



Научно-технический журнал  
Издается с 2003 года.

Выходит шесть раз в год.

**№5 (31) 2010**

**(сентябрь-октябрь)**

# 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**

<b>Держак В.Н., Орлович Р.Б.</b> Прочность каменной кладки на срез по перевязанным сечениям.....	3
<b>Кзаков Д.В., Колчунов В.И.</b> Специфика деформирования составных внецентренно сжатых железобетонных конструкций.....	8
<b>Коробко А.В., Прокуров М.Ю., Морозов С.А.</b> Расчет шарнирно опертых трапециевидных пластинок, нагруженных сосредоточенной силой, методом предельного равновесия.....	18
<b>Мигунов В.Н., Овчинников И.И.</b> Экспериментальные исследования влияния профиля, диаметра арматуры и толщины защитного слоя бетона на характеристики коррозионного поражения арматуры в поперечных трещинах железобетонных элементов.....	24
<b>Рощина С.И., Римшин В.И.</b> Экспериментальные исследования клееных армированных деревянных балок при длительном действии нагрузки.....	32

### **Безопасность зданий и сооружений**

<b>Колчунов В.И., Андросова Н.Б.</b> Некоторые предложения к актуализации нормативных документов нового поколения.....	36
--	----

### **Строительные материалы и технологии**

<b>Гнездилова С.А., Носов В.П.</b> Прогнозирование изменения состояния грунтов в процессе эксплуатации автомобильных дорог.....	40
<b>Соломенцев А.Б., Баранов И.А.</b> Оценка влияния стабилизирующих добавок на физико-механические показатели свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона.....	45

### **Биосферосовместимые и развивающие человека города и поселения**

<b>Бондаренко В.М.</b> Экологическая безопасность, капитальный ремонт.....	52
<b>Бондаренко И.А.</b> Проблемы перехода к идеологии создания поселений, совместимых с биосферой Земли.....	56
<b>Бакаева Н.В., Шишкина И.В.</b> Прогнозирование уровня безопасности образовательной среды учреждений высшего профессионального образования.....	60
<b>Ильичев В.А., Колчунов В.И., Гордон В.А., Бруслова В.И.</b> Методика моделирования параметров биосферосовместимости урбанизированных территорий.....	67
<b>Поздняков А.Л.</b> Биосферосовместимые технологии – безальтернативный путь реконструкции городской среды.....	75
<b>Сергейчук О.В.</b> Энергоэффективность зданий – стратегическое направление биосферосовместимых технологий.....	85

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.

**№5 (31) 2010**  
**(September-October)**

# 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 Rossi**»  
**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*

<b>Derkach V.N., Orlovich R.B.</b> Masonry durability in wall bound sections.....	3
<b>Kazakov D.V., Kolchunov V.I.</b> Specificity of strained built-up non-central compressed reinforced concrete structures.....	8
<b>Korobko A.V., Prokurov M.Yu., Morozov S.A.</b> Computation of hinged trapeziform plates loaded with concentrated force by limit equilibrium method.....	18
<b>Migunov V.N., Ovchinnikov I.I.</b> Pilot researches of the effect of profile, steel reinforcement diameter and concrete protective layer thickness on steel reinforcement corrosive damage characteristic in cross cracks of reinforced concrete elements.....	24
<b>Roshchina S.I., Rimshin V.I.</b> Pilot researches of glued laminated beams under sustained load effect.....	32

#### *Building and structure safety*

<b>Kolchunov V.I., Androsova N.B.</b> Some proposals for regulation documentation actualization.....	36
--	----

#### *Construction technologies and materials*

<b>Gnezdilova S.A., Nosov V.P.</b> Forecasting of ground composition changes at highway operation.....	40
<b>Solomentsev A.B., Baranov I.A.</b> Estimate of stabilizing additive effect upon physico-stress-strain properties of crushed rock-mastic asphalt concrete.....	45

#### *Biosphere compatible and developing the person cities and the settlements*

<b>Bondarenko V.M.</b> Ecological safety, overhaul.....	52
<b>Bondarenko I.A.</b> Problems of transition to idea of settlement creation compatible with terrestrial biosphere.....	56
<b>Bakayeva N.V., Shishkina I.V.</b> Safety level forecasting in educational environment of higher professional schools.....	60
<b>Ilyichyov V.A., Kolchunov V.I., Gordon V.A., Brusova V.I.</b> Methods for modeling parameters of biosphere compatibility on urbanized territories.....	67
<b>Pozdnyakov A.L.</b> Biosphere-compatible technologies – non-alternative way to reconstruction of urban environment.....	75
<b>Sergeychuk O.V.</b> Energy effectiveness of buildings – strategic direction of biosphere-compatible technologies.....	85

УДК 693.22

ДЕРКАЧ В.Н., ОРЛОВИЧ Р.Б.

## ПРОЧНОСТЬ КАМЕННОЙ КЛАДКИ НА СРЕЗ ПО ПЕРЕВЯЗАННЫМ СЕЧЕНИЯМ

*Показаны механизмы разрушения каменной кладки при действии сдвигающего усилия поперек горизонтальных растворных швов. Приведены методики экспериментального определения начального сопротивления кладки сдвигу поперек горизонтальных растворных швов, подходы норм различных стран к расчету прочности каменной кладки на срез по перевязанным сечениям. Сформулированы предложения по совершенствованию действующих норм по расчету и проектированию каменных и армокаменных конструкций.*

**Ключевые слова:** каменная кладка, сопротивление сдвигу, сжимающие напряжения.

*Gears of destruction of a masonry are shown at action of shearing effort athwart horizontal mortaring joint. The initial resistance of masonry to shear in a plane athwart mortaring joint experimental definition, approaches of size standards of the various countries techniques in calculation of durability of a masonry on a shear on tied up sectional views are given in article. Offers on perfection of effective standards by calculation and designing stone and reinforced brickwork designs are formulated.*

**Keywords:** masonry, resistance to shear, compression stress.

При работе каменной кладки на срез по перевязанным сечениям, также как и при срезе в плоскости горизонтальных растворных швов, возможны два механизма ее разрушения (рисунок 1):

- разрушение по кривой штрабе;
- срез по линии, проходящей перпендикулярно горизонтальным растворным швам.

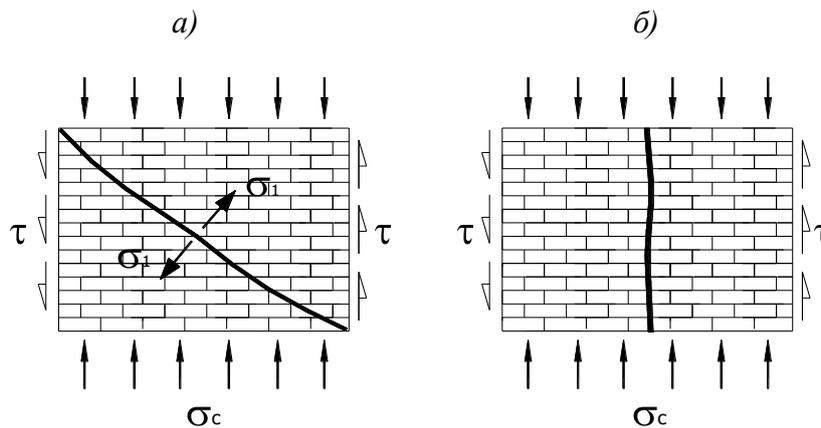


Рисунок 1 – Механизмы разрушения каменной кладки при срезе по перевязанному сечению: а – по кривой штрабе; б – по вертикальному сечению

Косая трещина (см. рисунок 1, а) возникает при разрушении кладки в плоскости перпендикулярной направлению действия главных растягивающих напряжений. Этот случай разрушения характерен для кладок с прочными растворными швами. На возникновение данного механизма разрушения существенное влияние оказывают вертикальные сжимающие напряжения, вызванные действием собственного веса стен и опирающихся на них конструкций.

Разрушение в направлении перпендикулярном горизонтальным растворным швам (см. рисунок 1, б) происходит при слабых растворных швах и низкой прочности кладочных элементов на срез, изгиб и растяжение. Разрушение может произойти по трещине, имеющей идеальное вертикальное направление, а также по зигзагообразной трещине, проходящей по швам и кладочным элементам.

В соответствии с [1] прочность кладки на срез по перевязанным сечениям определяется путем испытаний образцов по схеме, приведенной на рисунке 2.

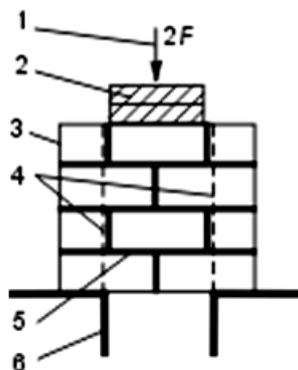


Рисунок 2 – Схема испытаний на срез по перевязанным сечениям:  
1 – нагрузка; 2 – распределительная металлическая пластина; 3 – образец кладки;  
4 – две плоскости среза; 5 – растворный шов; 6 – основание

При данной схеме испытаний в плоскости среза возникают не только касательные напряжения, но и нормальные растягивающие напряжения, действующие перпендикулярно плоскости среза. В связи с этим экспериментальная величина сопротивления кладки срезу оказывается заниженной по сравнению с действительным ее значением. Более достоверные результаты сопротивления кладки срезу по перевязанным сечениям можно получить при испытаниях образцов по схеме, предложенной в работе [2] (рисунок 3). Согласно данной схеме, можно испытывать фрагменты кладки, что позволяет учесть способ перевязки кладочных элементов.

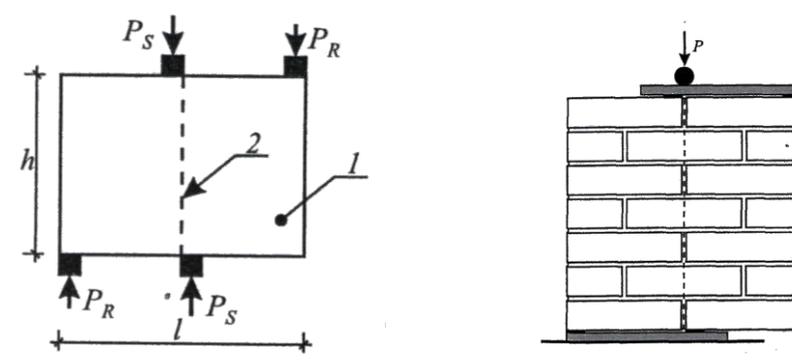
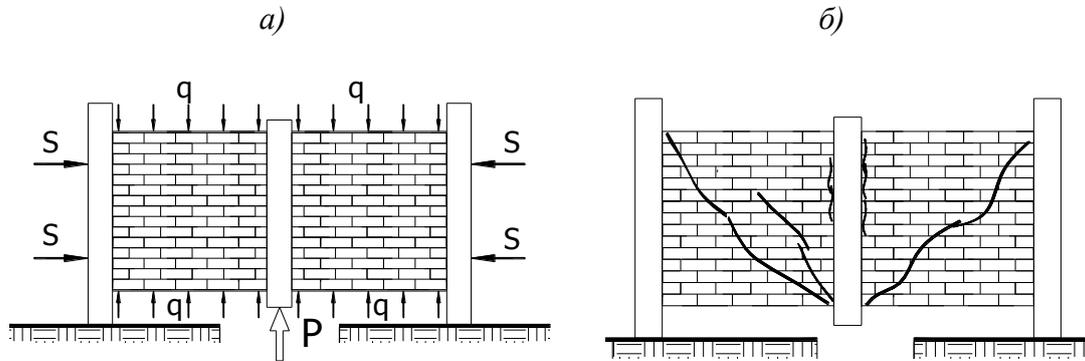


Рисунок 3 – Схема испытаний каменной кладки на срез по перевязанным сечениям, предложенная в работе [3]: 1 – кладочный элемент; 2 – плоскость среза

Впервые исследования прочности кладки на срез по перевязанному сечению с учетом действия сжимающих напряжений были выполнены в работах [3, 4, 5]. Испытаниям подвергались крупномасштабные фрагменты кладки из полнотелого глиняного кирпича, а также блоков из ячеистого бетона на обычных и тонких растворных швах. Схема испытаний образцов, а также характер их разрушения представлены на рисунке 4.

## Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

Во время испытаний варьировался уровень сжимающих напряжений  $\sigma_c$ . При фиксированном уровне сжимающих напряжений образцы кладки доводились до разрушения возрастающей нагрузкой  $P$  (см. рисунок 4). Максимальный уровень  $\sigma_c$  не превышал  $0,07 f_k$  для кладки из полнотелого кирпича,  $0,56 f_k$  – для кладки из ячеистых бетонных блоков на нормальных швах и  $0,4 f_k$  – для тех же блоков на тонких растворных швах ( $f_k$  – прочность кладки при сжатии). Результаты испытаний приведены в таблице 1.



**Рисунок 4 – Испытания кирпичной кладки на срез по перевязанному сечению:**  
*а – схема испытаний; б – характер трещинообразования*

Таблица 1 – Значение напряжений среза в момент трещинообразования и разрушения в зависимости от уровня  $\sigma_c$

Уровень обжатия $\sigma_c$ , МПа	Касательные напряжения в момент образования трещин $\tau_{vcr,mv}$ , МПа	Касательные напряжения в момент разрушения $\tau_{vu,mv}$ , МПа	$\tau_{vu,mv}/\tau_{cr,mv}$
Кладка из полнотелого глиняного кирпича на цементном растворе 1:3			
0,000	0,499	1,160	2,320
0,258	1,142	2,546	2,230
0,387	1,182	2,683	2,270
0,645	1,399	2,963	2,120
Кладка из ячеистых бетонных блоков на цементном растворе 1:3 толщиной 10 мм			
0,000	0,221	0,313	1,420
0,387	0,664	0,777	1,170
0,645	0,762	0,894	1,170
0,903	0,836	0,986	1,180
1,290	0,882	1,072	1,220
2,064	0,984	1,039	1,060
Кладка из ячеистых бетонных блоков на тонких растворных швах			
0,000	0,212	0,274	1,290
0,250	0,282	0,386	1,370
0,450	0,332	0,381	1,150
0,900	0,423	0,614	1,450
1,500	0,509	0,636	1,250

На основании выполненных исследований была получена обобщенная эмпирическая зависимость прочности кладки на срез по перевязанным сечениям (1):

$$f_{vv} = \tau_{vv}(\sigma_c) = \sqrt[3]{\tau_{vv0}^3 + \eta_0 \sigma_c}, \quad (1)$$

где  $\tau_{vv0}$  – начальная прочность на срез при уровне напряжений  $\sigma_c = 0$ ;  $\eta_0$  – эмпирический коэффициент, зависящий от вида камня и растворных швов (для глиняного кирпича  $\eta_0 \approx 4,5$ ; для блоков ячеистого бетона на нормальных швах  $\eta_0 \approx 1,0-1,5$ ; для тех же блоков на тонких растворных швах  $\eta_0 \approx 0,08-0,16$ );  $\sigma_c$  – нормальные сжимающие напряжения.

Графическое изображение зависимости (1) приведено на рисунке 5, а. Областью «В» определяется прочность кладки при срезе со сжатием, областью «А» – при срезе с растяжением (сжимающие и растягивающие напряжения приложены перпендикулярно горизонтальным растворным швам). На рисунке 5, б представлена экспериментальная зависимость « $\tau_{vi} - \sigma_c$ » для образцов кладки на тонких растворных швах. Из ее анализа можно сделать следующие выводы:

- ↑ уровень сжимающих напряжений  $\sigma_c$  существенно повышает прочность каменной кладки при срезе по перевязанным сечениям;
- ↑ исчерпание прочности кладки (I предельное состояние) наступает при напряжениях сдвига  $\tau_{vi, mv}$ , превышающих касательные напряжения возникновения кривой трещины  $\tau_{vcr, mv}$  (II предельное состояние) для кладки из глиняного кирпича в 2,1-2,3 раза, а для кладки из ячеистых бетонных блоков – в 1,06-1,45 раза.

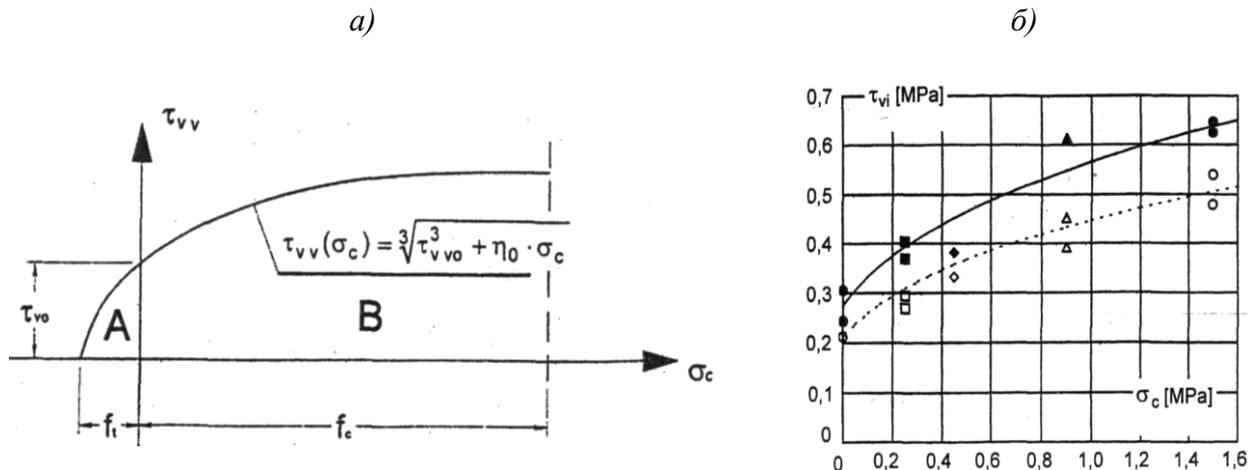


Рисунок 5 – Эмпирические зависимости прочности кладки на сдвиг по перевязанным сечениям с одновременным обжатием перпендикулярно горизонтальным растворным швам: а – обобщенная кривая прочности согласно зависимости (1); б – для кладки из ячеистых бетонных блоков на тонких растворных швах (штриховая линия для стадии трещинообразования, сплошная – для стадии разрушения)

Появление косых трещин в кладке из полнотелого глиняного кирпича не свидетельствует о разрушении конструкции, а лишь о нарушении второго предельного состояния. В то же время для кладки из ячеистых бетонных блоков нагрузка, при которой возникают косые трещины, близка к разрушающей. Данное обстоятельство необходимо учитывать в нормативных документах при назначении частных коэффициентов безопасности по материалу для указанных видов кладок.

