИК		0,350	0,356	0,355	0,348	0,327	0,321	0,318	0,314
Предел прочности при растяжении, МПа	УФ	0,329	0,326	0,325	0,325	0,322	0,321	0,322	0,320	0,319
	ИК		0,324	0,321	0,322	0,320	0,319	0,317	0,315	0,314
Твердость по Шору ОО, усл. ед.	УФ	79	75	73	71	89	88	86	82	80
	ИК		78	76	73	71	88	84	80	77

Результаты исследований экструдированного пенополистирола показали, что плотность при УФ облучении в 7 суточном возрасте уменьшается на 1,2%, а к 28 суткам – на 2%. При ИК облучении уменьшении плотности к 7 суткам достигает 0,9%, а к 28 – 1,7%. При УФ и ИК облучении водопоглощение образцов к 28 суткам возрастает на 9%. Закономерность изменения прочностных характеристик экструдированного пенополистирола аналогична беспрессовому. Прочность на сжатие при 10% линейной деформации при УФ облучении к 28 суткам испытания составляет 0,394 МПа, что на 11,2% больше своего первоначального значения. При инфра-

красном воздействии проявляется незначительное повышение прочности на сжатие в первые 2 суток, а в дальнейшие происходит спад напряжений. Величина предела прочности при растяжении независимо от вида облучения к 28 суткам уменьшается в среднем на 4%. Твердость экструдированного пенополистирола снижается незначительно по сравнению с пенопластом, полученным по беспрессовой технологии. Изменения твердости в результате УФ воздействия не наблюдается, а при ИК облучении твердость уменьшается на 2,5%.

Выводы

Установлено, что плотность пенополистирола вследствие фото- и теплостарения изменяется незначительно и во многом зависит от влажности окружающей среды. С увеличением температуры и времени выдержки плотность пенопласта уменьшается. Это связано с уменьшением степени замкнутости ячеек, разрушение которых происходит за счет перепада давления газа внутри и снаружи ячеек в результате действия температуры. Величина водопоглощения пенополистирола увеличивается при теплостарении. Экструдированный пенополистирол хуже воспринимает аномально высокие температуры. Термодеструкция пенополистирола, как и фотодеструкция, отрицательно влияет на прочностные характеристики материала. При высоких температурах (более +60°C на солнце) происходит резкое падение упругих характеристик пенополистирола. Экспериментально доказано снижение твердости стирольных пластиков. Изменение температуры приводит к разрушению ячеистой структуры материала с появлением поверхностных пустот, что вызвано образованием открытой пористости. Также наблюдается растрескивание поверхности полимера и изменение его окраски. Кроме этого экструдированный пенополистирол при длительном водопоглощении набухает, что приводит к его линейному расширению во всех направлениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дементьев, А.Г. Структура и свойства пенопластов [Текст] / А.Г. Дементьев, О.Г. Тараканов. – М.: Химия, 1983. – 176 с.
2. Баталин, Б.С. Эксплуатационные свойства пенополистирола вызывают опасения [Текст] / Б.С. Баталин, Л.Д. Евсеев // Строительные материалы. – М., 2009. – №10. – С. 55-58.
3. Ясин Ю.Д., Ясин В.Ю., Ли А.В. Пенополистирол. Ресурс и старение материала. Долговечность конструкций [Текст] / Ю.Д. Ясин, В.Ю. Ясин, А.В. Ли // Строительные материалы. – 2002. – №5. – С. 33-35.
4. Андрианов, К.А. Пенополистирол для ограждающих конструкций [Текст] / К.А. Андрианов, В.П. Ярцев // Жилищное строительство. – 2004. – № 2. – С. 12-15.
5. Итоги круглого стола «Безопасность зданий и сооружений» (ведущие академики В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов) [Текст] / Строительство и реконструкция. – Орел: ОрелГТУ. – 2010. – №3. – С. 76-78.
6. Ярцев, В.П. Прогнозирование поведения строительных материалов при неблагоприятных условиях эксплуатации [Текст] / В.П. Ярцев, О.А. Кузнецова. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун.-та, 2009. – 124 с.
7. Гнип, И.Я. Определение водопоглощения пенополистирола по методике европейских норм [Текст] / И.Я. Гнип, В.И. Кершулис // Строительные материалы. – М., 2004. – №5. – С. 6-7.
8. Луковников, А.Ф. Фотохимические превращения полимеров [Текст] / А.Ф. Луковников // Стабильность полимерных материалов и изделий из них. – М.: МДНТП, 1971. – С. 13-19.
9. Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс] [Текст] / Метод Шора. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org>.

Гуюмджян Перч Погосович

ГОУВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново
Доктор технических наук, профессор кафедры «Производство строительных материалов»
Тел.: +7(4932) 41-39-06

Коканин Сергей Владимирович

ГОУВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново
Аспирант кафедры «Производство строительных материалов»
Тел.: +7(960) 513-34-24
E-mail: s.kokanin@yandex.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ФОРМЫ САДКИ

Предложены параметры садки с разреженной кладкой керамических кирпичей и дополнительными кирпичами, опытное исследование которой показало, что она позволяет увеличить производительность туннельной обжиговой печи без снижения качества обжига кирпичей.

Ключевые слова: керамический кирпич, разреженная садка, обжиговая печь.

The parameters of the kiln loading with rarefied bricklaying and additional bricks are proposed and it is shown experimentally that this kiln loading allows increasing a tunnel kiln output without kilning quality loss.

Keywords: ceramic brick, rarefied kiln loading, tunnel kiln.

Керамический кирпич обжигают в обжиговых печах в виде сырца, специально уложенного в большие блоки – садки. Это позволяет обеспечить высокую производительность обжига и снизить непроизводительные потери теплоты. Накопленный опыт по обжигу керамических изделий показывает, что более или менее значительное отклонение программы нагрева и охлаждения от той, которая обеспечивает последовательное протекание процессов в материале, приводит к резкому снижению качества готовых изделий. Вместе с тем, прогрев изделий в большой массе садки в принципе не может быть однородным, что может приводить к недожогу в одних ее зонах и пережогу в других. Медленное повышение температуры с целью увеличения равномерности прогрева входит в противоречие с обеспечением высокой производительности обжиговых печей.

Поиск путей повышения производительности и качества обжига керамического кирпича методом проб и ошибок вряд ли целесообразен, т.к. приводит к большим затратам времени на экспериментирование и непроизводительным потерям сырья. Наметьте пути проведения модернизации и оценить их потенциальную эффективность помогают математические модели термической обработки садки, построенные для описания неоднородного прогрева ее объема с учетом проходящей в материале всей совокупности тепломассообменных и физико-химических процессов. В работах [1, 2] предложена ячеечная модель теплопроводности и массопроводности в плоском сечении садки произвольной внешней конфигурации, обобщенная на случай разреженной садки с учетом теплоподвода через внутренние каналы в садке. Исследовано влияние параметров разреженной садки на скорость и равномерность ее прогрева. Показано, что при прочих равных условиях максимальная производительность достигается при заполнении внешнего сечения садки материалом, равного 0,85...0,95.

Объектом практического применения и проверки разработанных математических моделей была туннельная печь «Малютка» для обжига керамических изделий, установленная на ОАО «Ивановский завод керамических изделий». Для получения экспериментальной информации было использовано опытное изменение температуры вдоль печи и данные о средней температуре двух кирпичей, лежащих в середине самого верхнего и самого нижнего слоя кирпичей в садке.

Эксперименты выполнены на базовой садке с плотной укладкой кирпичей и на предложенной нами садке с разреженной укладкой. Варианты садок показаны на рисунке 1.

Схема кладки кирпичей в базовой садке с плотной укладкой показана слева. В ней содержится 507 кирпичей. В центре показан вариант разреженной кладки с зазором между кирпичами 20 мм, что соответствует плотности заполнения сечения садки материалом $\psi=0,926$. Количество кирпичей в садке, а, следовательно, и производительность печи при этом не меня-

ются. Поскольку модель прогнозирует не только повышение равномерности, но и скорости прогрева садки с разреженной укладкой, это вариант не рассматривался, так как превышение скорости прогрева над некоторой установленной скоростью приводит к растрескиванию кирпичей из-за термических напряжений и повышению выхода бракованной продукции.

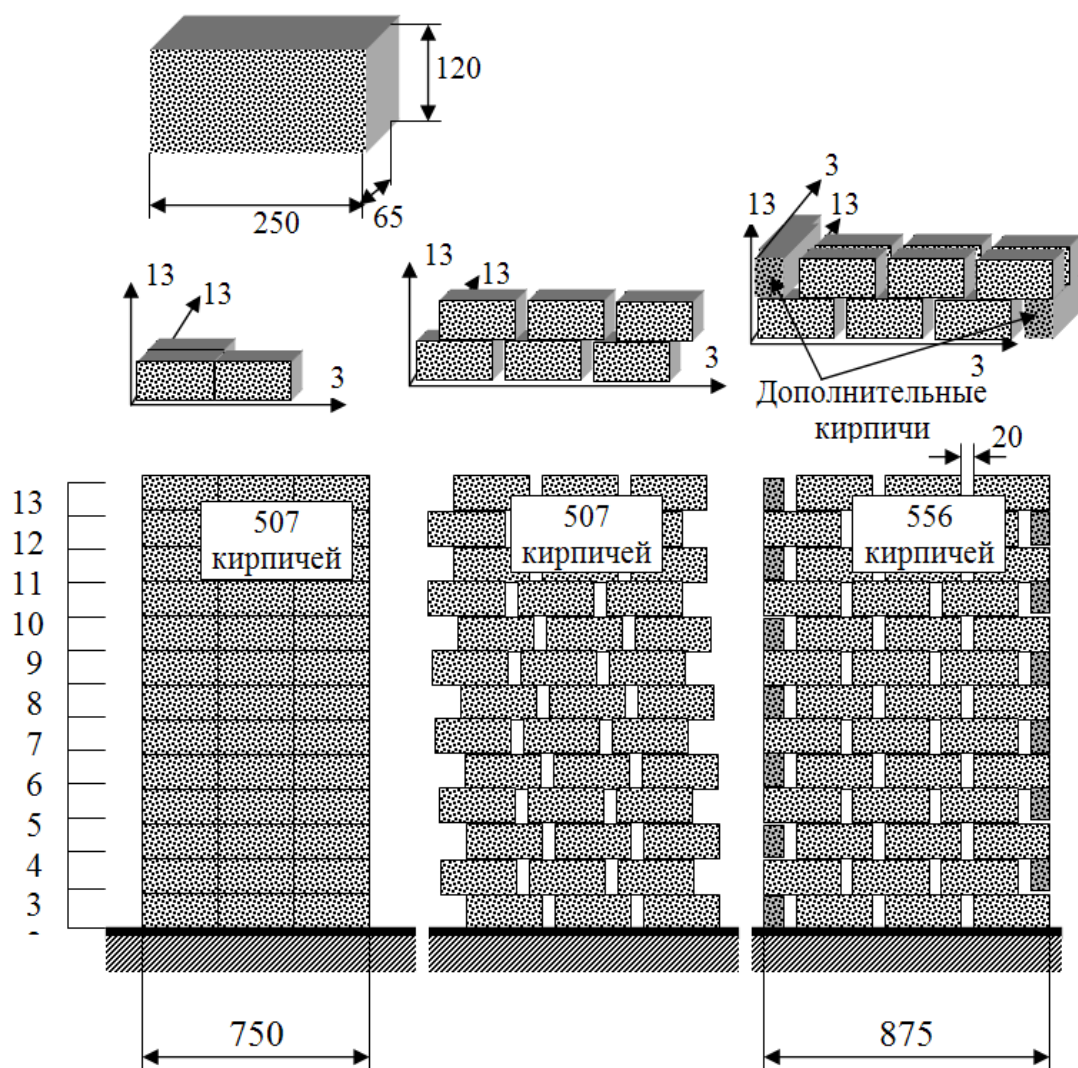


Рисунок 1 – Изменение базовой кладки с добавкой дополнительных кирпичей ($\psi=0,926$)

Для того чтобы оставить скорость прогрева более или менее одинаковой, было предложено увеличить массу садки путем закладки в нее дополнительных 49 кирпичей в образующиеся боковые впадины по периферии (показано на рисунке справа). Таким образом, масса садки и количество кирпичей в ней (то есть, производительность) были увеличены на 9,7%.

При экспериментальном исследовании разреженная садка формировалась только на одной вагонетке (2 садки); остальные оставались сплошными. Это позволило предположить, что поле температуры газа по длине если и изменится, то незначительно, т.е. использовать в расчетах одинаковое поле температуры для всех случаев.

Непосредственные результаты измерения температуры контрольных кирпичей при различных садках показаны на рисунке 2, а, а на рисунке 2, б показана неравномерность прогрева, определяемая величиной t_d/t_u , где t_d – температура центрального кирпича в нижнем, а t_u – температура центрального кирпича в верхнем слое садки. Опытные данные свидетельствуют, что на промежуточной стадии прогрева прогрев верхней зоны разреженной садки отстает от прогрева в садке с плотной укладкой, который, однако, при приближении к температуре обжига снижается, и температуры оказываются практически равными.

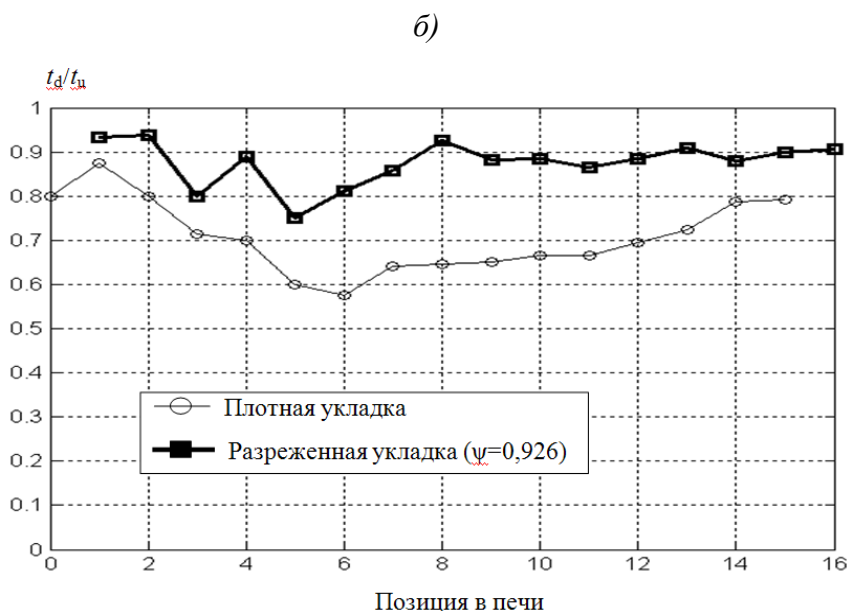
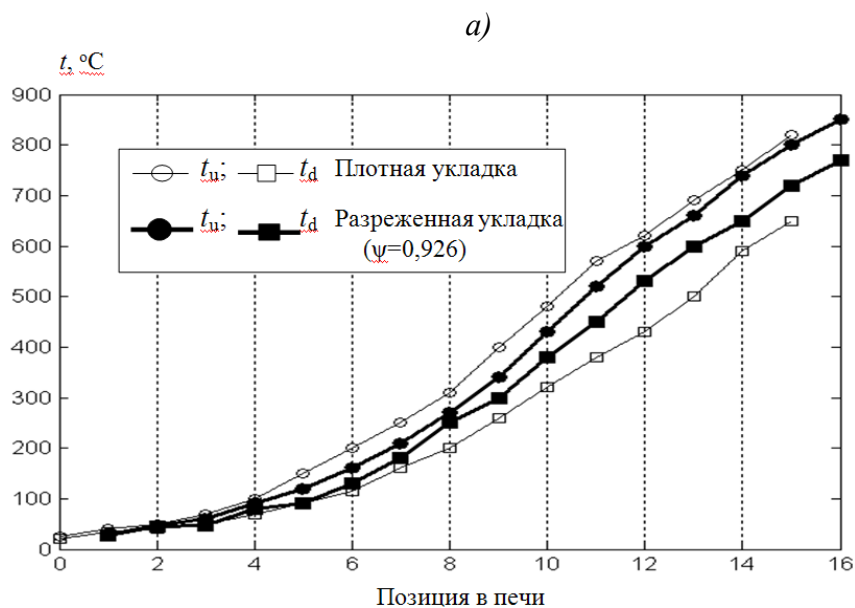


Рисунок 2 – Экспериментальное изменение температуры центрального кирпича в верхнем и нижнем слое садки (а) и неравномерности прогрева садки (б)

Вместе с тем, температура наиболее удаленной от поверхности точки в разреженной садке заметно выше, чем в плотной, что свидетельствует о ее более равномерном прогреве, а, значит, и более равномерном обжиге. Эти же выводы подтверждаются графиками (рисунок 2, б. Если ориентироваться на середину зоны прогрева, то равномерность повышается с 0,74 до 0,87 (эти данные не следует переносить на весь диапазон прогрева, так как в начале и конце прогрева при неограниченном времени оба показателя равны единице). Поскольку собственно обжиг проходит при той же, что и базовом режиме, температуре во всех зонах садки нет причин ожидать снижения его качества, т.е. увеличения выхода бракованной продукции. Производительность же в сформированной разреженной садке выше на 9,7%.

Разработанная модель [1, 2] в полном объеме была использована при расчете кинетики прогрева разреженной садки. Именно на ее основе были выбраны параметры садки, причём сначала была рассчитана разреженная садка без дополнительных кирпичей (рисунок 1, в центре), а затем – садки с дополнительными кирпичами (рисунок 1, справа). В простой разреженной садке скорость прогрева отдельных кирпичей превышала 100°С/час, что не соответствует регламентам на их термическую обработку (до 80°С/час). В разреженной садке с

дополнительными кирпичами этот регламент выдерживался.

На рисунке 3 показаны опытные и расчетные кинетики прогрева верхнего и нижнего кирпичей в разреженной садке с дополнительными кирпичами. При температурах выше 500°C опытная и расчетная кинетика изменения температуры верхних кирпичей практически совпадают. Для нижних кирпичей расчет дает заниженные значения температуры, работающие «в запас» по прогнозируемой равномерности прогрева. Максимальное расхождение не превышает 8% и снижается при дальнейшем увеличении температуры.

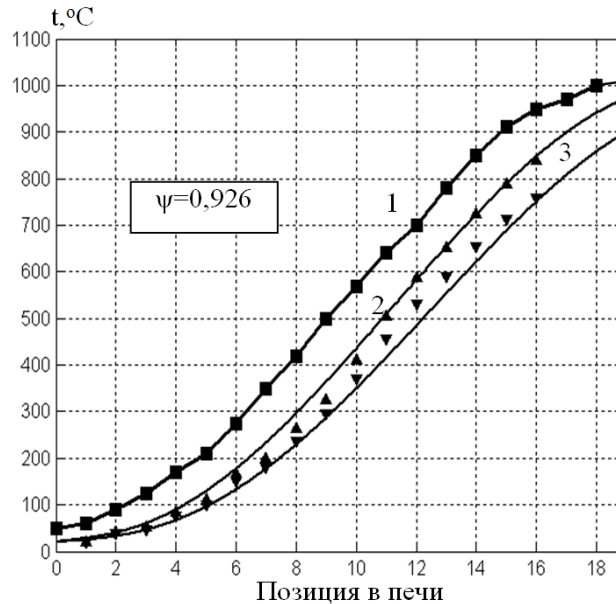


Рисунок 3 – Экспериментальное распределение температуры газа (1) и расчетное (линии) и экспериментальное (точки) изменение температуры кирпичей в центре верхнего (2) и нижнего (3) слоя садки

Таким образом, в результате проведенных промышленных экспериментов предложена структура разреженной укладки садки с дополнительными кирпичами, позволяющая увеличить производительность печи «Малютка» на 9,7% без снижения качества обжига кирпичей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федосов, С.В. Моделирование прогрева кирпичной садки произвольной внешней конфигурации [Текст] / С.В. Федосов, Н.Н. Елин, В.Е. Мизонов, А.Н. Хусаинов // Строительные материалы. – 2009. – № 12. – С. 20-24.
2. Федосов, С.В. Моделирование прогрева кирпичной садки с разреженной кладкой кирпичей [Текст] / С.В. Федосов, Н.Н. Елин, В.Е. Мизонов, А.Н. Хусаинов // Строительные материалы. – 2010. – № 7. – С. 46-48.