В заключении следует отметить, что отечественные нормы [6] не содержат конкретных указаний по учету влияния сжимающих напряжений на сопротивление каменной кладки срезу по перевязанным сечениям, а Еврокод 6 [7] случая разрушения каменной кладки при срезе поперек горизонтальных растворных швов вообще не рассматривает. Это не позволяет

## Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

выполнить адекватную оценку прочности каменной кладки при совместном действии сжимающих усилий и сдвига в направлении перпендикулярном горизонтальным растворным швам, что необходимо учитывать при совершенствовании норм по расчету и проектированию каменных и армокаменных конструкций.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каменные и армокаменные конструкции. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, трещиностойкости и деформативности [Текст]: СТБ 1376-2002. – Введ. 18.12.02. – Минск: МАиС. – 12 с.
2. Malyszko L. Modelowanie zniszczenia w konstrukcyach murowych z uzglednieniem anizotropii. – Olsztyn: UWM. – 2005.
3. Kubica J. Sciany z cegly w zlozonym stanie naprzenia. Rozprawa doktorska. Katedra Konstrukcji Budowlanych. – Politechnika Slaska, Gliwice. – 1996. – 290.
4. Kubica J. Wstepne badania murow z bloczkow z betonu komorkowego poddanych scinaniu ze sciskaniem. Praca BK-273/RB-2/98 wykonana w Katedrze Konstrukcji Budowlanych Politechniki Slaskiej w ramach badan wlasnych. – Gliwice. – 1998. – 146 s.
5. Kubica J. i inni. Badania wytrzymałości na scinanie w kierunku pionowym oraz granicznych wartosci kata odkształcenia postaciowego murow wykonanych z bloczkow typu YTONG. Praca NB-83/RB-2/99 wykonana w Katedrze Konstrukcji Budowlanych Politechniki Slaskiej w ramach badan wlasnych. – Gliwice. – 1999. – 158 s.
6. СНиП II-22-81\*. Каменные и армокаменные конструкции. Госстрой СССР. – М: Стройиздат, 1983. – 40 с.
7. Еврокод 6. Проектирование каменных конструкций. Часть 1-1: Общие правила для армированных и неармированных конструкций [Текст]: СТБ EN 1996-1-1-2008. – Введ. 1.07.2009. – Минск: Госстандарт. – 127 с.

#### **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

КАЗАКОВ Д.В., КОЛЧУНОВ В.И.

## СПЕЦИФИКА ДЕФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВНЫХ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Рассмотрена специфика расчета составных внецентренно сжатых железобетонных конструкций по определению кривизны после появления трещин, когда понятие жесткости исчезает и использование формул теории составных стержней А.Р. Ржаницына вызывает определенные трудности, предложен подход к их устранению. Предложена расчетная схема для раскрытия статической неопределимости ДКЭ с учетом эффекта нарушения сплошности.*

**Ключевые слова:** железобетон, внецентренное сжатие, деформации, кривизна.

*The specificity of calculating the composite eccentrically compressed reinforced concrete structures is dealing to determine the curvature after the appearance of cracks when the notion of rigidity disappears, and the use of formulas in the theory of composite rods, A.R. Rzhantsina causes some difficulties. It was proposed to use a calculating scheme for the disclosure of redundancy DKE taking into account the effect of discontinuity.*

**Keywords:** ferro-concrete, eccentric compression, deformations, curvature.

Составные железобетонные конструкции (усиливаемые при реконструкции зданий и сооружений, сборно-монолитные) стали неотложной потребностью современного строительства. При этом внецентренно сжатые железобетонные конструкции составляют их весьма значительную долю. В условиях внецентренного сжатия находятся колонны одноэтажных производственных зданий, загруженные кранами, колонны многоэтажных зданий, верхние пояса, восходящие раскосы и стойки ферм. К таким конструкциям также относятся стены прямоугольных резервуаров, воспринимающие боковое давление грунта или жидкости и вертикальное давление от перекрытия. Сюда же можно отнести практически все центрально сжатые железобетонные элементы из-за несовершенства геометрических форм элементов конструкций, отклонения их реальных размеров от назначаемых по проекту, неоднородности бетона и др. Обычно центральное сжатие в чистом виде не наблюдается, а происходит внецентренное сжатие с так называемыми случайными эксцентриситетами.

Между тем методика расчета таких конструкций по деформациям практически не разработана, и расчеты выполняются соответствующим приведением к сплошному сечению.

Одной из основных их особенностей является общая работа двух бетонов с разными свойствами прочности и деформативности. Этим определяется ряд специфических параметров расчета и конструирования, связанных с перераспределением внутренних усилий между двумя бетонами.

Отсутствие теоретического обоснования и анализа экспериментальных данных вынудило в свое время отдать предпочтение эмпирическим методам расчета, в том числе по деформациям. В результате нормативные документы и руководства по расчету, как правило, построены на эмпирических зависимостях. Такие зависимости, как известно, пригодны лишь для определенного диапазона изменения параметров, оказывающих влияние на расчет, что требует непрерывного трудоемкого и дорогостоящего экспериментирования.

В последние годы в целях совершенствования расчета железобетонных конструкций все большее внимание уделяется методам механики разрушения, т.к. после появления трещин гипотезы и методы механики сплошной среды уже неприменимы (тем не менее в механике твердого деформируемого тела гипотеза сплошности материала является основной). Вопросы, связанные с исследованием напряженно-деформированного состояния в окрестности трещины, наиболее полно изучены в механике разрушения. До настоящего времени

практически отсутствуют разработки, устанавливающие зависимость традиционных параметров железобетона с характеристиками механики разрушения. Многие связанные с этим эффекты нуждаются в выяснении их физической сути и, в первую очередь, эффект, связанный с нарушением сплошности железобетона.

В железобетонных конструкциях после появления трещин понятие жесткости исчезает и поэтому использование формул строительной механики для расчета перемещений вызывает определенные трудности. Между тем расчет по деформациям все чаще из проверочного становится определяющим, в настоящее время в ведущих научно-исследовательских организациях, таких как ЦНИИСК, НИИЖБ, ЦНИИПромзданий и др., проводится работа по уточнению предельно допустимых прогибов и перемещений строительных конструкций из различных материалов.

Специфика расчета железобетонных конструкций состоит в определении кривизны. Для получения исходного выражения кривизны рассмотрим участок железобетонного элемента с трещинами в растянутой зоне (рисунок 1).

Укорочение бетона в крайнем волокне сжатой зоны на участке длиной  $\frac{l_{cr}}{2}$  равно

$$\Delta l_b = \frac{\varepsilon_{bm} l_{cr}}{2}, \text{ а удлинение арматуры на том же участке} - \Delta l_s = \frac{\varepsilon_{sm} l_{cr}}{2}.$$

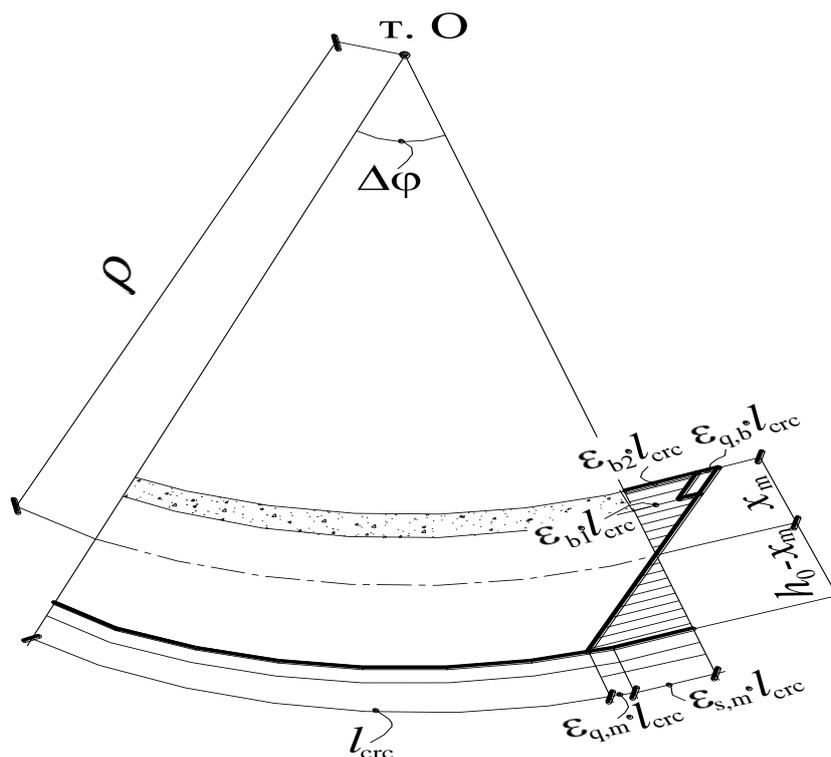


Рисунок 1 – Определение кривизны изогнутой оси составного внецентренно сжатого железобетонного элемента

Через  $\varepsilon_{bm}$  и  $\varepsilon_{sm}$  обозначены средние деформации крайнего сжатого волокна бетона и растянутой арматуры соответственно. Через  $\varepsilon_{gm}$  и  $\varepsilon_{g,b}$  обозначены средние относительные смещения на уровне арматуры и бетона и в шве между бетонами соответственно. Теперь, имея в виду разные знаки деформаций удлинения и укорочения относительно нейтральной оси, можно записать:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon_{b,2} + \varepsilon_{g,b} + \varepsilon_{sm} + \varepsilon_{gm}}{h_0}. \quad (1)$$

Для железобетонных конструкций при наличии трещин кривизна записывается для участков  $l_{crc}$ , поэтому представляется логичным и углы поворота изогнутой оси стержня рассматривать в пределах таких же участков. Это равносильно замене кривой изогнутой оси стержня на ломаную, вписанную в кривую.

Тогда в пределах каждого участка угол поворота можно определить по формуле:

$$\Delta\varphi = \frac{l_{crc}}{\rho} \quad (2)$$

В окрестности вершины трещины из-за нарушения сплошности иной угол поворота  $\varphi_1$ , определяемый из простых геометрических соотношений (рисунок 2):

$$\varphi_1 = \frac{0,5f}{h_1} \geq \Delta\varphi \quad (3)$$

Здесь  $f$ , с одной стороны, может быть определено по методу начальных параметров:

$$f = 0,5a_{crc} + \varphi_2 + \Delta\varphi \frac{t_1}{2} + X_3 \frac{t_1^2}{2B_{\text{ДКЭ}}} + X_1 \frac{t_1^3}{6B_{\text{ДКЭ}}} \quad (4)$$

где параметры  $X_1$  и  $X_3$  приняты в соответствии с работой [1];  $B_{\text{ДКЭ}}$  – жесткость консоли двухконсольного элемента (ДКЭ) с учетом пластических деформаций ( $B_{\text{ДКЭ}} \approx EI_{red}$ ). С другой стороны,  $f$  отыскивается как параметр, равный  $a_{crc}k_r$ , где с помощью  $k_r$  учитывается деформация берегов трещины в соответствии с работой [2 и др.]. Приравняв эти два значения  $f$ , можно уточнить значение параметра  $B_{\text{ДКЭ}}$ .

Проведенный анализ показывает, что заделки двухконсольного элемента при раскрытии трещины поворачиваются на углы  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  соответственно (см. рисунок 2). При этом деформационный угол поворота заделки возле вершины трещины составляет  $\varphi_1 + \Delta\varphi$ .

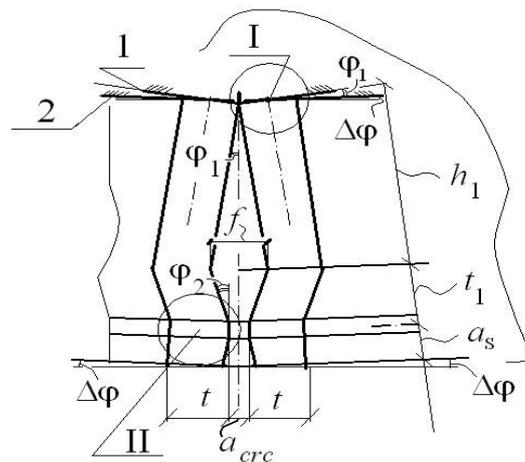


Рисунок 2 – Угловые и линейные перемещения в окрестности трещины

Аналогичный анализ заделки в месте пересечения рабочего арматурного стержня показывает, что деформационный угол поворота заделки (см. рисунок 2) в месте пересечения рабочего арматурного стержня составит  $\varphi_2 - \Delta\varphi$ . Здесь угол поворота  $\varphi_2$  определяется из простых геометрических соотношений:

$$\varphi_2 = \frac{0,5f}{t_1} = \frac{0,5a_{crc}k_r}{t_1} \geq \Delta\varphi \quad (5)$$

Теперь, располагая величинами угловых деформаций в заделках консоли ДКЭ, можно переходить к решению задачи о построении расчетной схемы ДКЭ применительно к внецентренно сжатому железобетонному элементу и раскрытию ее статической неопределимости.

Для тела с трещиной (где нарушается сплошность тела при установлении связи между напряжениями и перемещениями) методы, разработанные в теории упругости, пластичности и сопротивлении материалов, неприменимы. Тем не менее, использование основополагающего метода сечений применительно к материалу с трещинами приносит свои положительные результаты.

Вырезание двухконсольного элемента, включающего трещину, применительно к стержневому железобетонному элементу, имеет свою специфику. Она должна быть увязана не только с задачей определения напряженно-деформированного состояния поперечного сечения железобетонного элемента, но и с задачей распределения сцепления между арматурой и бетоном, т.к. появление трещины в сплошном теле можно рассматривать как некоторое деформационное воздействие, отражающееся на особенностях сцепления арматуры и бетона в зонах, прилегающих к трещине. Двухконсольный элемент используется в качестве связующего звена между зависимостями механики твердого деформируемого тела и механики разрушения.

Изложенные выше соображения были использованы при выделении двухконсольного элемента, приведенного на рисунке 3. Здесь фактическое распределение растягивающих напряжений близко к прямоугольнику (со значением  $\sigma_{bt}$ ). Распределение сжимающих напряжений в этих же сечениях на участках, прилегающих к арматуре, для выполнения практических расчетов принято по треугольнику.

а)

б)

*Рисунок 3 – К реализации зависимостей механики разрушения в железобетоне при внецентренном сжатии: а – характерные эпюры напряжений в растянутом бетоне и вырезание специального ДКЭ в окрестности трещины; б – к расчету податливости консоли*

Для определения неизвестного  $\Delta T$  воспользуемся выражением величины  $\zeta_{bu}$  как функции податливости. Эту функцию найдем из определения скорости высвобождения энергии [2]:

$$\zeta_{bu} = \lim_{\delta A \rightarrow 0} \left( \frac{\delta W - \delta V}{\delta A} \right) = \frac{dW}{dA} - \frac{dV}{dA}, \quad (6)$$

где  $\delta V$  – уменьшение потенциальной энергии тела при продвижении трещины на малое приращение  $\delta A$ ;  $\delta W$  – дополнительная работа, совершаемая над телом при продвижении трещины на малое приращение  $\delta A$ ;  $A$  – площадь образовавшейся поверхности трещины.

Выполнив почленное дифференцирование и сделав алгебраические преобразования, получим нелинейное дифференциальное уравнение [2].

Эта зависимость позволяет найти касательные напряжения в зоне, непосредственно прилегающей к трещине, как функцию от  $h_{crc}, R_{bt}, E_b, t_b, b, I_{can}, \zeta_{bu}$ .

Именно здесь, как показывают экспериментальные и численные [2] исследования, происходит резкое возмущение касательных напряжений, сопровождающееся их скачкообразным увеличением и сменой знака. При этом изменяется знак и на эпюре нормальных напряжений в бетоне (из растягивающих она превращается в сжимающие). Причина заключается в том [2], что после образования трещин сплошность бетона нарушается и его деформирование уже не подчиняется законам сплошного тела. В зонах, прилегающих к трещинам, возникает концентрация деформаций, которая перенасыщает «потребность системы» (состоящей из бетонных блоков и арматуры при заданной статической схеме) в деформациях. Таким образом, в трещинах возникает дополнительное деформационное воздействие, которое и вызывает замеченный в опытах эффект, его необходимо учитывать в расчете.

Касательное усилие  $\Delta T$ , полученное из функционала (6), весьма громоздко и для его практического использования необходимы соответствующие упрощения.

Для железобетонных конструкций характерным является то, что в стадии II трещины практически сразу (т.к. в зоне растягивающих напряжений развитие трещин неустойчиво) развиваются до нейтральной оси, а затем (попав в зону тормозящих сжимающих напряжений) медленно прорастают лишь на несколько миллиметров. В этом случае длину трещины  $h_{crc}$  можно рассматривать как величину постоянную, изменяется лишь раскрытие трещин.

Тогда в вырезанном двухконсольном элементе параметр  $h_{crc}$  является неизменным, и появляется возможность упрощенного определения сдвигающих усилий в зонах, прилегающих к трещине, без использования функционала (6). Здесь можно обойтись использованием обычных методов строительной механики. Тем не менее, построение расчетной схемы для определения усилий в зоне, прилегающей к трещине (аналогичной двухконсольному элементу в механике разрушения), является достаточно сложной задачей. Необходимо учесть кроме распределенной нагрузки интенсивностью  $\sigma_{bt} = \chi R_{bt}$  деформационные воздействия, связанные с раскрытием трещины, а также со спецификой сопротивления бетона в околоарматурной зоне при раскрытии трещины, обусловленные эффектом нарушения сплошности [2].

Здесь деформационные воздействия  $\Delta_2 \dots \Delta_6$  обусловлены раскрытием трещины и относительными перемещениями (см. рисунок 3 и рисунок 4):  $\Delta_2$  обусловлено смещением продольной геометрической оси консоли, вызванным деформациями укорочения от продольной сжимающей силы, приложенной на нейтральной оси, в сечении железобетонного элемента, проходящем по трещине;  $\Delta_3$  и  $\Delta_6$  обусловлены раскрытием трещины на уровне оси арматуры и в месте максимального раскрытия и равны половине (ввиду симметрии) этих значений. Особенности угловых перемещений  $\varphi_1, \varphi_2, \Delta\varphi$  подробно рассмотрены автором в работе [1]. Остальными деформационными воздействиями можно пренебречь.

На основании теоремы о взаимности работ работа сил действительного состояния (см. рисунок 4, в) на перемещения первого единичного состояния (см. рисунок 4, з) равна работе сил первого единичного состояния на перемещениях действительного состояния:

$$X_1 \delta_{11} + X_2 \delta_{21} + X_3 \delta_{31} + A_{P1} = (-\Delta_3 + \Delta_2) - \Delta_2 - h_{crc} \cdot (\varphi_1 + \Delta\varphi). \quad (7)$$

Аналогично могут быть составлены и следующие три уравнения:

$$X_1 \delta_{12} + X_2 \delta_{22} + X_3 \delta_{32} + A_{P2} = +1 \cdot \Delta_6 + \Delta_2 \cdot \Delta_2 - \Delta_{crc} - t_b \cdot \varphi_1 + \Delta\varphi;$$

$$X_1 \delta_{13} + X_2 \delta_{23} + X_3 \delta_{33} + A_{P3} = -1 \cdot \Delta_2 - \Delta\varphi \cdot \Delta_1 + \Delta\varphi;$$

$$X_4 \delta_{44} + A_{P4} = 1 \cdot \Delta_1 \cdot \Delta_2 + (x_{crc} - h_{b,1}) \cdot \Delta\varphi.$$

На основании отмеченного была предложена расчетная схема, приведенная на рисунке 4.