Елин Николай Николаевич

ГОУВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново
 Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Гидравлика, водоснабжение и водоотведение»
 Тел.: +7 (4932) 41-61-22
 E-mail: yelin54@mail.ru

Виноградова Надежда Витальевна

ГОУВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново
 Кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Гидравлика, водоснабжение и водоотведение»

Хусаинов Александр Наилевич

ГОУВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново
 Аспирант кафедры «Гидравлика, водоснабжение и водоотведение»
 Тел.: +7 916 100 95 70
 E-mail: khan_al@rambler.ru

УСТОЙЧИВЫЕ РУСЛА МАЛЫХ РЕК В СВЯЗНЫХ ГРУНТАХ

Рассмотрены вопросы динамического равновесия потока и русла малых рек в связных грунтах. Приведен способ обоснования динамически устойчивых поперечных сечений русел, который может применяться при проектировании расчистки русел рек из связных грунтов, при пересечении таких русел инженерными коммуникациями и в других случаях, связанных с гидротехническим строительством на малых реках.

Ключевые слова: динамическое равновесие, размывающая способность потока, малые реки, связный грунт.

The problems of dynamic equilibrium for flow and channels of small rivers in cohesive grounds are considered. A method to substantiate dynamically stable cross sections of channels is given. This method can be used when planning to edge river channels of cohesive grounds, when crossing such channels with engineering communications and in other cases connected with hydraulic engineering construction on small rivers.

Keywords: dynamic equilibrium, eroding capacity, small rivers, cohesive ground.

Геологическое строение русел малых рек в степной зоне довольно сложное и отличается неоднородной литологией связного и несвязного материала. Русла, сформированные преимущественно связными грунтами, обычно однорукавны и относительно глубокие ($B/H > 20$). Такие русла имеют малые степные реки, например, река Тузлов, Сал, Кагальник и др. В настоящее время эти реки на значительной длине превращены в цепочку заиленных прудов. Для восстановления этих рек требуется научное обоснование параметров устойчивых на размыв и не подвергающихся «вторичному» заилению их русел. Сложность определения морфологических характеристик таких русел обусловлена недостаточной изученностью морфометрии рек в связных грунтах (исключение представляют работы И.Ф. Карасева [1] и Ц.Е. Мирцхулавы [2]). Известные формулы для определения морфологии русел рек в несвязных (песчаных) грунтах, полученные большей частью эмпирическим путем, не отражают особенности формирования русел в связных грунтах.

По замечанию Р.С. Чалова [3], связные пластичные грунты, равно как и русла с аллювиальной отмосткой, обуславливают такое состояние взаимодействия потока и русла, при котором *русло управляет потоком*. В этих условиях возможно возникновение специфических форм воздействия самих потоков на русло, сложенное связными грунтами.

Динамическое равновесие потока и русла на уровне размывающей способности потока определяется скоростью при руслоформирующем расходе воды (наполнение русла вровень с низкой бровкой берега) и скоростью, которую связный грунт может предельно воспринимать без разрушения. Для плоского потока это условие реализуется формулой Шези:

$$v_p = v = \frac{1}{n} h^y \sqrt{h \cdot i}. \quad (1)$$

Размывающую скорость для связного грунта можно определить при известных физико-механических характеристиках грунта русла и условиях его состояния по формуле Ц.Е. Мирцхулавы:

$$v_p = \left(1g \frac{8,8h}{d} \right) \sqrt{\frac{2m}{1,3\rho_0 n} \left[\rho_s - \rho_0 \right] g d + 1,25 \left(\sigma_y^n + \sigma_{наб} \right)}. \quad (2)$$

Для последующего анализа и инженерных расчетов принята наиболее простая зависимость размывающей скорости, предложенная А.А. Черкасовым [4] в виде:

$$v_p = v_1 \left(\frac{h}{h_1} \right)^\alpha, \quad (3)$$

где v_1 – гидравлическая характеристика размываемости грунтов русла (удельная размывающая скорость) при глубине потока $h_1 = 1$ м; a – показатель степени, учитывающий градиент скоростей у дна.

Тогда из формулы Шези (1) при известных уклоне i и коэффициенте шероховатости русла n можно получить выражение для определения значения глубины, соответствующей условию динамического равновесия потока и русла в виде:

$$h = \left(\frac{v_1 \cdot n}{i^{0,5}} \right)^{\frac{1}{0,5+y-\alpha}} \quad (4)$$

В речном русле наибольшие скорости течения наблюдаются в зоне наибольших глубин. Очевидно, что размыв русла из связного грунта прекратится, если этот грунт будет устойчивым в стреленовой части русла. Это позволяет вычисленную по предыдущей формуле глубину считать наибольшей: $h = h_{\max}$.

Прямые и косвенные характеристики грунта русла (v_1 , n , y) устанавливаются опытным путем. При практических расчетах гидравлическую характеристику грунта – v_1 для конкретного объекта можно определить по натурным материалам способом В.С. Лапшенкова [5].

Данные о расходах воды в половодье с указанием средней скорости и средней глубины во многих случаях позволяют определить размывающую скорость для изучаемого участка реки. Такой подход базируется на допущении, что при руслоформирующем расходе воды скорость потока будет критической и равной размывающей скорости.

Из формулы А.А. Черкасова (3) следует, что $v_1 = v_p / H^\alpha$. Полагая, что средняя скорость v и есть искомая размывающая скорость ($v = v_1$), вычисления v_1 производят для всех измеренных расходов воды. Данные вычислений наносят на график, где по шкале абсцисс откладывают значения расходов воды, а по шкале ординат соответствующие им значения v_1 (рисунок 1).

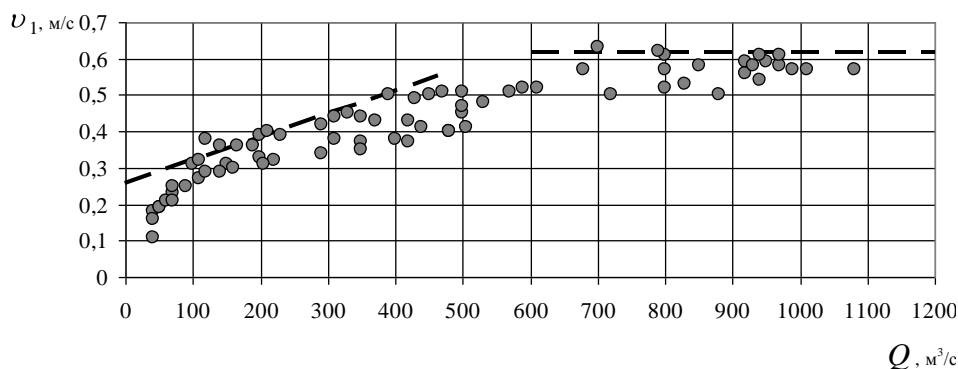


Рисунок 1 – Значения приведенных скоростей течения р. Кубань в створе ст. Старокорсунская

Проведение по полученным точкам верхней огибающей линии выявляет две зоны: первая – при малых расходах, где точки лежат беспорядочно, и вторая – при больших расходах воды, где намечается горизонтальная аппроксимирующая их линия на уровне искомой величины размывающей скорости v_1 . Разброс точек при малых расходах воды означает, что для этой области графика допущение $v = v_1$ неприемлемо, то есть в каком-то диапазоне малых расходов воды (на подъеме или спаде половодья) скорости были неразмывающими. Перелом огибающей линии указывает на расходы воды, при которых начинается размыв донных отложений, что во многих случаях соответствует руслоформирующему расходу воды.

При проведении анализа описанным способом лучше пользоваться не данными «Гидрологических ежегодников», а полевыми журналами, так как только по ним можно устано-

вить с какого расхода воды началось затопление поймы и какие условия в реке предшествовали измерению расходов воды.

Данные измерений на многих участках песчаных русел позволяют четко выделить величину v_1 . На участках русел с другими грунтами такой четкости может не быть: верхняя огибающая кривая заметно уположивается, но не становится горизонтальной. Это свидетельствует о том, что русло сформировано не только песком, и может иметь трудно размываемые обнажения грунта (глины, старичного грунта, мергеля и т.п.).

При отсутствии данных гидрометрических наблюдений для рек с руслами из связных грунтов для определения величины v_1 можно воспользоваться формулой Ц.Е. Мирцхулавы, но для этого необходимо тщательно проанализировать практически все известные физико-механические характеристики грунтов русла и условия их «работы» в потоке. Возможно лабораторное определение этой скорости в гидравлическом лотке на образцах грунта русла, но сложности с пересчетом лабораторных результатов на натуру делают полученные значения v_1 для натуральных условий приближенными.

Показатель степени в формуле А.А. Черкасова α для песчаных русел имеет вполне определенное значение ($a = 0,5$). У связных грунтов значение a меняется от 0,23 до 0,33 [5].

Для оценки изменения параметра α в зависимости от сил сцепления связных грунтов был выполнен анализ результатов опытов Ц.Е. Мирцхулавы [2] по исследованию влияния глубины потока на размывающую донную скорость для связных грунтов.

В результате анализа были вычислены значения a и построен график в координатах $v_{\Delta p} / \sqrt{2} = f(H)$ при разных силах сцепления (рисунок 2). Практически прямые линии графика показывают, что с увеличением глубины потока увеличиваются донные размывающие скорости, но величина параметра α остается постоянной.

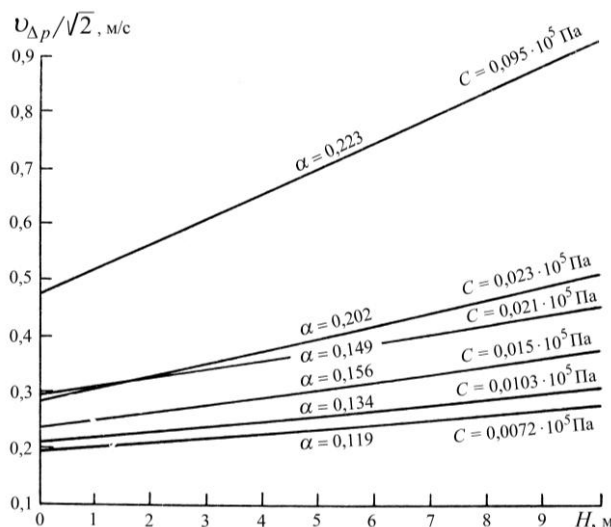


Рисунок 2 – Влияние глубины потока и сил сцепления на донную размывающую скорость

Если принять во внимание, что донная размывающая скорость связана со средней скоростью зависимостью:

$$v_p = \frac{\lg\left(\frac{8,8H}{d}\right) \cdot v_{\Delta p}}{1,25}, \quad (5)$$

что соответствует пропорциональности $v_p \sim H^{0,2}$, то показатель степени a в формуле А.А. Черкасова (3) для связных пластичных грунтов будет иметь значения $a = 0,319 - 0,423$.

Поперечные сечения устойчивых однорукавных русел хорошо описываются полуэллипсом, который является косоугольной проекцией русла с гидравлически наивыгоднейшим сечением. Уравнение профиля русла по [5] имеет вид:

$$b_j = 0,5 \left[B - \sqrt{B^2 - \left(\Pi_3 \cdot h_j \right)^2} \right], \quad (6)$$

где b_j и h_j – координаты профиля; B – ширина русла по верху (в бровках); Π_3 – параметр эллипса, $\Pi_3 = B/h_{\max}$.

Площадь полуэллипса составит $\omega = \pi \cdot B \cdot h_{\max} / 4$, а средняя глубина живого сечения русла будет равна $H = 0,785 \cdot h_{\max}$. Расчет устойчивого на размыв сечения русла начинается с определения h_{\max} по известным характеристикам грунтов русла и уклону. Затем по средней глубине потока определяется параметр C в формуле Шези и средняя скорость потока. Далее по известному руслоформирующему расходу воды вычисляется площадь живого сечения и ширина русла. Затем вычисляются параметры эллипса и находится длина смоченного периметра. Отметим, что вычисление гидравлических элементов потока по средней глубине допустимо только в тех случаях, когда длина смоченного периметра сечения равна ширине потока по урезам воды ($\chi \approx B$). В завершении расчетов вычисляется площадь полуэллипса, гидравлический радиус сечения и пропускная способность эллиптического русла. Вычисленный расход воды будет отличаться от первоначально принятого и тем больше, чем больше будет разница между средней глубиной H и гидравлическим радиусом R . Последовательность расчетов и формулы для вычисления приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Свод расчетных формул

№ п/п	Вычисляемый элемент	Формула
1	Наибольшая глубина в сечении	$h_{\max} = \left(\frac{v_1 \cdot n}{i^{0,5}} \right)^{\frac{1}{0,5+y-\alpha}}$
2	Средняя глубина потока	$H = 0,785 \cdot h_{\max}$
3	Параметр в формуле Шези	$C = \frac{H^y}{n}$
4	Средняя скорость потока	$v = C \sqrt{H \cdot i}$
5	Площадь живого сечения	$\omega = \frac{Q}{v}$
6	Ширина русла	$B = \frac{\omega}{H}$
7	Параметры эллипса	$\lambda = \frac{0,5B - h_{\max}}{0,5B + h_{\max}} \quad D = \frac{64 - 3\lambda^4}{64 - 16\lambda^2}$ $\Pi_3 = \frac{B}{h_{\max}}$
8	Длина смоченного периметра	$\chi = 0,5\pi \left(0,5B + h_{\max} \right) D$
9	Площадь полуэллипса	$\omega_3 = \frac{\pi B h_{\max}}{4}$
10	Гидравлический радиус и параметр Шези	$R_3 = \frac{\omega_3}{\chi}; \quad C_3 = \frac{R_3^y}{n}$
11	Пропускная способность эллиптического русла	$Q_3 = \omega_3 \cdot C_3 \sqrt{R_3 \cdot i}$
12	Уравнение для вычисления координат русла	$b_j = 0,5 \left[B - \sqrt{B^2 - \left(\Pi_3 h_j \right)^2} \right]$

Для оценки практической приемлемости изложенного способа определения устойчивого на размыв сечения русла были проведены расчеты поперечных сечений русел рек Тузлов и Большой Несветай. Русла обеих рек пролегают в суглинистых грунтах, на отдельных участках толщина слоя ила достигает 3-х метров. Показатель размываемости грунтов $v_1 = 0,75 - 0,95$ м/с; коэффициент шероховатости русла $n = 0,023 - 0,030$; $y = 0,17 - 0,20$; $a = 0,25 - 0,35$. Гидравлические уклоны по участкам исследованных рек изменялись в пределах: $i = 0,000235 - 0,00056$. Уровень воды принимался на отметке пойменной бровки. Параметр эллипса для расчетных поперечников русел рек имел значения $\Pi_3 = 6,5 - 28,0$.

Для примера на рисунках 3 и 4 приведены результаты расчета поперечных сечений русла.

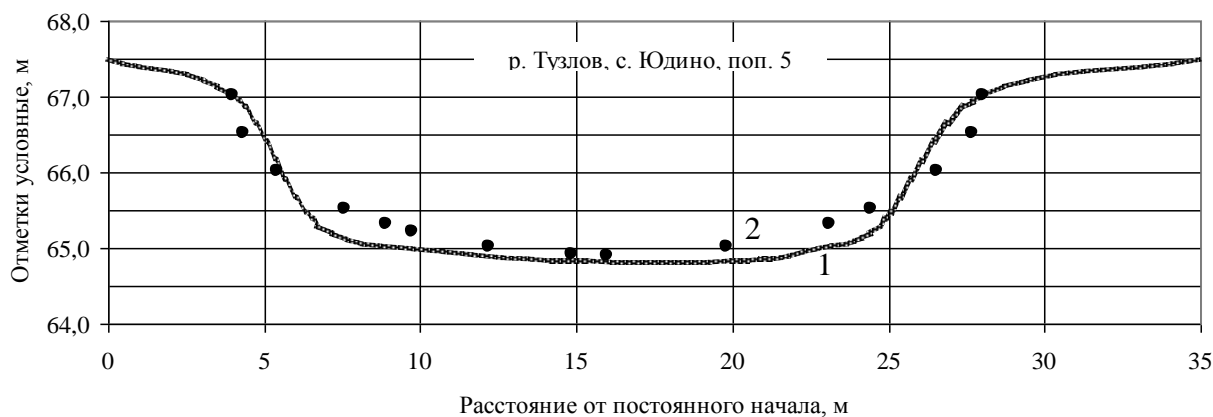


Рисунок 3 – Поперечный профиль русла р. Тузлов при удельной размывающей скорости $v_1 = 0,90$ м/с и уклоне $i = 0,00042$: 1 – существующий; 2 – расчетный

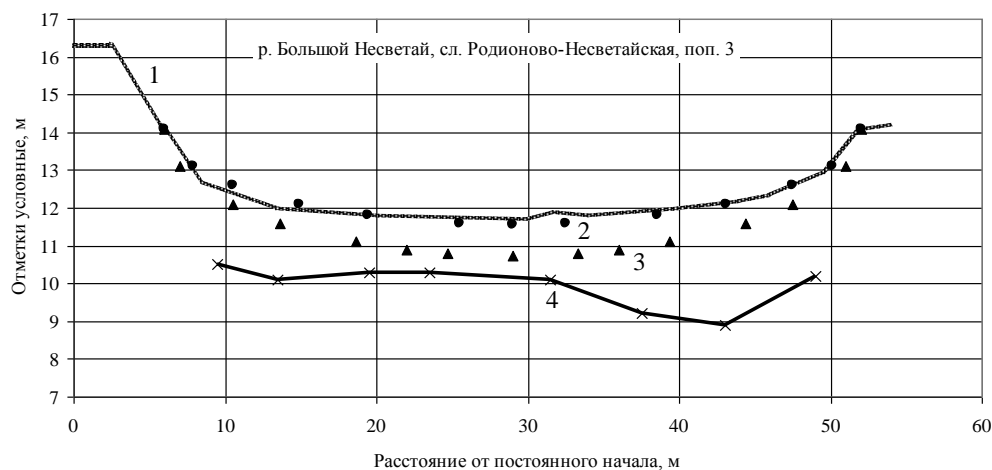


Рисунок 4 – Поперечный профиль русла р. Большой Несветай при удельной размывающей скорости $v_1 = 0,80$ м/с и уклоне $i = 0,000235$: 1 – существующий профиль русла; 2 – координаты эллиптического устойчивого русла при $i = 0,00029$ и $h_{\max} = 2,53$ м; 3 – координаты устойчивого русла при существующем уклоне $i = 0,000235$ (расчетная $h_{\max} = 3,36$ м); 4 – граница илов и грунтов эрозионного вреза

По представленному на рисунке 3 поперечнику р. Тузлов можно заключить о хорошем совпадении существующего русла с расчетным эллиптическим руслом: $h_{\max} = 2,11$ м; $B = 24,0$ м (в пойменных бровках); $\Pi_3 = 11,4$; пропускная способность русла – $Q_p = 37,6$ м³/с.

Поперечник русла р. Большой Несветай интересен тем, что при существующем уклоне $i = 0,000235$ расчетная глубина должна быть $h_{\max} = 3,36$ м (см. рисунок 4, поз. 3); пропускная способность русла в пойменных бровках составит $Q_p = 120,4$ м³/с, что соответствует расходу воды ~ 0,5 % вероятности превышения. Естественно, такие расходы на этой реке крайне редки, а в современных условиях вообще невозможны. Участок реки с данным поперечником находится в состоянии подпора от ниже расположенной запруды; он был расчищен в 1980 г. до границы эрозионного вреза (см. рисунок 4, поз. 4), но продолжал заиливаться, поскольку уклон и расходы воды не позволяли осуществляться промыву русла. При современном состоянии русла необходимо увеличить уклон на участке до $i = 0,0003$ и тогда при существующей глубине $h_{\max} = 2,53$ м будет обеспечена динамическая устойчивость русла.