С учетом того, что  $\delta_{21} = \delta_{12}$ ;  $\delta_{31} = \delta_{13}$ ;  $\delta_{32} = \delta_{23}$ ;  $A_{P1} = A_{1P} = 1 \cdot \Delta_{1P}$ ;  $A_{P2} = A_{2P} = 1 \cdot \Delta_{2P}$ ;  $A_{P3} = A_{3P} = 1 \cdot \Delta_{3P}$ ;  $A_{P4} = A_{4P} = 1 \cdot \Delta_{4P}$ , уравнение (7) и три ему аналогичные приобретают обычный вид канонических уравнений метода сил:

$$\begin{cases} X_1\delta_{11} + X_2\delta_{12} + X_3\delta_{13} + \Delta_{1p} - (-\Delta_3 + \Delta_2) + \Delta_2 + h_{crc} \cdot (\varphi_1 + \Delta\varphi) = 0; \\ X_1\delta_{21} + X_2\delta_{22} + X_3\delta_{23} + \Delta_{2p} - (\Delta_6 + \Delta_2) + \Delta_2 + (h_{crc} - t_b) \cdot (\varphi_1 + \Delta\varphi) = 0; \\ X_1\delta_{31} + X_2\delta_{32} + X_3\delta_{33} + \Delta_{3p} + (\varphi_2 - \Delta\varphi) + (\varphi_1 + \Delta\varphi) = 0; \\ X_4\delta_{44} = 1 \cdot \left( \Delta\Gamma_1 \right) - 1 \cdot \Delta_2 + (x_{crc} - h_{b,1}) \cdot \Delta\varphi. \end{cases} \quad (8)$$

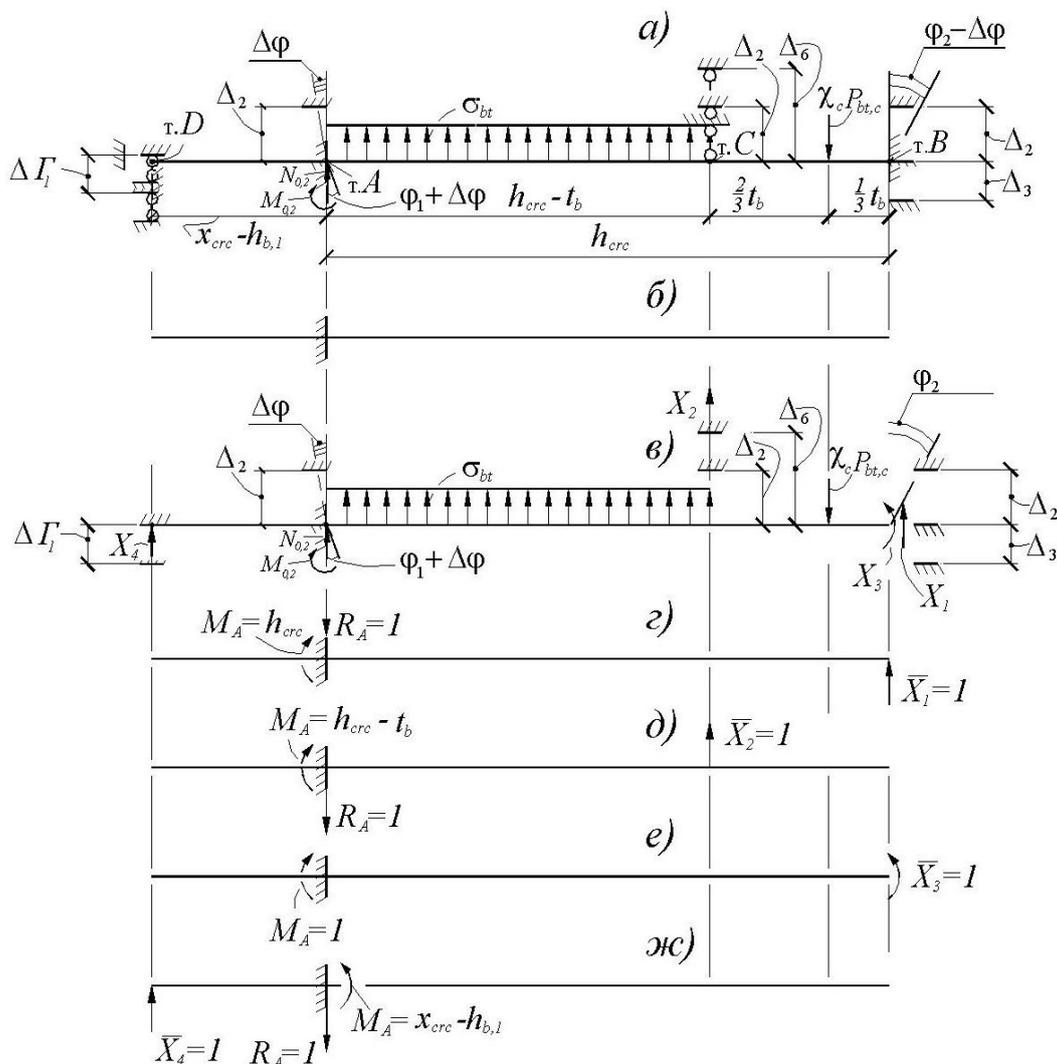


Рисунок 4 – Построение расчетной схемы для раскрытия статической неопределенности ДКЭ при внецентренном сжатии составного железобетонного стержня в зоне, прилегающей к трещине: а – расчетная схема; б – основная система; в – эквивалентная система; г-ж – определение реакций от единичных состояний

Вычисляем коэффициенты при неизвестных (см. рисунок 5):

$$\begin{aligned} \delta_{11} &= \frac{1}{E(\lambda)I_{con}} \frac{1}{3} h_{crc}^3; \quad \delta_{22} = \frac{1}{E(\lambda)I_{con}} \frac{1}{3} (h_{crc} - t_b)^3; \\ \delta_{12} = \delta_{21} &= \frac{1}{E(\lambda)I_{con}} (h_{crc} - t_b)^2 \left( \frac{1}{3} h_{crc} + \frac{1}{6} t_b \right); \quad \delta_{33} = \frac{1}{E(\lambda)I_{con}} h_{crc}; \\ \delta_{13} = \delta_{31} &= \frac{1}{E(\lambda)I_{con}} \frac{1}{2} h_{crc}^2; \quad \delta_{23} = \delta_{32} = -\frac{1}{E(\lambda)I_{con}} \frac{1}{2} (h_{crc} - t_b)^2; \quad \delta_{44} = \frac{1}{3E} \left( \frac{x_{crc} - h_{b,1}}{I_{con}} \right)^3; \\ \Delta_{1p} &= -\frac{1}{E(\lambda)I_{con}} \left[ \frac{\chi R_{bt} b}{24} (h_{crc} - t_b)^3 (3h_{crc} + t_b) - (h_{crc} - \frac{1}{3} t_b)^2 \left( \frac{1}{3} \chi_c P_{bt,c} \right) \cdot \left( h_{crc} + \frac{1}{6} t_b \right) \right]; \end{aligned}$$

$$\Delta_{2p} = -\frac{1}{E(\lambda)I_{con}} \left[ \frac{\chi R_{bt} b}{8} (h_{crc} - t_b)^4 - \frac{1}{3} (h_{crc} - t_b)^2 \chi_c P_{bt,c} \cdot h_{crc} \right];$$

$$\Delta_{3p} = -\frac{1}{E(\lambda)I_{con}} \left[ \frac{\chi R_{bt} b}{6} (h_{crc} - t_b)^3 - \frac{1}{2} \chi_c P_{bt,c} \cdot (h_{crc} + \frac{1}{3} t_b)^2 \right].$$

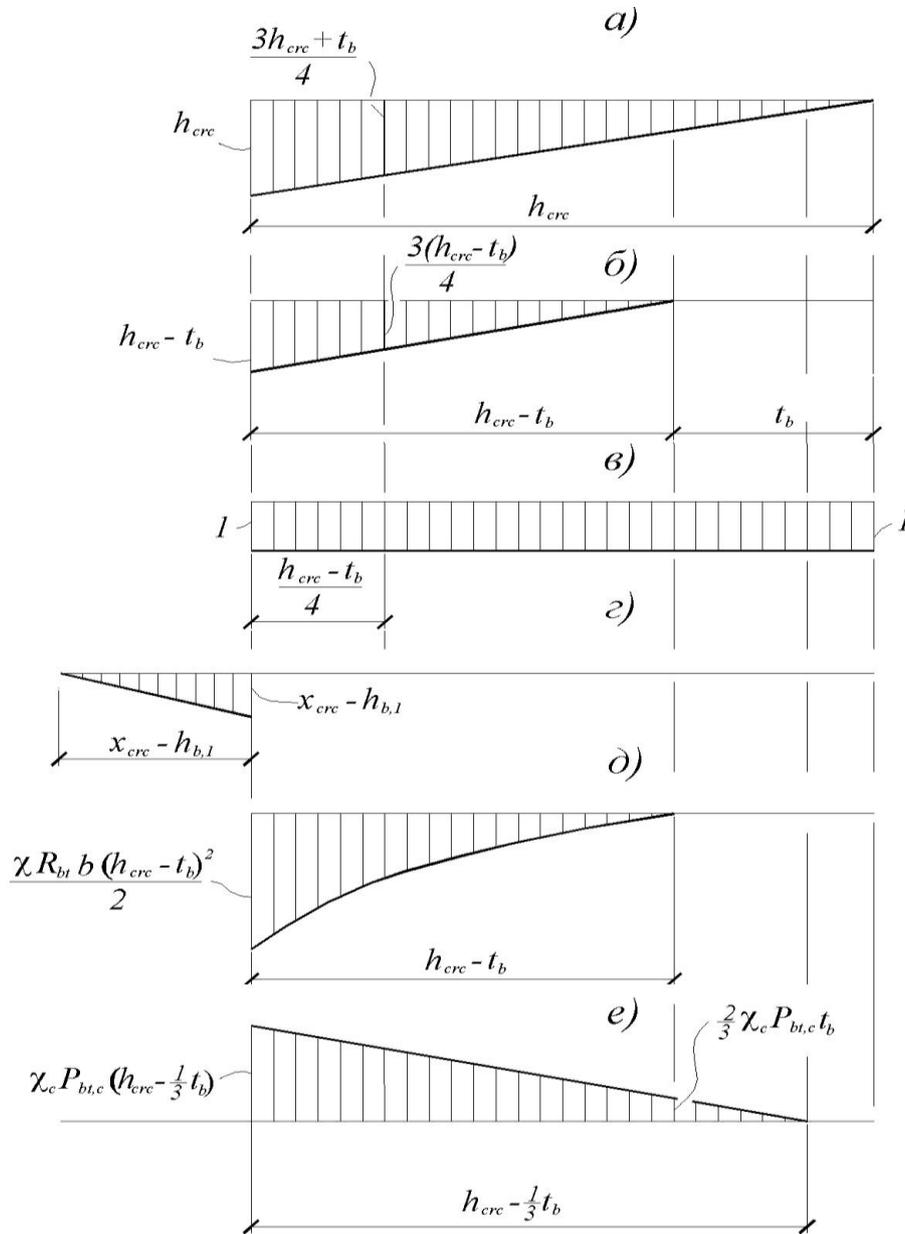


Рисунок 5 – Единичные (а-г) и грузовые (д, е) эпюры

Здесь значение  $\chi$  для практических расчетов принимается равным 0,8.

Подставляя полученные коэффициенты в систему уравнений (8), будем иметь:

$$X_1 \frac{1}{3} h_{crc}^3 + X_2 \cdot (h_{crc} - t_b)^2 \cdot \left( \frac{1}{3} h_{crc} + \frac{1}{6} t_b \right) + X_3 \frac{1}{2} h_{crc}^2 - \frac{\chi \cdot R_{bt} \cdot b}{24} \cdot (h_{crc} - t_b)^3 \times$$

$$\times (3h_{crc} + t_b) - (h_{crc} - \frac{1}{3} t_b)^2 \cdot \left( \frac{1}{3} \chi_c P_{bt,c} \right) \cdot (h_{crc} + \frac{1}{6} t_b) + (\Delta_3 + h_{crc} \cdot (\varphi_1 + \Delta\varphi)) \cdot E(\lambda) \cdot I_{con} = 0; \quad (9)$$

$$X_1 \cdot (h_{crc} - t_b)^2 \cdot \left( \frac{1}{3} h_{crc} + \frac{1}{6} t_b \right) + X_2 \frac{1}{3} \cdot (h_{crc} - t_b)^3 - X_3 \frac{1}{2} \cdot (h_{crc} - t_b)^2 +$$

$$+ \frac{\chi R_{bt} \cdot b}{8} \cdot (h_{crc} - t_b)^4 - \frac{1}{3} (h_{crc} - t_b)^2 \chi_c P_{bt,c} \cdot h_{crc} + ((-\Delta_6 + (h_{crc} - t_b) \cdot (\varphi_1 + \Delta\varphi)) \cdot E I_{con}) = 0; \quad (10)$$

$$X_1 \frac{1}{2} h_{crc}^2 - X_2 \frac{1}{2} \cdot (h_{crc} - t_b)^2 + X_3 h_{crc} + \frac{\chi \cdot R_{bt} \cdot b}{6} \cdot (h_{crc} - t_b)^3 - \frac{1}{2} \chi_c P_{bt,c} (h_{crc} - \frac{1}{3} t_b)^2 + (\varphi_2 + \varphi_1) \cdot E I_{con} = 0. \quad (11)$$

Из уравнения (9) следует:

$$X_3 = X_1 \left(-\frac{2}{3}\right) h_{crc} + X_2 \left(h_{crc} + t_b\right) \cdot \left(\frac{1}{3} h_{crc} + \frac{1}{6} t_b\right) \frac{2}{h_{crc}^2} - A. \quad (12)$$

$$\text{Здесь } A = \frac{\chi R_{bt} b}{12} (h_{crc} - t_b)^3 (3h_{crc} + t_b) \frac{1}{h_{crc}^2} - (h_{crc} - \frac{1}{3} t_b)^2 \cdot \left(\frac{1}{3} \chi_c P_{bt,c}\right) \times \\ \times \left(h_{crc} + \frac{1}{6} t_b\right) \cdot \frac{2}{h_{crc}^2} + \left(\Delta_3 + h_{crc} \cdot (\varphi_1 + \Delta\varphi)\right) E(\lambda) I_{con} \frac{2}{h_{crc}^2}. \quad (13)$$

Из уравнения (10) следует:

$$X_2 = X_1 \left(-\frac{1}{3} h_{crc} - \frac{1}{6} t_b\right) \frac{3}{(h_{crc} - t_b)} + \frac{3}{2} X_3 \frac{1}{(h_{crc} - t_b)} + B. \quad (14)$$

$$\text{Здесь } B = -\frac{3}{8} \chi R_{bt} b \cdot (h_{crc} - t_b) + \frac{\chi_c P_{bt,c} h_{crc}}{(h_{crc} - t_b)} + \frac{3}{(h_{crc} - t_b)} \left(\Delta_6 + (h_{crc} - t_b) \cdot (\varphi_1 + \Delta\varphi)\right) E I_{con}. \quad (15)$$

Из уравнения (11) следует:

$$X_1 = X_2 \left(h_{crc} - t_b\right) \frac{1}{h_{crc}^2} - \frac{2}{h_{crc}} X_3 - C. \quad (16)$$

$$\text{Здесь } C = \frac{\chi R_{bt} b}{6} \left(h_{crc} - t_b\right) \frac{1}{h_{crc}^2} - \chi_c P_{bt,c} \cdot (h_{crc} - \frac{1}{3} t_b)^2 \frac{1}{h_{crc}^2} + (\varphi_2 + \varphi_1) E I_{con} \frac{2}{h_{crc}^2}. \quad (17)$$

Подставляя (16) в (12), получим:

$$X_3 = -X_2 \left(h_{crc} - t_b\right) \frac{2}{3h_{crc}} + \frac{4}{3} X_3 + C \frac{2}{3} h_{crc} - X_2 \left(h_{crc} - t_b\right) \cdot \left(\frac{1}{3} h_{crc} + \frac{1}{6} t_b\right) \frac{2}{h_{crc}^2} - A. \quad (18)$$

$$X_3 = X_2 \cdot A_1 + A_2. \quad (19)$$

$$\text{Здесь } A_1 = 3 \cdot \left(h_{crc} - t_b\right) \cdot \left[2h_{crc} + \left(\frac{1}{3} h_{crc} + \frac{1}{6} t_b\right) \frac{2}{h_{crc}^2}\right]; \quad (20)$$

$$A_2 = 3 \cdot A - 2 \cdot C \cdot h_{crc}. \quad (21)$$

Подставляя (16) и (19) в (14), после алгебраических преобразований получим:

$$X_2 \cdot \left[1 - \left(h_{crc} - t_b\right) \cdot \left(\frac{1}{3} h_{crc} + \frac{1}{6} t_b\right) \frac{3}{h_{crc}^2} + A_1 \frac{6}{h_{crc}} \cdot \left(\frac{1}{3} h_{crc} + \frac{1}{6} t_b\right) \frac{1}{(h_{crc} - t_b)} + A_1 \frac{3}{2} \frac{1}{(h_{crc} - t_b)}\right] = \\ = -A_2 \cdot \frac{3}{2} \frac{1}{(h_{crc} - t_b)} - B - C \cdot \left(\frac{1}{3} h_{crc} - \frac{1}{6} t_b\right) \frac{3}{(h_{crc} - t_b)} - A_2 \frac{6}{h_{crc}} \left(\frac{1}{3} h_{crc} + \frac{1}{6} t_b\right) \frac{1}{(h_{crc} - t_b)}. \quad (22)$$

Обозначим:

$$B_1 = 1 - \left(\frac{1}{3} h_{crc} + \frac{1}{6} t_b\right) \left(h_{crc} - t_b\right) \frac{3}{h_{crc}^2} + A_1 \frac{6}{h_{crc}} \left(\frac{1}{3} h_{crc} + \frac{1}{6} t_b\right) \frac{1}{(h_{crc} - t_b)} + A_1 \frac{3}{2} \frac{1}{(h_{crc} - t_b)}; \quad (23)$$

$$B_2 = -A_2 \frac{3}{2} \frac{1}{(h_{crc} - t_b)} - B - A_2 \frac{6}{h_{crc}} \left(\frac{1}{3} h_{crc} + \frac{1}{6} t_b\right) \frac{1}{(h_{crc} - t_b)} - C \left(\frac{1}{3} h_{crc} - \frac{1}{6} t_b\right) \frac{3}{(h_{crc} - t_b)}. \quad (24)$$

С учетом принятых обозначений будем иметь:

$$X_2 = \frac{B_2}{B_1} \leq 0,5 \cdot R_b \cdot b \cdot t_b. \quad (25)$$

Тогда из (19) следует:

$$X_3 = X_2 \cdot A_1 + A_2 \leq M_s. \quad (26)$$

Из уравнений (20) следует:

$$X_1 = X_2 \left( x_{crc} - t_b \right) \frac{1}{h_{crc}^2} - \frac{2}{h_{crc}} \left( X_2 \cdot A_1 + A_2 \right) - C \leq 0,5 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot t_b \cdot R_b. \quad (27)$$

Из уравнения (8):

$$X_4 = \frac{-\Delta\Gamma_1 - \Delta_2 + (x_{crc} - h_{b,1}) \cdot \Delta\varphi_1}{\delta_{44}}. \quad (28)$$

После подстановки выражения  $\delta_{44}$  в (28) получим:

$$X_4 = \Delta T_b = \frac{3E \left( I_{con} \left( \Delta\Gamma_1 - \Delta_2 + (x_{crc} - h_{b,1}) \cdot \Delta\varphi_1 \right) \right)}{\left( x_{crc} - h_{b,1} \right)^3} \leq \Delta T_{b,R}. \quad (29)$$

Введенные ограничения обеспечивают сохранение физического смысла расчетных параметров (рисунок 3 и рисунок 4). Здесь  $\Delta T$  и  $\Delta T_b$  – сдвигающие силы в зоне, прилегающей к арматурному стержню и к шву между старым и новым бетоном;  $\Delta\Gamma_1$ ,  $\Delta\Gamma_2$  определяются в соответствии со скорректированным ниже решением А.Р. Ржаницына при внецентренном сжатии составного стержня (см. решение А.Р. Ржаницына в работе [3]):

$$\Delta\Gamma_1 = \varepsilon_n \cdot t_* = \left[ -\frac{N_{0,2} + \Delta T_b}{E_{b2} \left( A_{b,2,red} \right)} + \frac{\left( x_{crc} - h_{b,1} \right)}{\rho} \right] \cdot t_*; \quad (30)$$

$$\Delta\Gamma_2 = \varepsilon_e \cdot t_* = \left[ -\frac{N_{0,1} + \Delta T_b}{E_{b1} \left( A_{b,1,red} \right)} + \frac{0,5h_{b,1}}{\rho} \right] \cdot t_*. \quad (31)$$

$$\text{Здесь } \Delta T_b = \tau_m \cdot t_*; \quad (32)$$

$$\tau_m = 0,5 \left( \varepsilon_{max} + \tau_1 \right); \quad (33)$$

$$\tau_1 = \frac{\xi \cdot \Delta}{\lambda} \cdot \frac{sh \lambda \left( 0,5l_{crc} - t_* \right)}{ch \lambda \cdot 0,5l_{crc}}; \quad (34)$$

$$\Delta = -\frac{N_{0,1}}{E_{b,1} \left( A_{b,1} \right)} + \frac{N_{0,2}}{E_{b,2} \left( A_{b,2} \right)} - \frac{\left( x_{crc} - 0,5h_{b,1} \right)}{\rho}; \quad (35)$$

$$\lambda = \sqrt{\xi\gamma} = \sqrt{\xi \left[ \frac{1}{E_{b,1} \left( A_{b,1} \right)} + \frac{1}{E_{b,2} \left( A_{b,2} \right)} \frac{\left( x_{crc} - 0,5h_{b,1} \right)^2}{M \cdot \rho} \right]}, \quad (36)$$

где  $\xi$  – податливость шва (определяется на основании экспериментальных исследований составных призм).

После этого определяем относительные условные взаимные смещения деформаций  $\varepsilon_{q,b}$  в шве:

$$\varepsilon_{q,b} = \frac{\Delta\Gamma_1 + \Delta\Gamma_2}{t_*}. \quad (37)$$

Располагая этими деформациями, переходим к построению расчетного аппарата определения прогибов в составных внецентренно сжатых железобетонных конструкциях.

Таким образом рассмотрена специфика расчета составных внецентренно сжатых железобетонных конструкций по определению кривизны после появления трещин, когда понятие жесткости исчезает, и использование формул теории составных стержней А.Р. Ржаницы-

## Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

на вызывает определенные трудности; предложен подход к их устранению; рассмотрена специфика построения двухконсольного элемента (ДКЭ) в зонах, прилегающих к трещинам применительно к составным внецентренно сжатым железобетонным конструкциям, и предложена расчетная схема для раскрытия статической неопределимости ДКЭ с учетом эффекта нарушения сплошности. Получены уравнения, связывающие искомые расчетные параметры, позволяющие заметно приблизить их действительным значениям.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров, В.С. Определение угловых перемещений в окрестности трещин железобетонных конструкций при внецентренном сжатии [Текст] / В.С. Федоров, Е.В. Шавыкина, В.И. Колчунов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – Воронеж: Воронеж. гос. арх.-строит. универ. – 2008. – №2(10). – С. 23-29.
2. Бондаренко, В.М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона [Текст] / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов. – М.: АСВ, 2004. – 472 с.
3. Ржаницын, А.Р. Составные стержни и пластинки [Текст] / А.Р. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1986. – 316 с.

#### **Казакон Дмитрий Вячеславович**

Орловский государственный технический университет, г. Орел  
Старший преподаватель кафедры «Строительство автомобильных дорог»  
Тел.: +7 (4862) 76-03-72  
E-mail: Dimon2111@yandex.ru

#### **Колчунов Владимир Иванович**

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

## РАСЧЕТ ШАРНИРНО ОПЕРТЫХ ТРАПЕЦИЕВИДНЫХ ПЛАСТИНОК, НАГРУЖЕННЫХ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ СИЛОЙ, МЕТОДОМ ПРЕДЕЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ

*В статье приводится решение задачи по определению разрушающей нагрузки для шарнирно опертых трапециевидных пластинок, нагруженных сосредоточенной силой в точке, лежащей на биссектрисе угла, образованного боковыми сторонами трапеции. Полученные расчетные формулы включают в себя все известные решения для четырехугольных (прямоугольных и параллелограммных) и треугольных пластинок.*

**Ключевые слова:** трапециевидные пластинки, шарнирное опирание, схема разрушения, предельное равновесие, разрушающая нагрузка.

*The article gives the task to determine the breaking load for hinge supported trapezoid plates loaded by concentrated force in a point, lying on bisector corner formed by lateral sides of a trapeze. The received settlement formulas include in itself all known decisions for quadrangular (rectangular and parallelogram) and triangular plates.*

**Keywords:** trapezoid plates, hinge support, the scheme of destruction, limiting balance, breaking load.

Задача предельного равновесия пластинок, нагруженных сосредоточенной силой, подробно исследована в работах А.Р. Ржаницына [1, 2]. В этих работах показано, что для шарнирно опертых многоугольных пластинок с острыми углами реализуется схема разрушения с образованием периферийных криволинейных шарниров текучести, которые выходят на опорный контур под углом  $45^\circ$  и очерчиваются по логарифмической спирали. Если сосредоточенная сила приложена на биссектрисе острого угла пластинки, то эта спираль вырождается в дугу окружности. Используем эти и другие известные из монографий [1, 2] результаты, определяя разрушающую нагрузку для трапециевидных шарнирно опертых пластинок.

Пусть нагрузка в виде сосредоточенной силы лежит на биссектрисе угла, образованного боковыми сторонами трапеции. Это означает, что расстояния от точки приложения силы до боковых сторон трапеции будут равными. В зависимости от параметров трапеции и места приложения нагрузки возможны несколько схем разрушения таких пластинок (рисунок 1).

Исследуем схему разрушения, изображенную на рисунке 1, а. Поскольку в этой схеме сосредоточенная сила в общем случае не лежит на пересечении биссектрис углов при основании трапеции, криволинейный шарнир текучести будет очерчиваться по логарифмической спирали  $r = Ae^{c\varphi}$ , где постоянные  $A$  и  $c$  определяются из условий выхода краевого шарнира текучести на опорный контур. Таких спиралей будет две (для каждого острого угла при основании). Подробная схема расположения шарниров текучести и зон пластичности в трапециевидной пластинке общего вида у острого угла приведена на рисунке 2.

Воспользуемся методикой определения разрушающей нагрузки, разработанной в статье [3] для параллелограммных пластинок.

Из дифференциальной геометрии известно, что для логарифмической спирали  $EF$  угол  $\psi$  между касательной, проведенной к любой ее точке, и радиус-вектором есть величина постоянная, определяемая из выражения:

$$r'/r = \operatorname{ctg}\psi = c. \quad (1)$$

Поскольку углы при основании трапециевидной пластинки в общем случае не равны ( $\alpha_1 \neq \alpha_2$ ), необходимо рассматривать две спирали:  $r_1 = A_1 e^{c_1 \varphi}$  и  $r_2 = A_2 e^{c_2 \varphi}$ . Тогда  $r'_1/r_1 = \operatorname{ctg}\psi_1 = c_1$  и  $r'_2/r_2 = \operatorname{ctg}\psi_2 = c_2$ .

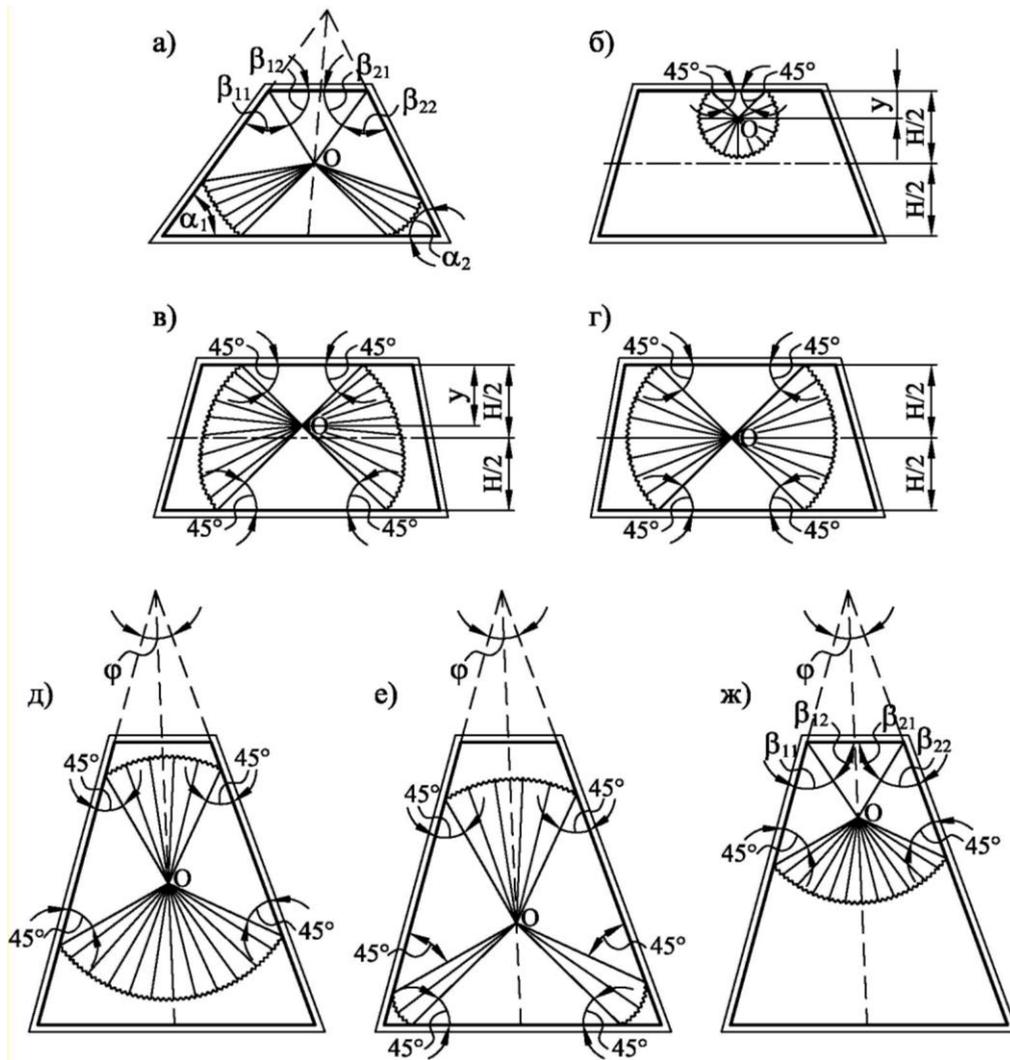


Рисунок 1 – Схемы разрушения трапецевидных шарнирно опертых пластинок, нагруженных сосредоточенной силой, расположенной на биссектрисе угла, образованного боковыми сторонами трапеции

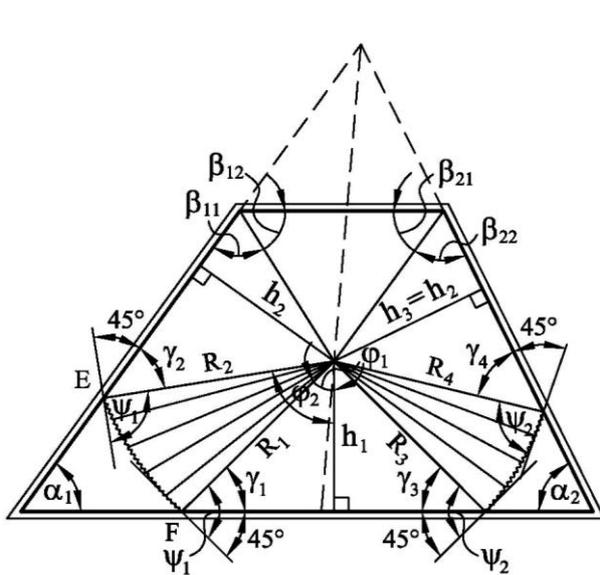


Рисунок 2 – Расположение шарниров текучести в трапецевидной пластинке у острого угла

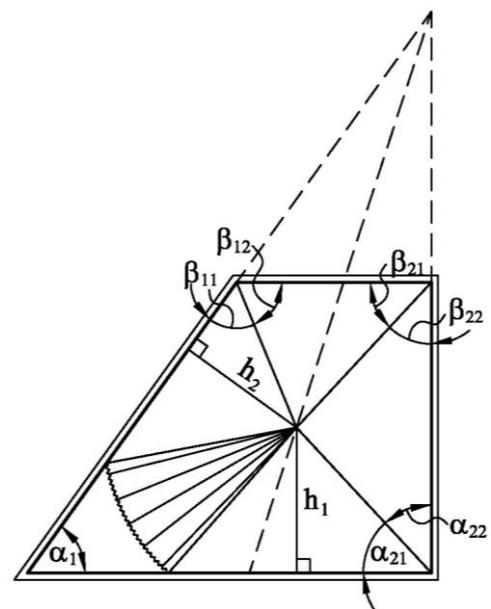


Рисунок 3 – Схема разрушения пластинки в виде прямоугольной трапеции

Используя рисунок 2, запишем очевидные зависимости:

$$R_1 = \frac{h_1}{\sin(\varphi_1 - \pi/4)}; R_2 = \frac{h_2}{\cos(\varphi_1 - \pi/4)}; \frac{R_1}{R_2} = \frac{h_1}{h_2} \cdot \frac{1+c_1}{1-c_1}. \quad (2)$$

В то же время из уравнения спирали следует:

$$R_1 = A_1 e^{c_1 \varphi_1}, R_2 = A_1 e^{c_1 \varphi_2} \text{ и } R_1/R_2 = e^{c_1(\varphi_1 - \varphi_2)}.$$

Из рисунка 2 нетрудно найти связь между углами  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ :  $\varphi_2 = \varphi_1 + \pi/2 - \alpha_1$ . Тогда

$$R_1/R_2 = e^{-c_1(\pi/2 - \alpha_1)}. \quad (3)$$

Приравняв правые части выражений (2) и (3), получим:

$$\frac{1+c_1}{1-c_1} e^{c_1(\pi/2 - \alpha_1)} = \frac{h_2}{h_1}. \quad (4)$$

Из этого трансцендентного уравнения в зависимости от соотношения высот трапеции и величины угла  $\alpha_1$  можно найти значение параметра  $c_1$ .

Аналогично этому для второго угла трапециевидной пластинки получим:

$$\frac{1+c_2}{1-c_2} e^{c_2(\pi/2 - \alpha_2)} = \frac{h_2}{h_1}. \quad (5)$$

Часть разрушающей нагрузки для пластинки, приходящейся на образование зоны пластичности в окрестности острого угла  $\alpha_1$ , как показано в работе [3], найдем из выражения:

$$\Delta P_{\text{разр}} = m_T \left[ 2 \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \left( 1 + \frac{r_1'^2}{r_1^2} \right) d\varphi + \text{ctg}\gamma_1 + \text{ctg}\gamma_2 \right] = 2m_T \left[ \left( 1 + c_1^2 \right) \left( \frac{\pi}{2} - \alpha_1 \right) + \frac{1+c_1^2}{1-c_1^2} \right]. \quad (6)$$

Аналогично для угла  $\alpha_2$ :

$$\Delta P_{\text{разр}} = 2m_T \left[ \left( 1 + c_2^2 \right) \left( \frac{\pi}{2} - \alpha_2 \right) + \frac{1+c_2^2}{1-c_2^2} \right]. \quad (7)$$

С учетом выражений (6) и (7) найдем полную разрушающую нагрузку:

$$P_{\text{разр}} = m_T \left[ 2 \left( 1 + c_1^2 \right) \left( \frac{\pi}{2} - \alpha_1 \right) + 2 \left( 1 + c_2^2 \right) \left( \frac{\pi}{2} - \alpha_2 \right) + 2 \cdot \frac{1+c_1^2}{1-c_1^2} + 2 \cdot \frac{1+c_2^2}{1-c_2^2} + \text{ctg}\beta_{11} + \text{ctg}\beta_{12} + \text{ctg}\beta_{21} + \text{ctg}\beta_{22} \right]. \quad (8)$$

В этом выражении значения функций  $\text{ctg}\beta_{ij}$  можно выразить через углы  $\alpha_i$ . Однако при этом получается очень громоздкая формула.

При выполнении практических расчетов необходимо найти высоты  $h_1$  и  $h_2$ , по формулам (4) и (5) вычислить значения параметров  $c_1$  и  $c_2$ , определить значения углов  $\beta_{ij}$  и подставить все эти величины в выражение (8).