Приведенный способ обоснования динамически устойчивых поперечных сечений может применяться при проектировании расчистки русел рек из связных грунтов, при пересечении таких русел инженерными коммуникациями и в других случаях, связанных с гидротехническим строительством на малых реках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карасев, И.Ф. Русловые процессы при переброске стока [Текст] / И.Ф. Карасев. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 288 с.
2. Мирцхулава, Ц.Е. Основы физики и механики эрозии русел [Текст] / Ц.Е. Мирцхулава. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 304 с.
3. Чалов, Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел [Текст] / Р.С. Чалов. – М.: ЛКИ, 2008. – 608 с.
4. Лапшенков, В.С. Прогнозирование русловых деформаций в бьефах речных гидроузлов [Текст] / В.С. Лапшенков. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 240 с.
5. Лапшенков, В.С. Русловая гидротехника: практическое пособие [Текст] / В.С. Лапшенков. – Новочеркасск, НГМА, 1999. – 408 с.

Лапшенков Вячеслав Степанович

Новочеркасская государственная мелиоративная академия, г. Новочеркасск

Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор кафедры «Гидротехнические сооружения»

Тел.: +7 (86352)-2-44-16, 2-44-93

Мордвинцев Михаил Миронович

Новочеркасская государственная мелиоративная академия, г. Новочеркасск

Доктор технических наук, профессор кафедры «Гидротехнические сооружения»

Тел.: +7 (86352)-2-44-16, 2-44-93

E-mail: mmm@novoch.ru

Персикова Людмила Владимировна

Новочеркасская государственная мелиоративная академия, г. Новочеркасск

Ассистент кафедры «Гидротехнические сооружения»

Тел.: +7 (86352)-2-44-16, 2-44-93

E-mail: cova265@yandex.ru

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ АВТООСАЖДЕНИЯ (ЧАСТЬ I)

Рассматриваются проблемы антикоррозионной защиты строительных конструкций из алюминиевых сплавов методом автоосаждения. Приводятся результаты экспериментальных исследований коррозионного поведения алюминиевой основы в растворах фена и полиэлектролита различных концентраций, которые являются отправной точкой для изучения механизма автоосаждения на поверхности алюминиевых сплавов и разработки технологии автофореза, адаптированной для строительной индустрии, изложенных во II части статьи.

Ключевые слова: антикоррозионная защита, алюминиевые сплавы, автоосаждение.

Problems of anticorrosive protection of building designs from aluminum alloys are considered by an autosedimentation method.

Keywords: anticorrosive protection, aluminum alloys, autosedimentation.

Алюминий и его сплавы по масштабу производства занимают первое место в мире среди цветных металлов. Основными потребителями этих материалов являются авиационная, машиностроительная, автомобильная, электротехническая отрасли промышленности. Расширяется применение алюминиевых сплавов в строительном комплексе [1].

В большей степени в строительной индустрии используются пресованные профили и панели, в основном, из сплава АД31. Достаточно широко применяют и листовой материал из сплавов типа АМг0.5, АМг2. Для сварных нагруженных конструкций типа большепролетных перекрытий более пригодны сплавы системы AL-Zn-Mg. В отечественной практике это, как правило, сплав 1915 [2].

По оценкам экспертов, к 2011 году объем задействованного в возведении зданий и иных инженерных сооружений алюминия (таких, как мосты или спортивные массовые объекты) удвоится в сравнении с показателями 2006 года [3].

Сегодня перед строителями все чаще встает задача максимально облегчить давление на опоры и фундамент строящегося здания, которая не может быть решена без применения алюминия. Во-первых, фасады современных высотных зданий в основном состоят из алюминиевых конструкций, соединяющих в себе прочность и относительно небольшой вес. Во-вторых, более функциональна по сравнению с кровлей из традиционных материалов кровля из алюминиевых сплавов. В-третьих, постоянно увеличивается число офисных зданий, алюминиевые перегородки между помещениями в которых позволяют выполнять требования надежности и экономичности. В-четвертых, широкое применение сплавы данного металла нашли в производстве дверных и оконных проемов. В-пятых, в настоящее время вентиляционные системы новостроек практически полностью состоят из алюминиевых материалов. В-шестых, алюминий поистине незаменим для воплощения в жизнь богатых фантазий современных архитекторов и дизайнеров. Так же, многочисленные торговые точки – всевозможные павильоны, киоски и ларьки обычно изготавливаются из алюминия и его сплавов. Применение этих материалов возможно в особых условиях – строительство в отдаленных и труднодоступных зонах, например, на Крайнем Севере; эксплуатация в районах высокой сейсмичности, во взрывоопасных местах. При реконструкции зданий и сооружений использование алюминия и алюминиевых конструкций позволяет повышать их полезную грузоподъемность частичной заменой тяжелых конструкций, а так же заменять конструкции из различных материалов на алюминиевые, чтобы повысить архитектурные качества зданий и обеспечить их долговечность [4].

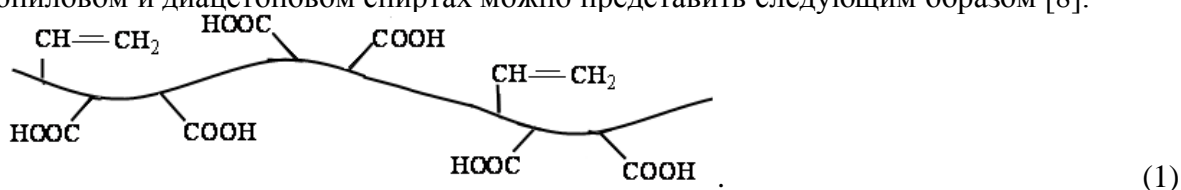
Однако, низкая коррозионная стойкость алюминия затрудняет его применение из-за больших потерь при эксплуатации, в связи с чем изделия на основе его сплавов нуждаются в высокоэффективной противокоррозионной защите.

Одним из перспективных методов защиты изделий из алюминия является покрытие его поверхности водоразбавляемыми лакокрасочными полимерными материалами способом автоосаждения, при котором осаждение пленкообразующих веществ на поверхности изделий осуществляется без применения электрического тока, давления и других факторов (самоосаждение, автофорез, хемоосаждение). Этот процесс протекает за счет энергии химических реакций и начинается в момент погружения изделия на границе раздела двух фаз: полимерный водный раствор – металл. На всей смоченной раствором поверхности образуется слой, который после промывки водой и термоотверждения превращается в однородную гидрофобную пленку. Отмечается, что толщина осажденного полимерного покрытия зависит от времени выдержки изделия в полимерном растворе [5, 6].

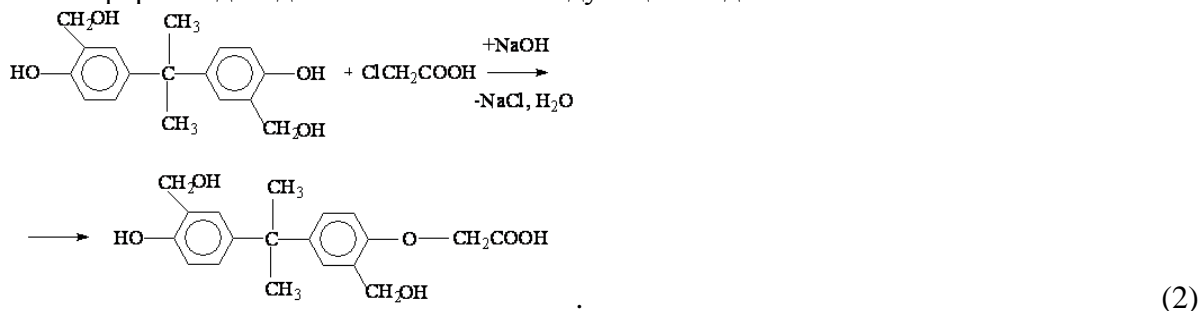
Метод автоосаждения перед другими широко известными методами защиты металлов от коррозии (электроосаждением, распылением, окунаем) обладает следующими преимуществами [5]: высокая адгезия пленок к поверхности металла (при сломе образцов под углом 180° не наблюдается отслаивания покрытий); высокие защитные свойства (300-500 ч в камере солевого тумана и гидростате); равномерность толщины пленок на изделиях любой сложности (отклонения составляют ± 0.00013 мкм); малый расход лакокрасочного материала, составляющий 45-50 г/м² (при окраске пневмовоздушным распылением 120-150 г/м²); относительная пожаробезопасность процесса, обусловленная применением воды в качестве растворителя; возможность полной автоматизации процесса в случае серийного производства; экономия производственных площадей и расходов на оборудование, электроэнергию.

Однако метод автоосаждения до настоящего времени не нашел широкого применения, так как существующая технология и разработанные композиции не пригодны для использования в строительстве [7].

В качестве объектов исследований авторами были выбраны водные растворы карбоксилсодержащего пленкообразователя, лака КЧ-0125. Выбор лака КЧ-0125 для исследований не случаен, так как пленки на его основе обладают высокой коррозионной стойкостью, а растворы стабильны в широком диапазоне pH. Лак КЧ-0125 представляет собой раствор в диацетоновом и изопропиловом спиртах малеинизированного полибутадиена, модифицированного фенольной смолой. Макромолекулу малеинизированного полибутадиена, растворенную в изопропиловом и диацетоновом спиртах можно представить следующим образом [8]:



Фенолформальдегидная смола имеет следующий вид:



Для приготовления растворов использовались реактивы марки «ХЧ». Уровень кислотности полиэлектролита менялся путем добавления 25% раствора аммиака и замерялся универсальным ионометром марки ЭВ-74.

Исследования проводились на образцах из алюминиевого сплава АМг2П, размером 15×40 мм, используемого в строительных объектах.