Для пластинки в виде равнобедренной трапеции ( $c_1 = c_2 = c$ ,  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ ,  $\beta_{11} = \beta_{12} = \beta_{21} = \beta_{22}$ ) из выражения (8) получим:

$$P_{\text{разр}} = 2m_T \left[ 2 \left( 1 + c^2 \right) \left( \frac{\pi}{2} - \alpha \right) + 2 \cdot \frac{1+c^2}{1-c^2} + \text{ctg}\beta_{11} + \text{ctg}\beta_{12} \right]. \quad (9)$$

Для пластинки в виде прямоугольной трапеции (рисунок 3) с учетом выражения (6) найдем:

$$P_{\text{разр}} = m_T \left[ 2 \left( 1 + c_1^2 \right) \left( \frac{\pi}{2} - \alpha_1 \right) + 2 \cdot \frac{1+c_1^2}{1-c_1^2} + \text{ctg}\beta_{11} + \text{ctg}\beta_{12} + \text{ctg}\beta_{21} + \text{ctg}\beta_{22} + \text{ctg}\alpha_{21} + \text{ctg}\alpha_{22} \right]. \quad (10)$$

Следует иметь в виду, что для вытянутых трапециевидных пластинок, как и для прямоугольных, в зависимости от точки приложения сосредоточенной силы возможны схемы разрушения, представленные на рисунках 1, б-г. Как известно [1], схеме б соответствует

$$P_{\text{разр}} = 11,425m_T, \text{ схеме } z - P_{\text{разр}} = 10,283m_T, \text{ а схеме } в - P_{\text{разр}} = 2m_T \left( +c^2 \left( \frac{2}{1-c^2} + \pi \right) \right), \quad (11)$$

где  $\frac{H-y}{y} \cdot \frac{1-c}{1+c} = e^{c\pi/2}$ .

Схема *в* переходит в схему *z*, когда точка приложения сосредоточенной силы находится в середине высоты трапеции, а в схему *б*, когда  $y \leq 0,2689H$ .

Для определения параметров трапеций, удовлетворяющих указанным граничным условиям, необходимо выражения (8)...(10) приравнять соответствующим значениям разрушающей нагрузки. Например, для пластинок в виде равнобедренной трапеции, нагруженных посередине высоты сосредоточенной силой, будем иметь:

$$2 \left[ 2 \left( +c^2 \left( \frac{\pi}{2} - \alpha \right) \right) + 2 \cdot \frac{1+c^2}{1-c^2} + \text{ctg}\beta_{11} + \text{ctg}\beta_{12} \right] \leq 10,283,$$

откуда  $\left( +c^2 \left( \frac{\pi}{2} - \alpha \right) \right) + \frac{1+c^2}{1-c^2} = \frac{5,142 - \text{ctg}\beta_{11} - \text{ctg}\beta_{12}}{2}$ . (12)

Подставляя в это трансцендентное уравнение значения углов  $\alpha$ ,  $\beta_{11}$ ,  $\beta_{12}$ , найдем  $c$ , а далее по формуле (4) –  $\xi = h_2/h_1$ . Аналогично поступают при нахождении параметров для других схем разрушения пластинок.

Для высоких трапециевидных пластинок, нагруженных сосредоточенной силой, приложенной на биссектрисе угла, образованного боковыми сторонами, возможны схемы разрушения, изображенные на рисунках 1, *д-ж*. Как известно [1], схеме *д* соответствует  $P_{\text{разр}} = 10,283m_T$ . Для нахождения разрушающей нагрузки для схемы *е* необходимо в выражении (8) исключить члены, содержащие  $\text{ctg}\beta_{ij}$ , и прибавить два члена, структура которых аналогична первым двум парам членов этого же выражения (при этом следует иметь в виду, что  $c_3 = 0$ ):

$$P_{\text{разр}} = m_T \left[ 2 \left( +c_1^2 \left( \frac{\pi}{2} - \alpha_1 \right) \right) + 2 \cdot \frac{1+c_1^2}{1-c_1^2} + 2 \left( +c_2^2 \left( \frac{\pi}{2} - \alpha_2 \right) \right) + 2 \cdot \frac{1+c_2^2}{1-c_2^2} + 2 \left( \frac{\pi}{2} - \varphi \right) + 2 \right], \quad (13)$$

где  $\varphi$  – угол, образованный боковыми сторонами трапеции.

Поступая аналогично, запишем формулу для определения  $P_{\text{разр}}$ , соответствующей схеме *ж*:

$$P_{\text{разр}} = m_T \left[ 2 \left( \frac{\pi}{2} + \varphi \right) + 2 + \text{ctg}\beta_{11} + \text{ctg}\beta_{12} + \text{ctg}\beta_{21} + \text{ctg}\beta_{22} \right]. \quad (14)$$

Как следует из вышеизложенного, величина разрушающей нагрузки зависит от координат точки приложения сосредоточенной силы  $P$ . Представляет интерес задача определения координат, которые обеспечивают разрушающей нагрузке минимальное значение. В качестве таких могут служить высоты  $h_1$  и  $h_2$  в случае приложения силы на биссектрисе угла, образованного боковыми сторонами трапеции, а также координаты  $h_3$  в общем случае расположения сосредоточенной силы. Эти высоты в неявном виде входят в выражения (8)...(10). Прямая минимизация функционалов (8)...(10) по этим параметрам невозможна, поэтому к анализу закономерностей изменения  $P_{\text{разр}}$  для трапециевидных пластинок следует подходить, используя численные решения.

Рассмотрим частный случай трапециевидной пластинки, когда все ее стороны касаются вписанной окружности, а точка приложения сосредоточенной силы совпадает с центром этой окружности, т.е. с точкой пересечения биссектрис всех углов трапеции. В этом случае  $h_1 = h_2 = H/2$ ,  $c_1 = c_2 = 0$  и из выражения (8) получим:

$$P_{\text{разр}} = 2m_T \left[ \left( \frac{\pi}{2} - \alpha_1 \right) + \left( \frac{\pi}{2} - \alpha_2 \right) + 2 + \text{ctg} \frac{\beta_1}{2} + \text{ctg} \frac{\beta_2}{2} \right]. \quad (15)$$

Для пластинки в виде равнобедренной трапеции ( $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ ,  $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ ) из этого выражения найдем:

$$P_{\text{разр}} = 4m_T \left[ \left( \frac{\pi}{2} - \alpha \right) + 1 + \text{tg} \frac{\alpha}{2} \right], \quad (16)$$

что в точности соответствует результату, полученному в статье [3] для ромбической шарнирно опертой пластинки, нагруженной в ее центре сосредоточенной силой  $P$ .

Частными случаями трапеций являются прямоугольники и треугольники. Для прямоугольных пластинок ( $\alpha_1 = \alpha_2 = \pi/2$ ), нагруженных в центре сосредоточенной силой, могут быть две схемы разрушения, рассмотренные в работе [1]:

1) если шарниры текучести из центра направлены в углы полигона (рисунок 4, а), то в выражении (8) необходимо убрать члены, содержащие параметры  $c$ , и удвоить члены, содержащие котангенсы углов:

$$P_{\text{разр}} = 2m_T \left[ \text{tg}\beta_{11} + \text{ctg}\beta_{12} + \text{ctg}\beta_{21} + \text{ctg}\beta_{22} \right] = 4m_T \left[ \text{tg}\beta_1 + \text{ctg}\beta_2 \right]; \quad (17)$$

2) если образуется схема разрушения, представленная на рисунке 4, б, то:

$$P_{\text{разр}} = 10,283m_T. \quad (18)$$

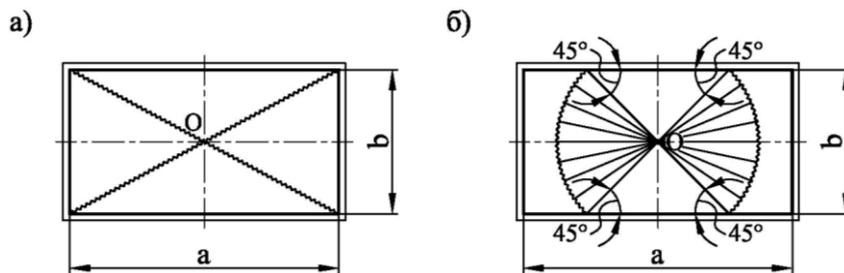


Рисунок 4 – Схемы разрушения прямоугольных шарнирно опертых пластинок, нагруженных сосредоточенной силой в центре

Для пластинок в виде тупоугольного треугольника с нагрузкой в центре (рисунок 5, а):

$$P_{\text{разр}} = m_T \left[ 2 \left( \frac{\pi}{2} - \alpha \right) + 2 \left( \frac{\pi}{2} - \gamma \right) + 4 + 2 \text{ctg} \frac{\beta}{2} \right] = m_T \left( 2\beta + 4 + 2 \text{ctg} \frac{\beta}{2} \right); \quad (19)$$

для пластинок в виде остроугольного треугольника с нагрузкой в центре (рисунок 5, б) ( $c_1 = c_2 = c_3 = 0$ ) в формуле (8) вместо суммы котангенсов следует ввести третью пару слагаемых по аналогии с углами  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ :

$$P_{\text{разр}} = m_T \left[ 2 \left( \frac{\pi}{2} - \alpha \right) + 2 \left( \frac{\pi}{2} - \beta \right) + 2 \left( \frac{\pi}{2} - \gamma \right) + 6 \right] = m_T \left[ \pi - 2(\alpha + \beta + \gamma) + 6 \right] = m_T \left[ \pi + 6 \right] = 9,142m_T = \text{const}. \quad (20)$$

Любая трапеция может быть получена из соответствующего прямоугольника путем поворота его боковых сторон относительно вершин нижнего основания; из любой трапеции можно получить треугольник также путем поворота ее боковых сторон. Таким образом, все множество трапеций заключено между прямоугольниками и треугольниками. Очевидно, что и все множество минимально возможных разрушающих нагрузок будет лежать между соответствующими решениями для прямоугольных и треугольных пластинок. С учетом сказанного, комбинируя выражения (17)...(20), получим двустороннее неравенство:

$$\left. \begin{matrix} 9,142m_T, \\ m_T \left( 2\beta + 4 + 2 \text{ctg} \frac{\beta}{2} \right) \end{matrix} \right\} \leq P_{\text{разр}} \leq \left. \begin{matrix} 4m_T \left( \frac{b}{a} + \frac{a}{b} \right) \text{ при } \xi = a/b \leq 2,093, \\ 10,283m_T \text{ при } \xi = a/b \geq 2,093. \end{matrix} \right\} \quad (21)$$

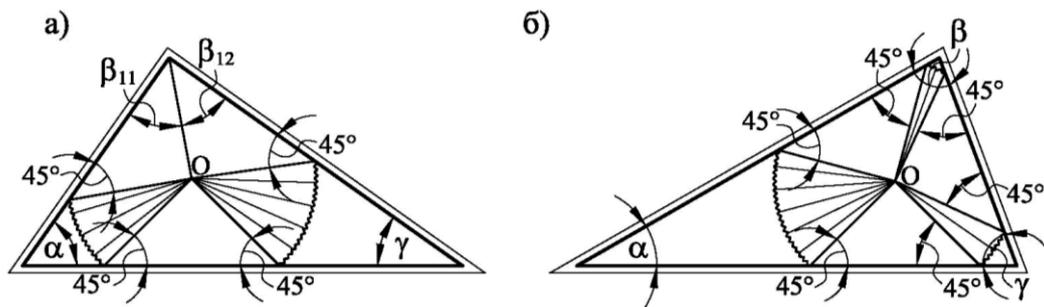


Рисунок 5 – Схемы разрушения шарнирно опертых пластинок в виде тупоугольного и остроугольного треугольников, нагруженных сосредоточенной силой в центре

Здесь левое верхнее неравенство обращается в равенство, если при указанном геометрическом преобразовании заданная трапеция преобразуется в остроугольный треугольник; левое нижнее неравенство обращается в равенство, если заданная трапеция преобразуется в тупоугольный или прямоугольный треугольники; правое верхнее неравенство обращается в равенство, если заданная трапеция преобразуется в прямоугольник, у которого  $\xi \leq 2,093$ ; правое нижнее неравенство обращается в равенство, если заданная трапеция преобразуется в прямоугольник, у которого  $\xi \geq 2,093$ .

Указанные границы  $P_{\text{разр}}$  образуют довольно узкую область. С их помощью можно элементарно просто получать двустороннюю оценку  $P_{\text{разр}}$  с удовлетворительной точностью, не прибегая к анализу схем разрушения пластинок. Более точные оценки можно получить, используя прием интерполяции границ на внутреннее множество значений  $P_{\text{разр}}$  по коэффициенту формы области, предложенному в работе [4]. Этот вопрос будет изложен подробно в последующих работах авторов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ржаницын, А.Р. Расчет сооружений с учетом пластических свойств материалов [Текст] / А.Р. Ржаницын. – М.: Гос. изд. лит. по стр. и арх., 1954. – 287 с.
2. Ржаницын, А.Р. Предельное равновесие пластинок и оболочек [Текст] / А.Р. Ржаницын. – М.: Наука, 1983. – 288 с.
3. Коробко, А.В. Расчет шарнирно опертых параллелограммных пластинок, нагруженных в центре сосредоточенной силой, методом предельного равновесия [Текст] / А.В. Коробко, М.Ю. Прокуров, С.А. Морозов. // Строительство и реконструкция. – Орел: ОрелГТУ. – 2010. – №3. – С. 22-26.
4. Коробко, А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости [Текст] / А.В. Коробко. – М.: АСВ, 1999. – 304 с.

### Коробко Андрей Викторович

Орловский государственный технический университет, г. Орел  
 Доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретическая и прикладная механика»  
 Тел.: +7 (4862) 73-43-95  
 E-mail: center\_epb@mail.ru

### Прокуров Максим Юрьевич

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, г. Брянск  
 Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции»  
 Тел.: +7 (4862) 73-43-95  
 E-mail: m.prokuroff@mail.ru

### Морозов Станислав Александрович

Орловский государственный технический университет, г. Орел  
 Аспирант кафедры «Строительные конструкции и материалы»  
 Тел.: +7 (4862) 73-43-95  
 E-mail: morozov\_stas\_57@mail.ru

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРОФИЛЯ, ДИАМЕТРА АРМАТУРЫ И ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КОРРОЗИОННОГО ПОРАЖЕНИЯ АРМАТУРЫ В ПОПЕРЕЧНЫХ ТРЕЩИНАХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*Представлена методика и результаты длительных экспериментальных исследований коррозии арматуры классов А-I и А-III в поперечных трещинах железобетонных элементов при воздействии на них растворов, содержащих хлорид-ионы.*

**Ключевые слова:** *коррозия арматуры, железобетонные конструкции, продольные трещины, долговечность, поперечные трещины, арматура гладкого и периодического профиля, хлорид-ионы.*

*Presented method and results of long-term experimental studies of corrosion of reinforcement classes A-I and A-III in the transverse cracks reinforced concrete elements exposed to solutions containing chloride-ions.*

**Keywords:** *corrosion of reinforcement, conventional reinforced concrete structures, longitudinal cracks, durability, transverse cracks, fitting a smooth and periodic profile, chloride-ions.*

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Фактическая долговечность железобетонных конструкций, испытывающих воздействие жидких агрессивных сред с хлорид-ионами, определяется уровнем коррозионного поражения арматуры в поперечных трещинах бетона. В нормативных документах [1] по степени допустимой коррозионной опасности в поперечных трещинах бетона арматура гладкого и периодического профиля, соответственно классов А-I и А-III, располагается в одной первой группе. Этими нормами предусматривается ограничение ширины раскрытия поперечных трещин ( $a_{crc}^H$ ) на поверхности железобетонных конструкций с толщиной защитного слоя бетона  $\delta_{зс}=25$  мм [1].

Вместе с тем имеющиеся научные данные свидетельствуют, что в железобетонных конструкциях при равной ширине раскрытия трещин на поверхности защитного слоя бетона ( $a_{crc}$ ) величина раскрытия трещин непосредственно на поверхности арматуры периодического профиля ( $a_m$ ) примерно в три раза меньше, чем на поверхности гладкого стержня при аналогичных напряжениях в них [2].

С учетом этого фактора возникает необходимость научного экспериментального обоснования нормативных значений ширины раскрытия трещин ( $a_{crc}^H$ ) для арматуры этих классов, в частности для жидкой агрессивной среды, содержащей хлорид-ионы.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведение длительных экспериментальных исследований включает в себя методическое обоснование следующих научных положений.

1. Обоснование концентрации хлорид-ионов в рабочем растворе, который по степени агрессивности к коррозионному поражению арматуры в поперечных трещинах бетона соответствовал бы сильно агрессивной жидкой среде.

2. Выбор геометрических, технологических и конструктивных параметров железобетонных образцов, моделирующих типовые железобетонные конструкции.

3. Выбор нагружающих устройств для экспериментальных образцов, позволяющих получать фиксированную величину  $a_{crc}$  в течение длительного периода испытания.

4. Разработка методики определения  $a_{crc}$  на поверхности защитного слоя бетона с необходимой точностью.
5. Разработка методики определения уменьшения диаметра арматурного стержня при язвенной коррозии на поверхности арматуры.
6. Использование метода статистической обработки результатов экспериментальных исследований.

### ПРОЦЕСС ИССЛЕДОВАНИЯ

Выбор сильноагрессивного рабочего водного раствора, содержащего хлорид-ионы, для изучения коррозии арматуры в трещинах бетона был произведен с учетом имеющихся научных данных. Они показывают, что раствор с содержанием хлорид-ионов 7,1 г/л является сильноагрессивным по отношению к арматуре в трещинах бетона с  $a_{crc}=0,20$  мм и дает коэффициент ускорения коррозии арматуры  $K_k=10$ . Для эксперимента был принят 3% раствор NaCl по концентрации хлорид-ионов  $Cl^- = 18,2$  г/л, имитирующий морскую воду [3, 4].

По степени опасности коррозионного поражения арматуры в трещинах бетона периодическое воздействие жидкой агрессивной среды является наиболее неблагоприятным с точки зрения влияния на долговечность железобетонных элементов. Поэтому эксперимент проводился в атмосферных условиях с дополнительным двукратным в сутки увлажнением поверхности образцов 3% раствором хлористого натрия [4, 5].

По своим геометрическим, технологическим и конструктивным характеристикам опытные образцы являются моделями типовых железобетонных конструкций. Экспериментальные исследования проводились на железобетонных балках с размерами  $2000 \times 200 \times 70$  мм из бетона класса В30. Каждый образец был армирован одним рабочим стержнем соответствующего класса А-I или А-III. Для получения независимых экспериментальных характеристик коррозионного поражения арматуры в поперечных трещинах зона чистого изгиба образцов была освобождена от поперечной арматуры.