Скорость коррозии металла изучали гравиметрическим методом, по полученным экспериментальным данным рассчитывали токовый показатель коррозии с применением законов Фарадея [9]:

$$\Delta m = \Theta \cdot S \cdot \tau \cdot i, \quad (3)$$

где Δm – разница в весе образца до и после погружения в электролит, г; Θ – электрохимический эквивалент алюминия, г-экв/(А·ч); S – поверхность образца, см²; τ – время опыта, ч; i – токовый показатель коррозии, А/см².

Потенциометрические исследования в водных растворах лака КЧ-0125 и фоновом электролите проводили с помощью импульсного потенциостата ПИ-50-1, автоматическую запись потенциала производили компенсационным, двухкоординатным самописцем марки ЭЛКД – 003 (рисунок 1). Электродом сравнения служил насыщенный хлор-серебряный электрод марки ЭВЛ-1М3.

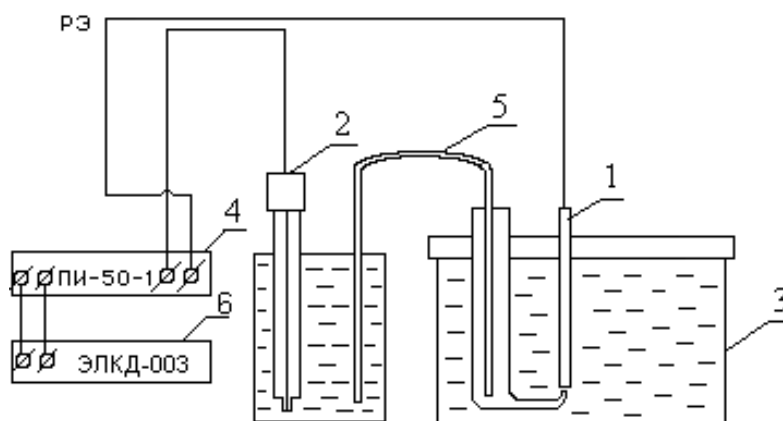


Рисунок 1 – Схема установки для измерения кривых «потенциал – время»
1 – рабочий электрод; 2 – электрод сравнения; 3 – электролитическая ячейка;
4 – потенциостат; 5 – солевой мостик; 6 – самописец

Изменение электродного потенциала в сочетании с коррозионными исследованиями позволяет выяснить механизм взаимодействия алюминия с электролитом, содержащим водоразбавляемую олигомерную композицию.

Характер изменения рН вблизи алюминиевого электрода изучали по рекомендациям [10] с помощью прибора рН-150, используя стандартный стеклянный электрод марки ЭСЛ-15-11; электродом сравнения являлся насыщенный хлор-серебряный электрод марки ЭВЛ-1М-4. На стеклянный электрод плотно прикатывалась алюминиевая фольга с отверстиями 0,5-1 мм, затем полученная система погружалась в исследуемые водные растворы фона или пленкообразователя.

О плотности олигомерной пленки на поверхности алюминиевого сплава судили по величине омической составляющей при включении поляризующего тока (гальваностатический режим) [10] с использованием потенциостата ПИ-50-1 и программатора ПР-8. Электродом сравнения служил насыщенный хлор-серебряный электрод, а вспомогательным – платиновый (рисунок 2).

Анализ литературных данных по автоосаждению [5, 6, 11] и результатов научных исследований, полученных ранее [7, 12] показал, что основными факторами, влияющими на процесс формирования автофорезных покрытий, является кислотность и концентрация полиэлектролита.

Поэтому нами было изучено коррозионное поведение алюминиевого сплава АМг2П в растворах олигомерных карбоксилсодержащих композиций низких концентраций с добавкой ИПС и рН. В качестве раствора фона использована щавелевая кислота $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ с концентрацией 0,1 моль/л. Выбор щавелевой кислоты обусловлен тем, что электропроводность водных растворов олигомера КЧ-0125 и щавелевой кислоты приблизительно равны (0,1См и 0,08См соответственно). Кислотность меняли путем введения гидроксида аммония.

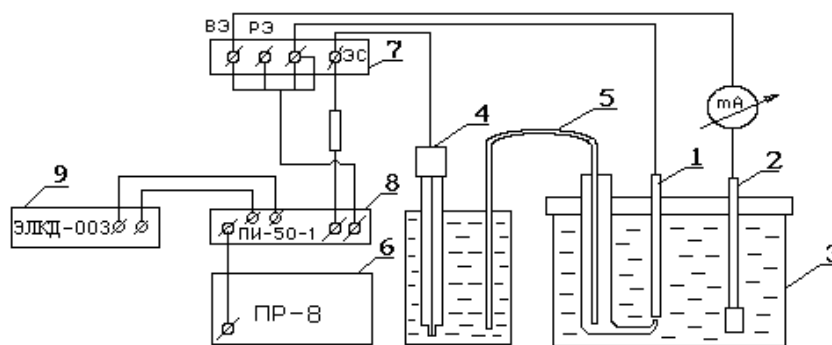


Рисунок 2 – Схема установки для гальваностатических измерений
 1 – рабочий электрод; 2 – вспомогательный электрод; 3 – электролитическая ячейка; 4 – электрод сравнения; 5 – солевой мостик; 6 – программатор; 7 – соединительная колодка; 8 – потенциостат; 9 – самописец

Опытные данные показывают, что скорость коррозии алюминиевого сплава АМг2П (i , А/см²) в карбоксилсодержащей композиции с добавкой ИПС, рассчитанная по отрицательному показателю, возрастает с увеличением рН фонового раствора и раствора олигомерной композиции (рисунок 3). Одновременно с этим потенциал алюминиевого электрода становится более отрицательным (рисунок 4).

При значениях рН=6-8 скорость коррозии металла незначительна и находится в пределах $1,25 \cdot 10^{-5} - 4,25 \cdot 10^{-5}$ А/см² и для раствора фона и для водного раствора олигомера КЧ-0125 с добавкой ИПС. Дальнейшее увеличение степени нейтрализации (рН=9-11) приводит к резкому увеличению скорости коррозии в фоновом растворе ($i_{кор}=5 \cdot 10^{-4}$ А/см²) и незначительному росту в растворе лака КЧ – 0125 с добавкой ИПС, ($i_{кор}=4,92 \cdot 10^{-5}$ А/см²). В обоих случаях можно сказать, что увеличение скорости коррозии алюминиевого сплава АМг2П осуществляется за счет облегчения анодного процесса.

Анализируя полученные данные (рисунок 3, рисунок 4) и диаграмму Пурбе (рисунок 5) [13], можно предположить, что при рН = 6-8 и значениях потенциала в пределах от -1,1 до -1,4 В наблюдается область термодинамически устойчивого состояния алюминиевого сплава АМг2П, т.к. на его поверхности образуется плотная оксидная пленка, препятствующая ионизации и защищающая металл от коррозии. Таким образом, при рН = 6-8 процесс окисления поверхности алюминиевого сплава АМг2П протекает с участием ионов гидроксония и электронов по схеме:

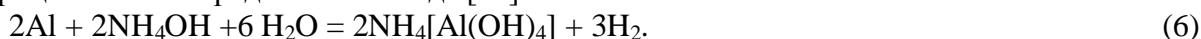


Так как потенциал металла (рисунок 5) находится выше наклонных линий 2 и 3 и ниже пунктирной линии (а), то на катодных участках (в порах оксидной пленки) процессы протекают с сильным торможением и при рН = 6-11 идет процесс восстановления молекул воды:



За счет нескомпенсированных зарядов ионов гидроксония H_3O^+ и гидроксильных ионов OH^- в первые 50 секунд процесса создается высокое закисление приэлектродного пространства в результате анодного процесса коррозии на границе раздела фаз «электрод – электролит». На рисунке 6 представлены данные изменения рН приэлектродного пространства от времени нахождения алюминиевого сплава АМг2П в растворе фона и в композициях для автоосаждения лака КЧ-0125.

С увеличением рН системы наблюдается резкий рост скорости коррозии (рисунок 3) и отклонение стационарного потенциала металла в область отрицательных значений усиливается (рисунок 4). Следовательно, в щелочных средах сильнее облегчается анодный процесс коррозии алюминиевого сплава АМг2П. Исходя из анализа данных диаграммы Пурбе (рисунок 5) и кривых (рисунки 3, 4, 6) можно сделать вывод о том, что коррозия алюминиевого сплава АМг2П при значениях рН=9-11 протекает с водородной деполаризацией. Суммарно этот процесс можно представить в виде [14]:



То есть пленка на поверхности металла проницаема, а скорость коррозии контролируется скоростью химической реакции, протекающей с образованием $[Al(OH)_4]^-$. При этом значения потенциала алюминиевого сплава АМг2П, зафиксированные в растворах фона отличаются от теоретических (см. рисунок 4). «Облагораживание» потенциала происходит за счет адсорбционных процессов щавелевой кислоты на поверхности алюминиевого сплава.