Бетон приготавливался на портландцементе марки 300 и гранитном щебне фракции 5-10 мм с водоцементным отношением В/Ц=0,5. Эффективный коэффициент диффузии  $CO_2$  в бетоне составлял  $0,53 \times 10^{-4}$  см<sup>2</sup>/с [6]. Физико-технические характеристики железобетонных образцов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-технические характеристики железобетонных образцов

$\Sigma n$ , шт.	$T$ (шт.), $\varnothing$ (мм), $K$	$\delta_{zc}$ , мм	$\mu$ , %	$\ell_{crc}^p$ , мм	$a_{crc}^{max}$ , мм
23	1 $\varnothing$ 10	15	0,8	94,9	0,5
	1 $\varnothing$ 14		1,4		
	1 $\varnothing$ 18		2,4		
	А-I				
21	1 $\varnothing$ 10	15	0,8	66,4	0,5
	1 $\varnothing$ 14		1,4		
	1 $\varnothing$ 18		2,4		
	А-III				

Примечание:  $\Sigma n$  – количество балок;  $T$ ,  $\varnothing$ ,  $K$  – соответственно количество, диаметр и класс рабочей арматуры;  $\delta_{zc}$  – толщина защитного слоя бетона;  $\mu$  – коэффициент армирования;  $\ell_{crc}^p$  – расчетное значение длины между поперечными трещинами;  $a_{crc}^{max}$  – фактическое значение максимальной ширины раскрытия трещины

Длительные испытания железобетонных образцов проводились при действии постоянной нагрузки и жидкой агрессивной среды на нагружающих устройствах, позволяющих получить постоянную ширину раскрытия трещин. Попарно изгибаемые балки имели поперечные трещины с  $a_{crc}=0,02 \div 0,50$  мм [7].

Ширину раскрытия трещин измеряли по реперным точкам на боковой поверхности железобетонных образцов по оси рабочей арматуры с помощью микроскопа МБС-2. Методика определения  $a_{cr}$  в агрессивных условиях в течение длительного времени испытаний железобетонных конструкций приведена в работе [8].

Для обнаружения появления трещин в защитном слое бетона в процессе длительных испытаний использовалась трубка – микроскоп МПБ-2 с кратностью увеличения  $24^*$  и точностью измерения 25 мкм. После двух лет испытаний на поверхности защитного слоя бетона в зоне чистого изгиба отдельных образцов было отмечено появление волосяных продольных трещин с шириной раскрытия  $a_{тр}=15\div 25$  мкм. Натурный эксперимент был прекращен, чтобы не допустить влияния продольных трещин на характеристики коррозионного поражения арматуры в поперечных трещинах.

После коррозионных испытаний стержни извлекались из бетона. Продукты коррозии с них удалялись химическим способом в 10% растворе соляной кислоты с добавлением 1% уротропина [9].

Результаты экспериментальных исследований обрабатывались методами математической статистики. Искомая среднеарифметическая величина определялась не менее чем по шести измеренным значениям. При анализе результатов коррозионного испытания арматуры в случае нормального распределения данных экспериментальных исследований использовался статистический критерий Шовене (таблица 2) [10].

Таблица 2 – Требования критерия Шовене при различном числе данных  $n$

Число данных $n$	4	5	6	10	15	25
Отношение максимального допустимого отклонения к среднему значению	1,54	1,65	1,73	1,96	2,13	2,33

Глубина нейтрализации (карбонизации) бетона и наличие в нем хлорид-ионов определялись после разрушения образцов способом нанесения на свежий скол бетона соответствующих индикаторов: 0,1% раствора фенолфталеина в спирте и децинормального раствора азотнокислого серебра. Для образцов глубина нейтрализации составила 4-5 мм, а глубина проникновения хлорид-ионов 7-8 мм. Глубину поражения арматуры в пределах до 200 мкм определяли при помощи сканирующего микроскопа В.П. Линника с точностью до 10 мкм. При большей глубине применялся индикатор часового типа с иглой [9].

При язвенной коррозии для оценки уменьшения диаметра стержня количество замеров на наиболее пораженном участке полупериметра арматуры принималось равным шести. При коррозионном поражении арматуры на меньшем, чем полупериметр участке стержня, в расчет вводились дополнительные нули, показанные в таблице 3.

Таблица 3 – Методика оценки уменьшения диаметра арматуры

Величина относительного коррозионного поражения стержня по окружности	1	0,75	0,50	0,25
Количество измерений по периметру стержня	12	9	6	3
Количество нулей	0	3	6	9

Физический предел текучести и временное сопротивление арматуры определялись по контрольным и рабочим стержням до и после коррозионных испытаний.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Образование продольных трещин в защитном слое бетона в результате коррозии арматуры переводит железобетонные конструкции в предаварийное состояние. Время до появления продольных волосяных трещин ( $a_{тр}=15\div 25$  мкм) вдоль арматуры в защитном слое бе-

тона на отдельных экспериментальных образцах составило два года. Следовательно, при коэффициенте ускорения коррозионного процесса на арматурной стали в трещинах бетона равном десяти период до появления продольных трещин на обычных железобетонных конструкциях в условиях воздействия слабоагрессивной жидкой среды, содержащей хлорид-ионы, может составлять величину до 20 лет.

Прочность на сжатие бетона экспериментальных образцов в процессе длительных испытаний определялась на бетонных кубиках размерами 150×150×150 мм. Прочность бетона образцов, подвергавшихся воздействию адсорбционно активной жидкой среды, в конце натуральных исследований увеличилась по отношению к прочности в начале испытания в среднем на 14%, а несущая способность балок на изгиб – в среднем на 7%.

Характер искривления стенок трещины (депланация) определялся по возникновению и интенсивности процесса коррозии на поверхности арматуры в направлении ее распространения от поверхности защитного слоя бетона. Коэффициент  $K_0 = K_2/K_1$ , где  $K_1$  и  $K_2$  – соответственно, глубины коррозионного поражения арматуры в трещинах бетона со стороны защитного слоя бетона и противоположной стороны, является важным показателем коррозионной стойкости арматуры в трещинах бетона.

Данные эксперимента показывают, что величина  $K_0$  зависит от класса арматуры, значений  $a_{crс}$  и  $\delta_{зс}$  (рисунки 1 и 2). Шириной раскрытия трещины, при которой  $K_0=0$ , является соответствующая величина  $a_{сзс}$ : для гладкой арматуры класса А-I – 0,005 мм ( $\delta_{зс}=15$  мм); 0,025 мм ( $\delta_{зс}=20$  мм) и 0,050 мм ( $\delta_{зс}=25$  мм); для арматуры периодического профиля класса А-III – 0,050 мм ( $\delta_{зс}=15$  мм); 0,10 мм ( $\delta_{зс} \geq 20$  мм).

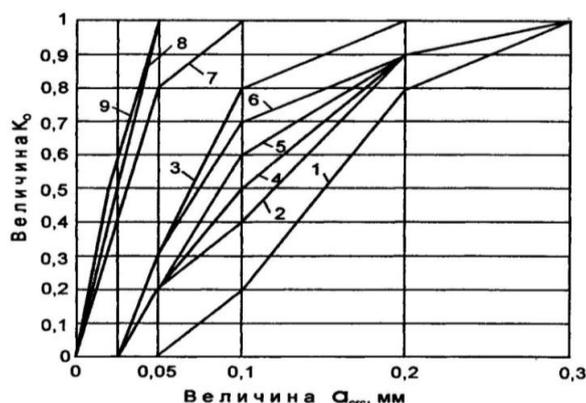


Рисунок 1 – Показатель коррозионной стойкости арматуры класса А-I в трещинах бетона  $K_0$ :  
 1 –  $d_a=18$  мм и  $\delta_{зс}=25$  мм; 2 –  $d_a=14$  мм и  $\delta_{зс}=25$  мм; 3 –  $d_a=10$  мм и  $\delta_{зс}=25$  мм; 4 –  $d_a=18$  мм и  $\delta_{зс}=20$  мм;  
 5 –  $d_a=14$  мм и  $\delta_{зс}=20$  мм; 6 –  $d_a=10$  мм и  $\delta_{зс}=20$  мм; 7 –  $d_a=18$  мм и  $\delta_{зс}=15$  мм; 8 –  $d_a=14$  мм и  $\delta_{зс}=15$  мм;  
 9 –  $d_a=10$  мм и  $\delta_{зс}=15$  мм

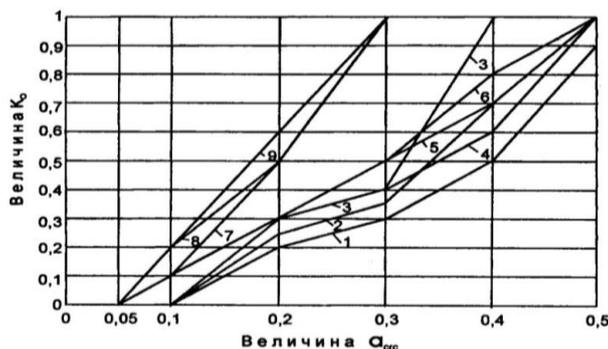


Рисунок 2 – Показатель коррозионной стойкости арматуры класса А-III в трещинах бетона  $K_0$ :  
 1 –  $d_a=18$  мм и  $\delta_{зс}=25$  мм; 2 –  $d_a=14$  мм и  $\delta_{зс}=25$  мм; 3 –  $d_a=10$  мм и  $\delta_{зс}=25$  мм; 4 –  $d_a=18$  мм и  $\delta_{зс}=20$  мм;  
 5 –  $d_a=14$  мм и  $\delta_{зс}=20$  мм; 6 –  $d_a=10$  мм и  $\delta_{зс}=20$  мм; 7 –  $d_a=18$  мм и  $\delta_{зс}=15$  мм; 8 –  $d_a=14$  мм и  $\delta_{зс}=15$  мм;  
 9 –  $d_a=10$  мм и  $\delta_{зс}=15$  мм

Глубина и длина участка коррозионного поражения арматуры определяются классом арматуры, величинами  $a$  и  $\Phi=d_a/\delta_{зс}$  (отношение диаметра арматуры к толщине защитного слоя бетона) (рисунки 3 и 4).

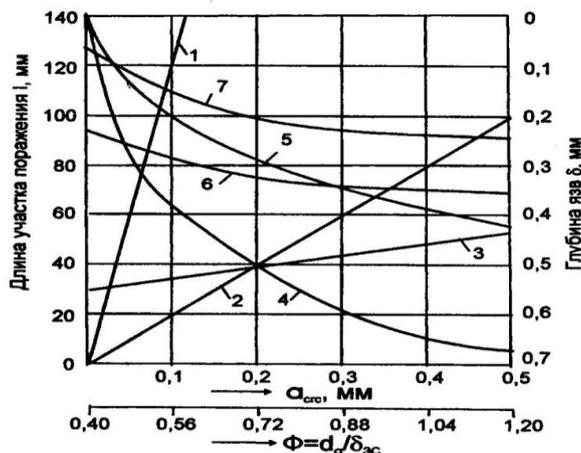


Рисунок 3 – Показатель коррозионного поражения арматуры класса А-I в зоне трещин бетона:  
 1 –  $l_{max}(a_{crc})$ ; 2 –  $l_{cp}(a_{crc})$ ; 3 –  $l_{cp}(\Phi)$  при  $a_{crc}=0,20$  мм; 4 –  $\delta_{max}(a_{crc})$ ; 5 –  $\delta_{cp}(a_{crc})$ ;  
 6 –  $\delta_{max}(\Phi)$  при  $a_{crc}=0,10$  мм; 7 –  $\delta_{cp}(\Phi)$  при  $a_{crc}=0,10$  мм

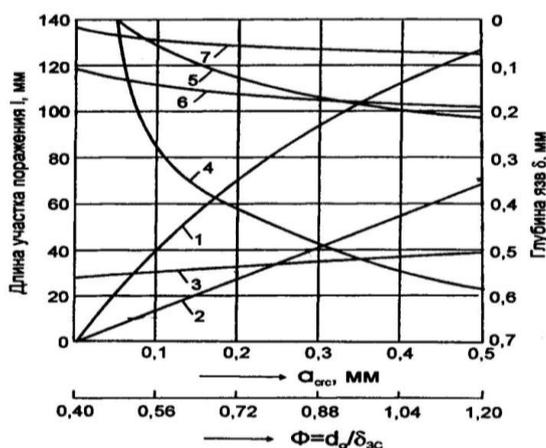


Рисунок 4 – Показатель коррозионного поражения арматуры класса А-III в зоне трещин бетона:  
 1 –  $l_{max}(a_{crc})$ ; 2 –  $l_{cp}(a_{crc})$ ; 3 –  $l_{cp}(\Phi)$  при  $a_{crc}=0,20$  мм; 4 –  $\delta_{max}(a_{crc})$ ; 5 –  $\delta_{cp}(a_{crc})$ ; 6 –  $\delta_{max}(\Phi)$  при  $a_{crc}=0,10$  мм;  
 7 –  $\delta_{cp}(\Phi)$  при  $a_{crc}=0,10$  мм

Средние глубина и длина коррозионного поражения арматуры в трещинах с  $a_{crc}=0,10$  мм в зависимости от величины показателя  $\Phi=d_a/\delta_{зс}$  приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики коррозионного поражения арматуры  $\delta_{cp}$  и  $l_{cp}$  в зависимости от показателя  $\Phi=d_a/\delta_{зс}$

Класс арматуры	Характеристики коррозионного поражения арматуры $\delta_{cp} / l_{cp}$				
	При $\Phi=d_a/\delta_{зс}$				
	0,40	0,56	0,70	0,90	1,20
А-I	$\frac{0,07}{14}$	$\frac{0,15}{17}$	$\frac{0,20}{19}$	$\frac{0,23}{22}$	$\frac{0,25}{25}$
	$\frac{0,02}{12}$	$\frac{0,04}{12}$	$\frac{0,05}{13}$	$\frac{0,06}{14}$	$\frac{0,07}{16}$

## Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

С увеличением показателя  $\Phi$  коррозионные характеристики  $\delta_{cp}$  и  $\ell_{cp}$  возрастают, причем для арматуры гладкого профиля значительно больше чем для арматуры периодического профиля.

Для показателя  $\Phi=0,70$  средняя глубина (длина) коррозионного поражения арматуры для класса А-I превышает аналогичные величины для класса А-III соответственно для  $a_{crc}$ : 0,10 мм в 4 (1,5) раза; 0,20 мм – в 2,2 (1,4) раза; 0,30 мм – в 2,0 (1,4) раза; 0,40 мм – в 2,1 (1,4) раза и 0,50 мм – в 2,2 (1,4) раза таблица 5.

Таблица 5 – Средние характеристики коррозионного поражения арматуры классов А-I и А-III в поперечных трещинах бетона

Класс арматуры	Характеристики коррозионного поражения арматуры $\delta_{cp} / \ell_{cp}$				
	$a_{crc}$ , мм				
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
А-I	<u>0,20</u>	<u>0,28</u>	<u>0,34</u>	<u>0,38</u>	<u>0,42</u>
	19	39	59	79	99
А-III	<u>0,05</u>	<u>0,13</u>	<u>0,17</u>	<u>0,18</u>	<u>0,19</u>
	13	28	41	55	69

Математическая обработка данных эксперимента позволила выявить функциональную зависимость между средней длиной коррозионного поражения  $\ell_{cp}$  и средней ее глубиной  $\delta_{cp}$  в аналогичных  $a_{crc}$  в момент появления продольных трещин (таблица 6).

Таблица 6 – Уравнения регрессии функциональной зависимости средней длины участка коррозионного поражения арматуры от средней ее глубины

Класс арматуры	Уравнения $\ell_{cp} = f(\delta_{cp})$	Диаметр арматуры, мм
А-I	$\ell_{cp} = \delta_{cp}^{0,83} - 45$	1Ø10
		1Ø14
		1Ø18
А-III	$\ell_{cp} = 0,280 \cdot \delta_{cp}$	1Ø10
		1Ø14
		1Ø18

Средние глубина и длина коррозионного поражения стальных стержней, при которых возникали продольные трещины, составляли  $\delta_{cp}=240$  мкм и  $\ell_{cp}=67$  мм в трещинах с  $a_{crc}=0,50$  мм для арматуры класса А-III и  $\delta_{cp}=350$  мкм,  $\ell_{cp}=69$  мм в трещинах с  $a_{crc}=0,30$  мм – для класса А-I.

При средней глубине коррозионного поражения  $\delta_c = 300$  мкм арматуры  $\phi 14$  мм класса А-III практически не отмечено уменьшение несущей способности железобетонных образцов и арматуры. Следовательно, по условию возникновения продольных трещин долговечность этих железобетонных конструкций при средней глубине коррозионного поражения стержня  $\delta_{cp} < 300$  мкм определяется только длиной участка коррозионного поражения.

В агрессивной среде определяющее влияние на появление и раскрытие продольных трещин оказывает расстояние между поперечными трещинами на уровне растянутой арматуры  $\ell_{crc}$ . Для выявления экспериментальных минимальных предельно допустимых значений  $\ell_{crc}^l$  проведен статистический расчет распределения  $\ell_{crc}$  в зоне чистого изгиба опытных образцов.

Результатами статистической обработки соответствующих выборок  $l_{crc}$  являются величина математического ожидания  $M$ , среднее квадратическое отклонение  $\sigma$ , показатели асимметрии  $A$  и эксцесса  $E$  теоретического распределения, теоретический и критический критерии согласия Пирсона, минимальная величина  $l'_{crc}$  при уровне значимости  $\alpha=0,95$  (таблица 7).

Таблица 7 – Результаты статистической обработки величины  $l_{crc}$

$K$	$\Sigma l_{crc}$ , шт.	$M$ , мм	$\sigma$ , мм	$A$	$E$	$x^2_{набл}$	$x^2_{кр}$	$l'_{crc}$ , мм
A-I	215	95,05	21,40	0,208	-0,238	7,95	15,50	59,74
A-III	261	77,00	22,90	0,247	-0,641	13,48	14,10	39,20

Математическое распределение соответствующих выборок  $l_{crc}$  для арматуры класса А-I и А-III имеет нормальный закон, т.к.  $x^2_{набл} < x^2_{кр}$  (рисунок 7).

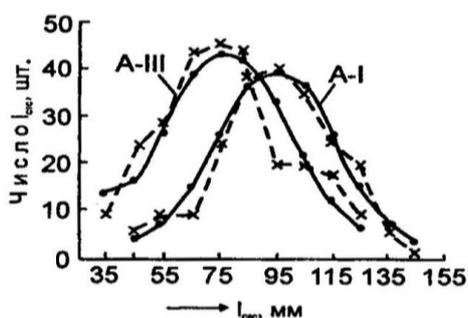


Рисунок 7 – Графики эмпирических (---) и теоретических (—) статистических распределений выборок  $l_{crc}$  для арматуры классов А-I и А-III

Расчетные величины  $l^p_{crc}$  для арматуры классов А-I и А-III (см. таблицу 1) превышают экспериментальные минимальные предельно допустимые величины  $l'_{crc}$  по условию опасного распространения продуктов коррозии вдоль арматурного стержня в 1,6 и 1,7 раза соответственно. В реальных условиях эксплуатации железобетонных конструкций это обстоятельство будет способствовать ускорению появления продольных трещин в защитном слое бетона.