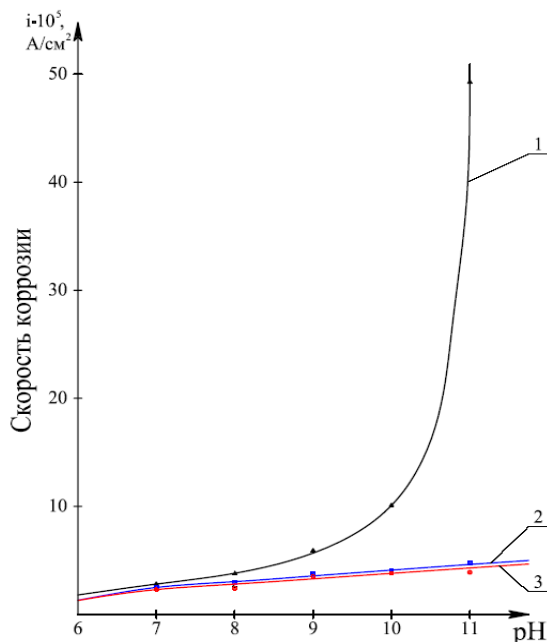


Рисунок 3 – Зависимость скорости коррозии ($i \cdot 10^5$, A/cm^2) от pH водных растворов: 1 – фоновый раствор ($H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O = 0,1$ моль/л); 2 – 4% раствор лакокрасочной композиции; 3 – 2% раствор лакокрасочной композиции

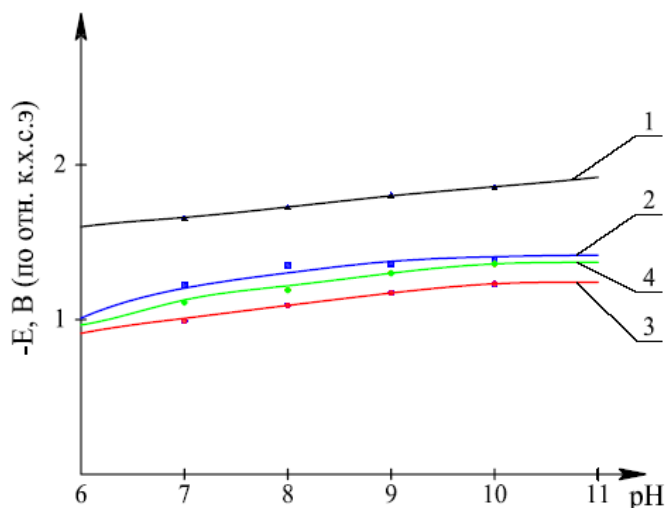


Рисунок 4 – Зависимость потенциала алюминия от pH водных растворов: 1 – теоретическая кривая для системы $AL - H_2O$ по Пурбе; 2 – фоновый раствор ($H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O = 0,1$ моль/л); 3 – 4% раствор лакокрасочной композиции; 4 – 2% раствор лакокрасочной композиции

При сравнении омической составляющей в фоновом и водно-спиртовых растворах лака КЧ-0125 наблюдается высокое значение ΔV в последних, что связано с наличием на поверхности алюминиевого сплава АМг2П автоосажденных пленок (рисунок 7). При плотности тока, равной $1 \text{ mA}/\text{dm}^2$, величина ΔV в водно-спиртовых олигомерных растворах в 10 раз превышает аналогичное значение, измеренное в фоновом электролите. Такая величина омической состав-

ляющей свидетельствует не только об увеличении размера коллоидных частиц, но и о дополнительном взаимодействии между молекулами олигомера в процессе формирования пленок.

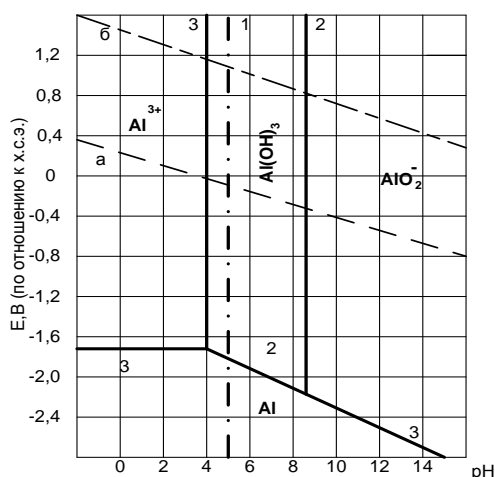


Рисунок 5 – Диаграмма $E, V - pH$ для системы $Al-H_2O$ при $25^\circ C$

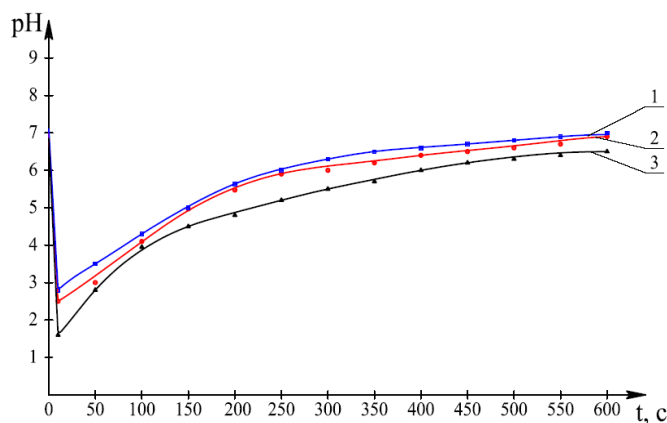


Рисунок 6 – Изменение pH при электроодного пространства от времени: 1 – раствор фона $Sn_2C_2O_4 \cdot 2H_2O = 0,1$ моль/л; 2 – 4% раствор композиции; 3 – 2% раствор композиции

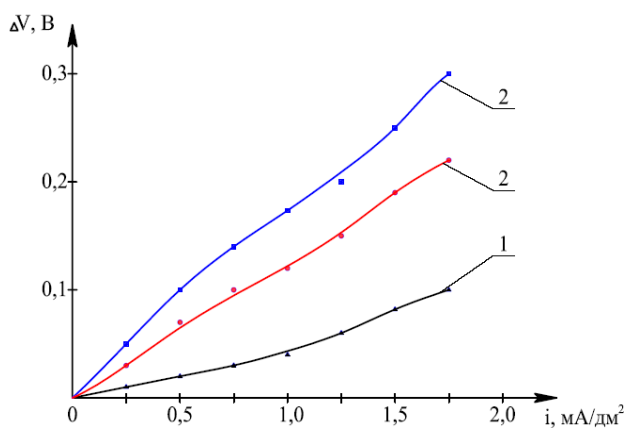


Рисунок 7 – Зависимость омической составляющей от величины поляризующего тока: 1 – раствор фона, с концентрацией щавелевой кислоты 0.1 моль/л, 2 – 4% раствор лакокрасочной композиции; 3 – 2% раствор лакокрасочной композиции

Таким образом, в нейтральных и близких к ним средах происходит окисление алюминиевой поверхности с образованием ионов гидроксония. Исходя из проведенных исследова-

ний, можно утверждать о влиянии коррозионных процессов на зарождение новой олигомерной фазы на металлической поверхности.

Представленный авторами материал, является отправной точкой для изучения механизма автоосаждения на поверхности алюминиевых сплавов и разработки технологии автофореза, адаптированной для строительной индустрии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Румянцева, К.Е. Основы материаловедения [Текст] / К.Е. Румянцева. – Иваново: ИГХТУ, 2010. – 143 с.
2. Тарановский, А.С. Применение строительных алюминиевых конструкций как одно из направлений повышения технического уровня строительства [Текст] / С.В. Тарановского, В.И. Трофимова // Алюминиевые конструкции (проектирование, исследование, изготовление) // Сборник научных трудов. – М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – 1970. – Вып.4. – 163 с.
3. Звездов, А.И. Бетон и железобетон – основа совершенствования строительства в XXI веке [Текст] / А.И. Звездов // Строительство: новые технологии, новое оборудование. – 2006. – №1. – С. 18-19.
4. Синявский, В.С. Коррозионная стойкость напряженных алюминиевых конструкций из алюминиевых сплавов [Текст] / В.С. Синявский, В.Д. Калинин // Защита металлов. – 2007. – Том 43. – № 6. – С. 631-642.
5. Либерман, А.И. Автоосаждение – новый метод получения полимерных покрытий [Текст] / А.И. Либерман. – Л.: Знание, 1983. – 28 с.
6. Верховланцев, В.В. Теоретические основы автоосаждения, как принципа получения лакокрасочных покрытий / В.В. Верховланцев, Г.Н. Веденов, В.В. Бобихадзе и др. // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1980. – №3. – С. 29-32.
7. Румянцева, В.Е. Автоосаждение коррозионно-стойких покрытий на алюминиевые сплавы из раствора олигомера КЧ-0125 [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.17.03: защищена 27.06.1997: утв.10.10.1997 / В.Е. Румянцева. – Иваново, 1997. – 123 с.
8. Ван Кревелин. Свойства и химическое строение полимеров [Текст] / Ван Кревелин. – М.: Химия, 1975. – 512 с.
9. Ромашев, В.В. Новые методы исследования коррозии металлов Ван Кревелин / В.В. Ромашев. – М.: Наука. – 1973. – 220 с.
10. Горшков, В.К. Анодное электроосаждение лакокрасочных материалов на поверхность алюминия и его сплавов [Текст]: Дис. д-ра техн. наук: 05.17.03: защищена 15.06.1986 / В.К. Горшков. – Л., 1985. – 470 с.
11. Котова, А.И. Влияние условий формирования на свойства покрытий, полученных автоосаждением [Текст] / А.И. Котова, В.Г. Дорошенко, А.В. Уваров и др. // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1984. – № 4. – С. 62-64.
12. Румянцева, В.Е. Коррозионное поведение алюминия в водоразбавляемых карбоксилсодержащих полибутадиенах [Текст] / В.Е. Румянцева, В.К. Горшков, Г.Л. Кокурина // Изв. вузов. Хим. и хим. технология. – 1995. – Т. 38. – выпуск 3. – С. 104-108.
13. Жук, Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов. – М.: Металлургия, 1976. – 472 с.
14. Глинка, Н.Л. Общая химия. – Л.: Химия. – 1981. – 636 с.

Федосов Сергей Викторович

ГОУВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново
Заслуженный деятель науки РФ, лауреат премии правительства РФ в области науки и техники, академик РААСН, доктор технических наук, профессор, ректор ГОУВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет»
Тел.: +7 (4932) 32-85-40

Румянцева Варвара Евгеньевна

ГОУВПО «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет», г. Иваново
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Химии и охраны окружающей среды»
Тел.: +7 (4932)37-34-36; 8-906-61-71-784

Уважаемые коллеги!

В Орловском государственном техническом университете издается научный журнал «Строительство и реконструкция», в котором Вы можете опубликовать свои статьи по широкому спектру проблем в следующих областях:

Строительство

- эффективные архитектурно-конструктивные решения зданий и сооружений;
- энергосберегающие технологии в строительном комплексе;
- развитие теории расчета сооружений и элементов строительных конструкций, оснований и фундаментов;
- вопросы безопасности зданий и сооружений;
- строительные технологии, материалы и изделия;
- теория архитектуры и градостроительства;
- архитектурно-строительное проектирование;
- синтез искусств в архитектуре и др.

Журнал открыт для рекламы, оплата – на договорной основе.

Объем статьи, как правило, не должен превышать 7 стр., рекламного объявления – не более 1 стр. Материал принимается в файловом виде: по электронной почте, на дискетах 3,5 дюйма или на CD-диске, выполненный в любом из текстовых редакторов Word, с приложением распечатки. С аспирантов плата за публикацию не взимается.

ОБЯЗАТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ:

- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах формата А4 и содержит от 3 до 7 страниц (заполнение последней страницы – не менее 75 процентов; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию. Объем рекламного объявления не должен превышать 1 страницу).
- Статья предоставляется в 1 экземпляре на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только одна статья одного автора, включая соавторство.
- Статьи должны быть набраны шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу иверху – 2 см.
- Название статьи, а также фамилии и инициалы авторов обязательно дублируются на английском языке.
- К статье прилагается перечень ключевых слов на русском и английском языке.
- В тексте статьи желательно:
 - не применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
 - не применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
 - не применять произвольные словообразования;
 - не применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими государственным стандартам.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

ПОСТРОЕНИЕ СТАТЬИ

- УДК (сверху слева) с абзацным отступом.
- С пропуском одной строки – выровненные по центру страницы и набранные прописными буквами светлым шрифтом прямого начертания инициалы и фамилии авторов (ИВАНОВ И.И.).
- С пропуском одной строки – название статьи, набранное без абзацного отступа прописными буквами полужирным шрифтом 14 pt и расположенное по центру страницы.
- С пропуском одной строки – краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt на русском языке.
- Краткая (не более 10 строк) аннотация, набранная с абзацного отступа курсивным шрифтом 10 pt на английском языке, отделенная от предыдущей аннотации одинарным интервалом.
- Основной текст статьи. Заголовки подразделов набирают с абзацным отступом полужирным шрифтом прописными буквами (размер 12 pt), выравнивание по левому краю. Заголовки и подзаголовки отделяют от основного текста одинарным интервалом сверху.

Пример оформления

УДК 539.4:620.179

МАЛИНИН В.Г.

ДВУХУРОВНЕВЫЙ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЙ ГРАДИЕНТНЫЙ КРИТЕРИЙ РАЗРУШЕНИЯ

На основе системного подхода структурно-аналитической мезомеханики формулируется двухуровневый структурно-механический, градиентный критерий разрушения, позволяющий разработать методики оценки параметров трещиностойкости и учитывающий влияние зон структурных концентраторов на прочность в окрестности макроконцентратора напряжений.

Ключевые слова: критерий разрушения, напряжения, прочность.

On the basis of the system approach structural - analytical mezomechanic it is formed two-level structural - mechanical gradiental criterion of the destruction, allowing to develop techniques of an estimation of parameters crack of resistance and taking into account influence of zones of structural concentrators on durability in a vicinity of the macroconcentrator of stresses.

Keywords: criterion of destruction, a pressure, durability.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Прочностное состояние нагруженного твердого тела находится между хрупким и вязким, различие между которыми в механическом аспекте зависит от вида напряженно-деформированного состояния, истории нагружения, эволюции дефектной структуры и определяется соотношением энергетических затрат на обратимые и необратимые явления деформирования. В связи с этим возникает необходимость рассмотрения прочностного состояния материала в изделиях с макроконцентраторами с учетом влияния структурного состояния на микро- и мезомасштабном уровнях и влияния неоднородности макронапряженного состояния на локальные механические характеристики материала. Поставленную задачу можно решать в рамках градиентного подхода оценки локальной прочности в зоне концентрации напряжений, рассматривая состояние материала по двум критериям с непрерывным переходом из одного в другой.

Таблицы, рисунки, формулы

- Все таблицы, рисунки и основные формулы, приведенные в тексте статьи, должны быть пронумерованы.
- Формулы следует набирать в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 с размерами: обычный шрифт – 12 pt, крупный индекс – 10 pt, мелкий индекс – 8 pt. Формулы, внедренные как изображение, не допускаются! Русские и греческие буквы, а также обозначения тригонометрических функций, набираются прямым шрифтом, латинские буквы – *курсивом*.
- Формулы выравнивают по левому краю страницы с абзацным отступом и нумеруют (только те, на которые приводят ссылки); порядковый номер формулы обозначается арабскими цифрами в круглых скобках около правого поля страницы.
- В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими государственными стандартами. Описание начинается со слова «где» без двоеточия, без аб-

защного отступа; пояснение каждого символа дается в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Единицы измерения даются в соответствии с Международной системой единиц СИ.

• Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют.

Пример оформления формулы в тексте

$$q_1 = (\alpha - 1)^2 \left(1 + \frac{1}{2\alpha}\right) / d, \quad (11)$$

где $\alpha = 1 + 2a/b$ – коэффициент концентрации напряжений; $d=2a$ – размер эллиптического отверстия вдоль опасного сечения.

• Рисунки и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые.

• Если рисунок небольшого размера, желательно его обтекание текстом.

• Подписи к рисункам выравнивают по центру страницы, в конце подписи точка не ставится:

• Пояснительные данные набираются шрифтом 10 pt (курсив, полужирный) и ставят после наименования рисунка.

Пример оформления рисунка в тексте

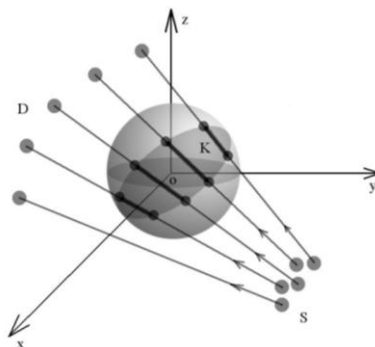


Рисунок 1 – Схема сканирования объекта: S – множество источников; D – множество детекторов; K – множество элементарных объемов тела, через которые прошел луч

• На все таблицы должны быть приведены ссылки в тексте, при ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера.

• Заголовки граф и строк таблицы пишутся с прописной буквы, а подзаголовки – со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставятся. Текст внутри таблицы в зависимости от объема размещаемого материала может быть набран шрифтом меньшего кегля, но не менее 8 pt. Текст в столбцах располагают от левого края либо центрируют.

• Слово «Таблица» размещается по левому краю, после него через тире располагается название таблицы:

Таблица 1 – Текст названия

• Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, нижнюю горизонтальную линию в первой части таблицы не проводят. При переносе части таблицы на другую страницу над ней пишут слово «Продолжение» и указывают номер таблицы: «Продолжение таблицы 1».

• Нумерация граф таблицы арабскими цифрами необходима только в тех случаях, когда в тексте документа имеются ссылки на них, при делении таблицы на части, а также при переносе части таблицы на следующую страницу.

Примеры оформления таблиц в тексте

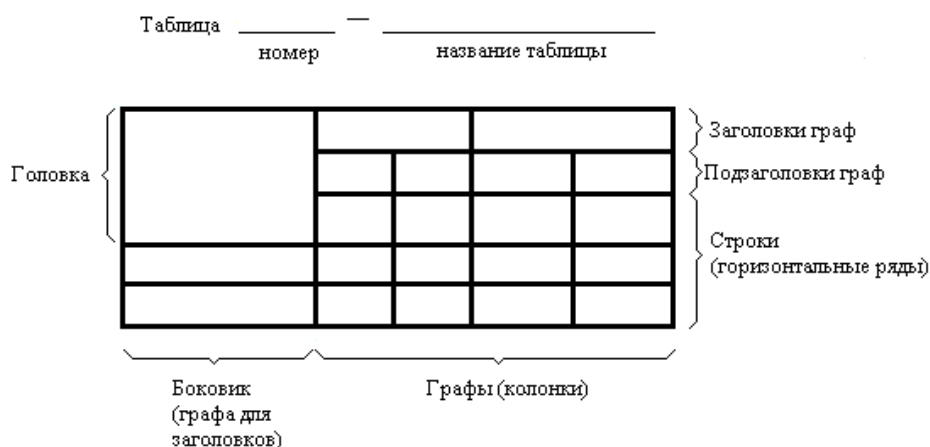


Таблица 1 – Название

Номинальный диаметр резьбы болта, винта, шпильки	Внутренний диаметр шайбы	Толщина шайбы					
		легкой		нормальной		тяжелой	
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
2,0	2,1	0,5	0,8	0,5	0,5	–	–

Список литературы

• Список литературы, набранный обычным шрифтом прямого начертания 10 pt, помещается в конце статьи. Заголовок «СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ» набирается жирным шрифтом 12 pt прописными буквами с выравниванием по центру без абзачного отступа. Литературные ссылки оформляются по ГОСТ 7.1 2003.

Пример оформления списка литературы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валиев, Р.З. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией [Текст] / Р.З. Валиев, И.В. Александров. – М.: Логос, 2000. – 271 с.

Сведения об авторах

• В конце статьи приводятся набранные 10 pt сведения об авторах в такой последовательности: Фамилия, имя, отчество (полужирный шрифт); учреждение или организация, ученая степень, звание, должность, адрес, телефон, электронная почта (обычный шрифт).

Пример оформления сведений об авторах

Константинов Игорь Сергеевич

Тульский государственный технический университет, г. Тула

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции»

Тел.: +7 (4862) 40-96-14

E-mail: konstantinov@mail.ru

Адрес учредителя журнала:
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Орловский государственный технический университет»
302020, г. Орел, ул. Наугорское шоссе, 29
+7 (4862) 42-00-24
www.ostu.ru
E-mail: unpk@ostu.ru

Адрес редакции:
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Орловский государственный технический университет»
302020, г. Орел, ул. Московская, 77.
+7 (4862) 73-43-49
www.ostu.ru
E-mail: oantc@ostu.ru

Технический редактор С.В. Солопов
Компьютерная верстка С.В. Солопов

Подписано в печать 16.08.2010 г.
Формат 70x108 1/16. Печ. л. 4,17.
Тираж 400 экз.
Заказ № _____

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе ОрелГТУ
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.