Выполненные исследования позволили получить экспериментальный материал, который будет служить основой для математического моделирования процесса коррозии арматуры в поперечных трещинах бетона с учетом внутренних и внешних факторов: конструкции, среды и нагрузки [11].

**ВЫВОДЫ**

Результаты экспериментальных исследований показывают различную степень коррозионного поражения арматуры классов А-I и А-III в трещинах бетона с равными значениями  $a_{crc}$  на поверхности бетона защитного слоя, что вызывает необходимость изменения их нормативной величины  $a_{csc}$  в таблице 11 СНиП 2.03.11-85\*.

В условиях воздействия хлорид-ионов в период появления продольных трещин установлена функциональная связь между характеристиками коррозионного поражения арматуры гладкого и периодического профиля: средней длиной и средней глубиной.

Максимальное распространение продуктов коррозионного поражения вдоль арматурного стержня в противоположные от поперечной трещины стороны из-за условия недопущения

## Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

появления и раскрытия продольной трещины в защитном слое бетона не должно превышать величин  $l'_{crc} = 60$  мм и  $l'_{crc} = 40$  мм для арматуры классов А-I и А-III соответственно.

Расчетные значения  $l^p_{crc}$  для арматуры классов А-I и А-III опытных образцов превышают минимальные предельно допустимые величины  $l'_{crc}$  в 1,6 и 1,7 раза соответственно.

В сильноагрессивной среде в условиях хлоридной коррозии при удовлетворении требования неравенства  $\Phi < 0,5$  рекомендуется для арматуры класса А-III увеличить продолжительное раскрытие трещин с  $a^H_{crc} = 0,10$  мм как минимум до  $a^H_{crc} = 0,125$  мм.

Для получения научных результатов в других агрессивных средах необходимы дополнительные экспериментальные исследования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 2.03.11-85\*. Защита строительных конструкций от коррозии [Текст]. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 45 с.
2. Москвин, В.М. Трещины в железобетоне и коррозия арматуры [Текст] / В.М. Москвин, С.Н. Алексеев, Г.П. Вербецкий, В.И. Новгородский. – М.: Стройиздат, 1971. – С. 23-24.
3. Мигунов, В.Н. Влияние переменной нагрузки и амплитуды изменения ширины раскрытия трещин на коррозионное поражение арматуры в трещинах железобетонных конструкций [Текст] / В.Н. Мигунов // Изв. вузов. Строительство. – 2002. – №10. – С. 134-137.
4. Алексеев, С.Н. Долговечность железобетона в агрессивных средах [Текст] / С.Н. Алексеев, Ф.М. Иванов, С. Модры, П. Шисль – М.: Стройиздат, 1990. – С. 257, 262, 308.
5. Мигунов, В.Н. Влияние внутренних факторов железобетонных конструкций на коррозионную стойкость арматуры класса А-I и А-III в трещинах бетона [Текст] / В.Н. Мигунов // Изв. вузов Строительство. – 2001. – №11. – С. 125-129.
6. Пособие по проектированию защиты от коррозии бетонных и железобетонных строительных конструкций: (к СНиП 2.03.11-85) [Текст]. – М.: Стройиздат, НИИЖБ Госстроя СССР, 1989. – С. 140-141.
7. Мигунов, В.Н. Нагружающие установки для исследования деформативных и прочностных свойств изгибаемых железобетонных элементов [Текст]: ИЛ № 194-86 / В.Н. Мигунов. – Пенза: ЦНТИ, 1986. – 4 с.
8. Мигунов, В.Н. Долговечность железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в производственных сельскохозяйственных зданиях [Текст]: ИЛ № 284-86 / В.Н. Мигунов. – Пенза: ЦНТИ, 1986. – 4 с.
9. Новгородский, В.И. Метод определения эффективности ингибиторов коррозии стали в трещинах бетона [Текст] / В.И. Новгородский, А.Б. Островский, В.Н. Мигунов // Методические рекомендации по исследованию ингибиторов коррозии арматуры в бетоне. – М.: НИИЖБ, 1980. – С. 18-24.
10. Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента [Текст] / Х.Шенк. – М.: Мир, 1972. – С. 230.
11. Овчинников, И.И. Накопление повреждений в стержневых и пластинчатых армированных конструкциях, взаимодействующих с агрессивными средами [Текст] / И.И. Овчинников, Г.А. Наумова. – Волгоград: ВолгГАСУ. – 2007. – 272 с.

### Мигунов Виктор Николаевич

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза

Кандидат технических наук, доцент

Тел.: +7 927 38 60 743

E-mail: Viktor5043@rambler.ru

### Овчинников Илья Игоревич

Саратовский государственный технический университет, г. Саратов

Кандидат технических наук, доцент

Тел.: +7 (8452) 56-72-13

E-mail: bridgeart@mail.ru

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛЕЕННЫХ АРМИРОВАННЫХ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ДЕЙСТВИИ НАГРУЗКИ

*В статье представлены результаты экспериментальных исследований клееных армированных деревянных балок при длительном действии нагрузки. Определены зависимости между коэффициентом армирования и ростом деформаций в деревянных конструкциях. Приведено сопоставление результатов эксперимента с теоретическими расчетами.*

**Ключевые слова:** *испытания длительные, прочность, деформативность армированных деревянных конструкций, изменение напряженно-деформированного состояния.*

*In the report results of experimental researches of the glued the reinforced wooden beams are presented at long duration load. Dependences between factor of reinforcing and growth of deformations in wooden constructions are defined. Comparison of results of experiment to theoretical calculations is resulted.*

**Keywords:** *tests long, durability, deformability the reinforced wooden constructions, change of tensely deformed condition.*

Объемы экспериментальных исследований армированных деревянных конструкций при длительном действии нагрузки крайне ограничены. Целью данного исследования было определение влияния длительного нагружения на прочность, деформативность и напряженно-деформированное состояние армированных балок, определение характеристики ползучести  $\varphi_t$ , а также характера разрушения и остаточной прочности армированных деревянных конструкций после длительного воздействия. Методика испытаний была подчинена поставленным задачам, надежность моделирования принята  $H=0,95$ . Модели балок имели полное физическое подобие натурным изгибаемым армированным деревянным конструкциям.

Исследования проводились в два этапа: на моделях пролетах 2,25; 3 и 4,5 м, имеющих физическое подобие с натурными конструкциями, и полноразмерных балках пролетами 6; 12 и 18 м. Каждая серия состояла из 3 балок. Деформации определялись механическими приборами и тензорезисторами. Загружение до уровня длительной нагрузки выполнялось ступенями 0,1...0,2 от испытательной. Испытание каждой серии проводились в три этапа. На первом этапе определялась интегральная жесткость клееных неармированных балок и учитывалось влияние пороков. Уровень нагружения составлял от 0,1 до 0,6 расчетной нагрузки. Второй этап – длительные испытания, включая и контрольные клееные неармированные. Кроме того, перед длительными испытаниями первая серия образцов ( $l=2,25$  м) испытывалась до разрушения. Балки пролетом 2,25 и 3 м испытывались сосредоточенными силами в третях пролета, а пролетом 4,5 м в восьми точках практически равномерно распределенной нагрузкой (рисунок 1).

Длительные испытания проводились при постоянной влажности, соответствующей требованиям норм по эксплуатации клееных конструкций, и постоянной температуре. Кроме того, для сопоставления были испытаны натурные клееные армированные балки пролетом 6, 12 и 18 м. Продолжительность испытаний составила 181-367 суток, после разгрузки и отдыха в течение 60-80 суток балки испытывались до разрушения в заводских условиях.

Результаты длительных испытаний моделей армированных деревянных балок (таблица 1) выявили основные особенности их работы и напряженно деформированного состояния.

Графики «прогибы – время» выявили две области ползучести древесины: затухающую и незатухающую, граница между ними составляет  $(0,5...0,65)M_p$ . Соответствующие напря-

**Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции**

жения близки к пределу длительной прочности древесины. Разрушение балок всех серий сопровождалось резким приращением прогибов, конечная величина которых составила 1/30...1/50 пролета, в результате достижения арматурой вначале растянутой, а затем и сжатой предела текучести. После этого происходил разрыв волокон древесины растянутой зоны. В древесине сжатой зоны образовывались складки глубиной до 2...5 мм.

Таблица 1 – Результаты длительных испытаний моделей армированных деревянных балок

Обозначение	Пролет, м	Испытательная нагрузка, кН·м	Продолжительность испытаний, сутки	Относительные деформации $\times 10^{-3}$				Прогиб, мм		$K_t = \frac{f_0}{f_t}$	Время до разрушения
				древесина		арматура		$f_0$	$f_t$		
				$\varepsilon_0^c / \varepsilon_t^c$	$\varepsilon_0^p / \varepsilon_t^p$	$\varepsilon_{s0}' / \varepsilon_{st}'$	$\varepsilon_{s0} / \varepsilon_{st}$				
Б-I-1 Б-I-2 Б-I-3	2,25	5,71 5,29 $M_{ep}^p = 5,80$ 6,40	420	4,02/-	4,31/-	-	-	53,60	-	-	124 сек.
				3,90/-	3,76/-	-	-	41,70	-	-	82 сек.
				4,15/-	4,20/-	-	-	44,10	-	-	98 сек.
Б-II-1 Б-II-2 Б-II-3	2,25	0,65 $M_{ep} = 5,95$		2,69/4,02	2,56/4,05	2,70/3,94	2,81/5,20	26,0	44,02	0,591	110 суток
				2,57/4,50	2,61/4,30	2,66/4,80	2,60/3,92	24,9	39,11	0,637	46 суток
				2,71/5,05	2,70/4,08	2,68/5,92	2,74/3,54	26,5	46,24	0,573	138 суток
											Остаточные прогибы, мм
Б-III-1 Б-III-2 Б-III-3	2,25	0,5 $M_{ep} = 4,58$		2,06/2,32	2,00/2,28	1,96/2,20	1,90/2,14	17,6	24,02	0,712	2,16
				2,05/2,41	2,01/2,44	1,83/2,52	1,85/2,09	17,9	23,30	0,768	1,81
				2,18/2,39	2,12/2,58	2,08/2,52	2,05/2,46	18,5	23,81	0,777	1,95
Б-IV-1 Б-IV-2 Б-IV-3	2,25	0,3 $M_{ep} = 2,75$		1,12/1,40	1,19/1,48	1,16/1,41	1,20/1,48	12,2	14,20	0,859	0,84
				1,17/1,51	1,15/1,38	1,15/1,37	1,17/1,45	11,5	13,61	0,845	1,30
			1,15/1,44	1,18/1,43	1,20/1,39	1,22/1,52	12,6	14,97	0,846	1,05	
Бд-0-1 Бд-0-2 Бд-0-3	3,0	3,19	0,91/1,12	0,96/1,15	-	-	11,82	14,23	0,776	0,76	
			1,10/1,35	1,06/1,24	-	-	11,90	14,11	0,843	1,08	
			0,86/1,08	1,02/1,27	-	-	12,22	15,00	0,814	1,60	
Бд-I-1 Бд-I-2 Бд-I-3	3,0	4,55	0,95/1,10	0,98/1,14	1,03/1,25	1,03/1,25	10,76	12,91	0,833	1,72	
			1,12/1,29	1,11/1,30	1,14/1,33	1,14/1,33	11,30	13,60	0,830	1,08	
			1,16/1,32	1,14/1,31	1,12/1,30	1,13/1,30	12,13	14,32	0,847	0,90	
Бд-II-1 Бд-II-2 Бд-II-3	3,0	6,01	0,87/1,01	0,93/1,02	0,96/1,17	1,02/1,17	11,38	13,24	0,859	1,09	
			0,98/1,12	1,00/1,18	1,05/1,24	1,04/1,21	13,01	15,34	0,848	1,22	
			0,91/0,99	0,90/1,03	1,01/1,15	1,01/1,18	12,60	14,81	0,850	0,58	
Бд-III-1 Бд-III-2 Бд-III-3	3,0	7,98	0,95/1,06	0,94/1,07	0,93/1,12	1,00/1,15	10,82	12,47	0,854	0,66	
			1,01/1,15	0,99/1,15	1,04/1,16	1,03/1,18	12,00	13,68	0,852	0,92	
			1,08/1,29	1,11/1,32	1,06/1,21	1,06/1,24	10,25	11,83	0,852	0,91	
Бд-I-1 Бд-I-2 Бд-I-3	4,5	5,29	1,12/1,29	1,06/1,22	1,15/1,30	1,16/1,34	16,09	19,30	0,804	0,68	
			1,02/1,18	1,00/1,17	1,12/1,26	1,12/1,31	17,02	20,26	0,840	1,27	
			0,98/1,23	1,05/1,16	1,09/1,26	1,10/1,32	16,4	19,44	0,889	0,95	
Бд-II-1 Бд-II-2 Бд-II-3	4,5	8,20	1,10/1,22	1,14/1,31	1,19/1,30	1,13/1,28	15,95	19,02	0,839	1,41	
			1,06/1,30	1,09/1,27	1,11/1,26	1,15/1,33	16,6	18,93	0,877	2,13	
			1,01/1,17	1,10/1,21	1,00/1,19	1,07/1,21	18,12	21,50	0,842	2,01	
Бд-III-1 Бд-III-2 Бд-III-3	4,5	19,61	0,92/1,16	0,99/1,21	0,98/1,13	1,05/1,18	15,89	19,01	0,835	1,29	
			0,99/1,22	0,97/1,22	1,09/1,21	1,10/1,21	16,74	19,70	0,849	0,80	
			1,12/1,28	1,14/1,29	1,06/1,23	1,09/1,23	18,0	21,12	0,852	1,62	
Б-6-1 Б-6-2	6,0	21,59	0,92/1,16	1,11/1,27	-	-	23,0	30,16	0,762	3,76	
			1,12/1,29	1,19/1,31	-	-	22,54	28,80	0,783	4,98	
Б-6-3 Б-6-4	6,0	43,92	0,95/1,15	0,98/1,18	1,10/1,19	0,99/1,14	22,40	26,05	0,860	2,05	
			0,97/1,10	1,04/1,22	1,02/1,15	1,06/1,20	25,05	28,82	0,869	2,70	
Б-12-1 Б-12-2	12,0	198,1	1,06/1,26	1,11/1,30	1,08/1,22	1,13/1,25	45,20	51,91	0,870	2,45	
			1,15/1,39	1,17/1,37	1,12/1,31	1,18/1,34	46,25	55,40	0,835	3,60	
Б-18-1 Б-18-2	18,0	427,6	0,95/1,21	1,08/1,26	1,01/1,19	1,10/1,26	64,87	77,20	0,840	-	
			1,05/1,29	1,12/1,31	1,03/1,18	1,09/1,27	68,75	80,95	0,849	-	

Примечание:  $f_t$  – установившийся длительный прогиб;  $M_{ep}$  – разрушающий момент при кратковременном испытании



Рисунок 1 – Испытание балок пролетом 3 м

Балки третьей и четвертой серии под нагрузкой 0,5 и 0,35 от  $M_{гр}$  видимых повреждений не имели. Затухание деформаций последствия у балок III серии зафиксировано на 60...80 суток, а у балок IV – на 30...48 суток.

С ростом прогибов росли и напряжения в сжатой и растянутой арматуре в 1,24 и в 1,31 раза соответственно при нагрузке  $0,5 M_p$  и в 1,18-1,2 – при нагрузке  $0,35 M_p$ . После разгрузки и «отдыха» прогибы балок уменьшались, остаточная величина после 80 суток составила в среднем 7,5% от полных прогибов. Характерный график длительных прогибов приведен на рисунке 2.

Рост прогибов во времени зависит от процента армирования балок и существенно меньше по сравнению с неармированными. Во всех случаях после разгрузки происходило уменьшение прогибов. Остаточные прогибы после 60...80 суток «отдыха» составили  $(0,25...0,17) f_t$ .

Рисунок 2 – Изменение прогибов балок пролетом 4,5 м серии Б-3 во времени

## Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

Нарушения сцепления арматуры с древесиной не было отмечено, а сдвиг стержней относительно торцов балок составил 0,11-0,15 мм, после разгрузки упругая составляющая составила 80...88%.

Разрушение натуральных балок пролетом 12 и 18 м после снятия длительной нагрузки и повторного нагружения до разрушения происходило в растянутой зоне при нагрузках, в 2,14...2,24 раза превышающих расчетную.

Для всех балок зафиксировано перераспределение усилий в сечениях: напряжения в арматуре росли, в древесине – уменьшались. Модуль упругости древесины снизился в результате ползучести и составил  $E_d(t)=0,7$  и  $0,8$  при  $M=(0,3...0,35)M_{гр}$  и  $0,6...0,65$  при  $M=0,5M_{гр}$ .

Исследования показали, что с увеличением высоты сечения краевые относительные деформации растут медленнее. Армирование повышает надежность конструкций, поскольку исключается возможность внезапного обрушения балок при разрыве растянутых волокон или стыков.

Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими по методике [1, 2] показало, что расхождения составляют -8,6...+15,0%, при численных расчетах (ПК ЛИРА 9.2) разница в определении прогибов составила +8...-14%, напряжений в древесине 11% при учете ползучести, и 7% для арматуры.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко, В.М. Расчет композитных строительных конструкций на основе древесины с учетом ползучести [Текст] / В.М. Бондаренко, В.И. Римшин, С.И. Рощина // Строительство и реконструкция. – Орел: ОрелГТУ. – 2009. – №4. – С. 39-40.

2. Рощина, С.И. Прочность и деформативность клееных армированных деревянных конструкций при длительном действии нагрузки: Автореф. дис. докт. техн. наук. – Москва, 2009.

### **Рощина Светлана Ивановна**

Владимирский государственный университет, г. Владимир

Кандидат технических наук, доцент

Тел.: +7 (4922) 47-98-04

E-mail: roshinasi@mail.ru

### **Римшин Владимир Иванович**

Московская государственная академия коммунального хозяйства и строительства, г. Москва

Член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор

Тел.: +7 (495) 678-32-05

УДК 69

КОЛЧУНОВ В.И., АНДРОСОВА Н.Б.

**НЕКОТОРЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ К АКТУАЛИЗАЦИИ  
НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

*Даны некоторые предложения к актуализации нормативных документов нового поколения в связи с вступлением в силу технического регламента «О безопасности зданий и сооружений».*

**Ключевые слова:** *технический регламент, безопасность зданий и сооружений.*

*Some advices to actualisation of standard documents of new generation in connection with coming into force of technical regulations «About safety of buildings and constructions» are given.*

**Keywords:** *technical regulations, safety of buildings and constructions.*

В связи с вступлением в силу Федерального закона №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 27 декабря 2009 г. меняется правовая база строительной отрасли. Несмотря на то, что закон «О техническом регулировании» предписывает техническим регламентам статус прямого действия, рассматриваемый технический регламент не является таковым. Нормативные документы, через которые обеспечивается выполнение требования технического регламента, не только не утверждены, но отдельные из них и не подготовлены. Поэтому данный закон не всегда можно выполнить по существующим нормативным документам [1, 2].

Технический регламент в Российской Федерации – это документ (нормативно-правовой акт), устанавливающий обязательные для применения и исполнения требования к объектам технического регулирования (продукции, в том числе зданиям, строениям и сооружениям, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации).

Технический регламент носит обязательный характер и устанавливает только минимально необходимые требования в области безопасности, причем приниматься может только в определенных целях, а именно:

- защиты жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества;
- охраны окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений;
- предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей.

На переходный период до принятия необходимых технических регламентов с указанными целями должны применяться соответствующие требования ранее принятых ГОСТ (ГОСТ Р), санитарных и строительных норм и правил (СанПиН, СНиП).

С начальных этапов разработки рассматриваемого документа его проект активно обсуждался специалистами в области безопасности. Например, в [3] при обсуждении технического регламента отмечалось, что разработчики проекта технического регламента «О безопасности зданий и сооружений» предполагают, что данный документ должен представлять техническую конституцию отрасли, т.е. иметь некоторый рамочный, в большей степени юридический характер, основываться на функциональных подходах к нормированию требований по безопасности и представлять собой консенсус взглядов различных заинтересованных групп (инвесторы, заказчики, проектировщики, строители, научное сообщество, органы власти и др.) по вопросам построения и функционирования системы технического регулирования в строительстве. Возникали также вопросы по идее и содержанию данного документа. Например, как технические регламенты соподчиняются и работают во взаимодействии с другими законами по видам безопасности: пожарной, промышленной, санитарно-эпидемиологической, включая принятые поправки к закону «О техническом регулировании». В поправках к закону «О техниче-

ском регулировании» говорится о прекращении действия отраслевых норм в тех областях, где в срок не приняты регламенты. В законе «О техническом регулировании» установлено, что СНиПы будут действовать параллельно со сводами правил. Документы, касающиеся отдельных требований технических регламентов, включая правила и методы испытания, должны были быть подготовлены и утверждены параллельно с техническим регламентом «О безопасности зданий и сооружений» [4]. В действительности Закон «О техническом регулировании» допускает отсутствие национальных стандартов и после утверждения технического регламента «О безопасности зданий и сооружений».

Активно содержание технического регламента обсуждалось на различных мероприятиях Российской академии архитектуры и строительных наук. Так, например, с обобщающими предложениями итогов дискуссии на «круглом столе» общего собрания Российской академии архитектуры и строительных наук в мае 2010 года отмечалось, что научное направление «живучесть» как стойкость к внезапным и эволюционным воздействиям, повреждающим сооружения, находится лишь в стадии становления, и здесь важна систематизация и обобщение имеющихся по этой проблеме знаний и постановка соответствующих экспериментальных исследований. В связи с этой и рядом других нестыковок в принятой законодательной базе академик В.И. Травуш призвал членов академии и других ученых принять активное участие в предстоящей процедуре актуализации нормативных документов обязательного применения в связи с введением в действие принятого регламента о технической безопасности зданий и сооружений. Академик В.М. Бондаренко особо акцентировал внимание на то, что понятие конструктивной безопасности в действующих сегодня нормативных документах ограничено рамками устойчивого силового сопротивления элементов конструкций. В то же время исследованиями последних лет показано, что от напряженно-деформированного состояния зависят структура и свойства материалов. К.т.н. Ю.Н. Волков обратил внимание на крайне низкое качество законодательного обеспечения безопасности зданий и сооружений. Принятым техническим регламентом по безопасности зданий и сооружений (ст. 3 п. 6, ст. 6 п. 2), несмотря на критику при разработке самого технического регламента, введен термин «минимально необходимые требования», но не поясняется, в чем смысл этих минимальных требований, касающихся безопасности зданий и сооружений.

С 01.07.2010 г. введен в действие Перечень нормативных документов (национальных стандартов и сводов правил) (98 наименований), в результате применения которых на обязательной основе должно быть обеспечено соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Кроме того, планируется составить еще один Перечень нормативных документов добровольного применения отдельных стандартов. Предстоящие два года даны на актуализацию этих документов. В процессе актуализации будут собираться все предложения по улучшению этих норм, добавлению отдельных важнейших материалов и др. предложения. В рабочий вариант обязательного Перечня выборочно (неизвестно кем) включены существующие документы. Таким образом, новые требования Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» предполагается выполнять на основании требований стандартов, существовавших до его принятия. Известные представители строительной науки [1, 2] указали на недопустимость данной последовательности событий и на то, что подготовка перечня доказательной базы и Закона «О безопасности зданий и сооружений» должны были идти как минимум одновременно.

Анализируя отдельные статьи технического регламента «О безопасности зданий и сооружений», мы можем видеть и другие принципиальные вопросы нестыковки этого документа не только с другими техническими регламентами, но и с документами, призванными обеспечить требования самого технического регламента: СНиПами, сводами правил и другими стандартами, включенными в перечень, утвержденный в Российской Федерации как обязательный. Так, в техническом регламенте есть ссылка на термин «уровень ответственности» здания и сооружения (ст. 15 п. 2, ст. 4 п. 7-10), который определен в СНиП «Нагрузки и воздействия». Однако в п. 8 ст. 4 рассматриваемого регламента отражено: «К зданиям и сооружениям повышенного уровня ответственности относятся здания и сооружения, отнесенные в соответствии с Градостроительным кодексом Российской Федерации к особо опасным, технически сложным или уникальным». Важно отметить, что Градостроительный кодекс Российской Федерации не

входит в перечень обязательных нормативных документов, обеспечивающих соблюдение требований регламента «О безопасности зданий и сооружений». Трактовка понятия «уровень ответственности» в Федеральном законе и СНиП «Нагрузки и воздействия» разные. То же можно сказать о «пониженном уровне ответственности». Вызывает недоумение отнесение в регламенте к пониженному уровню ответственности зданий и сооружений для индивидуального жилищного строительства (ст. 4 п. 10) [1]. В самом термине «пониженный уровень ответственности» заложено пренебрежение к пользователям таких зданий и сооружений. Опыт последних десятилетий показал, что в сейсмоопасных районах в случаях землетрясения рушатся и убивают людей чаще всего именно такие объекты «пониженного уровня ответственности».

Согласно регламенту, от уровня ответственности здания или сооружения, если здание или сооружение повышенного уровня ответственности, необходимо разработать расчет на отказ при выключении одного из элементов системы (должна быть учтена аварийная расчетная ситуация, в том числе предельные состояния при этой ситуации, возникающей в связи со взрывом, столкновением, аварией, пожаром, а также непосредственно после отказа одной из несущих строительных конструкций). В связи с этим необходимо подготовить предложения к включению в качестве дополнения в СНиПы «Бетонные и железобетонные конструкции», «Каменные и армокаменные конструкции», «Стальные конструкции», «Деревянные конструкции», «Алюминиевые конструкции» раздела «Особенности расчета на живучесть конструкций». В ст. 16 п. 4 технического регламента указывается, что расчетные модели строительных конструкций должны отражать действительные условия работы здания. Термин «действительные условия» не имеет определения ни в техническом регламенте «О безопасности зданий и сооружений», ни в законе «О техническом регулировании». Считать ли конструктивную нелинейность как действительные условия работы конструкции и как учитывать комбинацию различных нагрузок и воздействий на конструкцию? В связи с этим необходимо дать четкое определение термина «действительные условия» работы конструкции. В ст. 7 регламента указывается: «В процессе строительства и эксплуатации не возникало угрозы причинения вреда жизни или здоровью людей». Некорректно сформулирован пункт, т.к. возникновение угрозы причинению вреда жизни и здоровью людей есть всегда. Необходимо указать с какой вероятностью может возникать угроза. Кстати, определенный в регламенте термин «механическая безопасность» трактуется через отсутствие недопустимости риска. Все же в упомянутых сводах правил и стандартах «механическая безопасность» определяется через «предельные состояния I группы». В условиях российской действительности, когда имеет место значительное старение фонда и большой срок эксплуатации зданий и сооружений, угроза причинения вреда жизни людей резко возрастает. Важно дать определение срока нормальной эксплуатации зданий и сооружений.

В ст. 15 п. 3 не понятен смысл фразы о необходимости научного сопровождения: «Реконструкция зданий и сооружений повышенного уровня ответственности и задание на проектирование таких зданий и сооружений могут предусматривать необходимость научного сопровождения». Опыт проектирования и строительства сложных и ответственных объектов [5] последних двух десятилетий показал, что здания и сооружения повышенного уровня ответственности, особенно пространственные конструкции, обязательно должны иметь научное сопровождение. В ст. 6 п. 3 некорректно определены функции заказчика и застройщика: «Застройщик вправе самостоятельно определить, в соответствии с какими из указанных требований, подходов будет осуществляться проектирование (включая инженерные изыскания), строительство, реконструкция, капитальный ремонт и снос здания или сооружения». Застройщик не реализует функций проектировщика и, соответственно, возникает вопрос, как и кто будет определять подходы расчета и проектирования конструкций, здания или сооружения в целом?

Особо можно отметить, что с параллельным действием актуализированных новых сводов правил и СНиПов, например, СНиП по общественным зданиям, уровень безопасности отдельных типов зданий новым техническим регламентом не регламентируется. К ним относятся, например, обеспечение безопасности эксплуатируемых объектов образования большой социальной значимости с постоянным пребыванием значительного количества людей. Подавляющее большинство таких объектов эксплуатируется много лет, степень их износа значительна, уровень рисков высок, но учет этих и других особенностей нигде в нормативных до-

кументах не отражен. Поэтому для безопасности объектов образования в процессе актуализации нормативных документов нового поколения следует уделить особое внимание обеспечению пожарной безопасности, защиты от террористических угроз и живучести рассматриваемых зданий и сооружений повышенной ответственности. Объекты образовательного назначения, возможно, следует отнести к зданиям повышенного уровня ответственности в силу большого пребывания людей и социальной значимости. При проектировании и особенно при реконструкции зданий и сооружений образовательного назначения, как и для зданий повышенного уровня ответственности, должна быть учтена расчетная ситуация отказа одной из несущих конструкций, т.е. расчет на живучесть. Предложения по защите и обеспечению безопасности от угроз, ставших в последние два десятилетия особенно характерными для России [5], целесообразно подготовить в разделы соответствующих нормативных документов.

По результатам приведенного анализа можно выделить несколько конкретных предложений к актуализации нормативных документов нового поколения:

- уточнить и раскрыть терминологию новых документов, которая должны быть подчинена идее приемственности и согласованности требований в различных группах нормативных документов;

- целесообразно ввести различные уровни предельных значений параметров, характеризующих предельные допуски и отклонения: первый – используемый при проектировании и изысканиях (расчетный); второй – при строительстве (проектный);

- следует в кратчайшие сроки начать подготовку, обозначенных в требованиях технического регламента, отсутствующих в перечне обязательных нормативных документов, т.к. в противном случае невозможно обеспечить полноценное выполнение требований Закона «О безопасности зданий и сооружений»;

- переход на вероятностные методы расчета должен быть обоснованным, глубоко проработанным и дифференцированным для различных видов и групп зданий и сооружений;

- в техническом регламенте недостаточно четко прописана юридическая сторона ответственности как самого документа в целом, так и его отдельных статей в процессе актуализации нормативных документов, являющейся доказательной базой выполнимости положений регламента, их следует дополнить такими требованиями, поскольку опыт «добровольности» закона «О техническом регулировании» показал, что заложенный в нем выбор норм на практике трактовался их необязательностью.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Травуш, В.И. Регламент принят, вопросы остаются [Текст] / В.И. Травуш, Ю.П. Назаров, Ю.С. Волков // Строительная газета. – 2010. – №7.
2. Игошин, В.Л. О принципах построения строительных стандартов в современных условиях [Текст] / В.Л. Игошин // Жилищное строительство. – 2010. – №3. – С. 38-40.
3. Елисеев, Ю.Н. Основные положения научно-методического замысла технического регламента «О безопасности зданий и сооружений» [Текст] / Ю.Н. Елисеев, С.В. Чернышев // ПГС. – М.: ПГС. – 2008. – №6. – С. 20-23.
4. Блинов, В.П. О разработке технических регламентов в строительной отрасли [Текст] / В.П. Блинов // ПГС. – М.: ПГС. – 2008. – № 4. – С. 22-23.
5. Колчунов, В.И. Современные проблемы обеспечения безопасности образовательных учреждений [Текст] / В.И. Колчунов, В.Т. Ерофеев, Л.А. Гулябянц // Промышленное и гражданское строительство. – 2009. – №10. – С. 54-56.

### **Колчунов Виталий Иванович**

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Академик РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции и материалы»

Тел.: +7 (4862) 73-43-48

E-mail: oantc@ostu.ru

### **Андросова Наталия Борисовна**

Орловский государственный технический университет, г. Орел

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

Тел.: +7 (4862) 73-43-48

E-mail: oantc@ostu.ru

УДК 625.7/8

ГНЕЗДИЛОВА С.А., НОСОВ В.П.

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ  
ГРУНТОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

*Для прогнозирования долговременной прочности дорожной конструкции и усталостной долговечности материалов покрытия важным является учет изменения состояния грунтов основания в условиях сезонных колебаний температуры и влажности.*

**Ключевые слова:** влажность, глинистые грунты, эквивалентный модуль упругости.

*The record of soils base conditions change in the reasons of seasonal temperature fluctuations and humidity is important for the forecasting of road construction long-term durability and road pavement fatigue life.*

**Keywords:** humidity, clay soils, equivalent resilience modulus.

Сложные процессы перемещения влаги и промерзания земляного полотна в процессе эксплуатации автомобильных дорог приводят к постоянному изменению состояния грунта, что в свою очередь вызывает изменение его основных прочностных и деформативных характеристик. В результате жесткость и, соответственно, прочность дорожных одежд существенно изменяются в течение года. Это должно быть принято во внимание при прогнозировании долговременной прочности дорожной конструкции и усталости материалов покрытия.

Для учета изменчивости модуля упругости грунта при расчете и прогнозировании состояния дорожных одежд необходимо разработать алгоритм, позволяющий учитывать, в какой степени изменение водно-теплового режима влияет на модуль упругости грунта.

Наибольшую роль в изменении свойств земляного полотна играют процессы, происходящие в земляном полотне. Два важнейших физических явления, существенно изменяющих физико-механические свойства грунтов земляного полотна: промерзание – оттаивание и изменение влажности грунта с необходимой точностью позволяют судить о динамике изменений модуля упругости или, как принято за рубежом, коэффициента постели основания дорожной одежды.

Содержание влаги в грунте – один из наиболее важных параметров, определяющих величины таких расчетных показателей, как модуль упругости, угол внутреннего трения, удельное сцепление. Поэтому при вычислении деформаций, накапливаемых в земляном полотне, а также для учета влияния модуля упругости грунта на общий модуль дорожной конструкции особенно важно правильно рассчитать влажность грунта.

Для определения модуля упругости грунта в зимний период необходимы значения модулей упругости грунтов в зависимости от температуры. Анализ существующих исследований свойств грунтов показал, что наиболее приемлемыми являются регрессионные зависимости модуля упругости грунта от отрицательной температуры, полученные Н.А. Цытовичем [1]:

- для мерзлого песка:

$$E = 0,5 + 2,1 \cdot \theta \cdot 10^3, \text{ Па} \cdot 10^6, \quad (1)$$

- для мерзлого пылеватого грунта:

$$E = 0,4 + 1,4 \cdot \theta \cdot 10^3, \text{ Па} \cdot 10^6, \quad (2)$$

- для мерзлой глины:

$$E = 0,5 + 0,23 \cdot \theta \cdot 10^3, \text{ Па} \cdot 10^6, \quad (3)$$

где  $\theta$  – абсолютное значение величины отрицательной температуры мерзлого грунта, °С.

Таким образом, в составе этой задачи было выделено 2 этапа: первый состоит в том, чтобы установить зависимости, позволяющие связать изменение влажности грунта земляного полотна и модуля упругости, второй – связать изменение температуры мерзлого грунта с учетом толщины слоя промерзания и модуля упругости грунтового основания.

Основной задачей первого этапа является установление зависимости, позволяющей прогнозировать изменение влажности грунта в течение летне-осеннего периода.

Вопросы прогнозирования, расчета, назначения влажности грунта земляного полотна отражены в работах А.К. Бируля, М.Б. Корсунского, В.М. Сиденко, В.П. Носова, В.Н. Ефименко и др. Некоторые из перечисленных работ посвящены определению расчетной влажности грунта земляного полотна на основании данных о многолетних наблюдениях за ее изменением с последующим использованием полученного значения для расчета дорожных одежд [2]. В.П. Носов решает проблему прогнозирования влажности путем решения системы дифференциальных уравнений А.В. Лыкова, позволяющих прогнозировать на весьма длительные сроки процесс изменения влажности грунта земляного полотна на различных глубинах для задаваемых метеорологических условий [3].

Формирование водно-теплого режима дороги происходит под воздействием погодно-климатических факторов и наибольший вклад в изменение влажности в летне-осенний период вносит температура воздуха.

На рисунке 1 приведены данные наблюдений за влажностью грунта земляного полотна (глина) и температурой воздуха на территории Белгородской области (полигон БГТУ им. В.Г. Шухова).

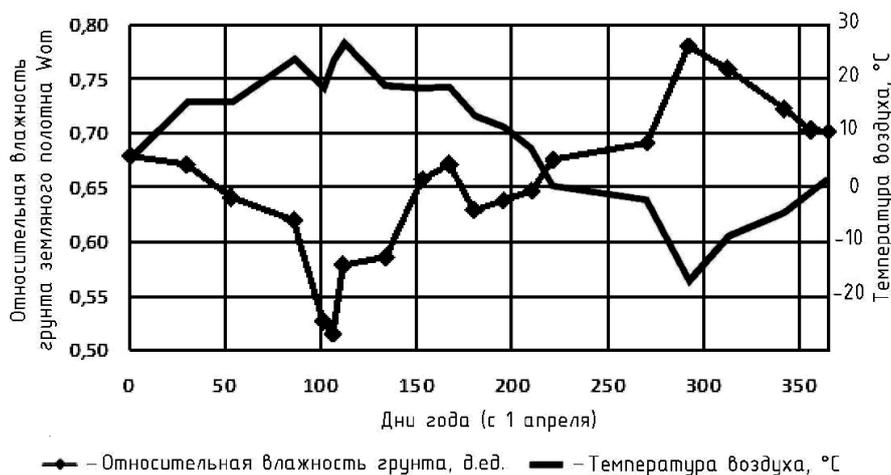


Рисунок 1 – Изменение влажности грунта полотна и температуры воздуха в течение года

Анализ данных непосредственных наблюдений за влажностью грунта и температурой воздуха показал, что в течение летне-осеннего периода влажность может быть описана уравнением:

$$W = 0,746 - 0,006 \cdot T, \quad (4)$$

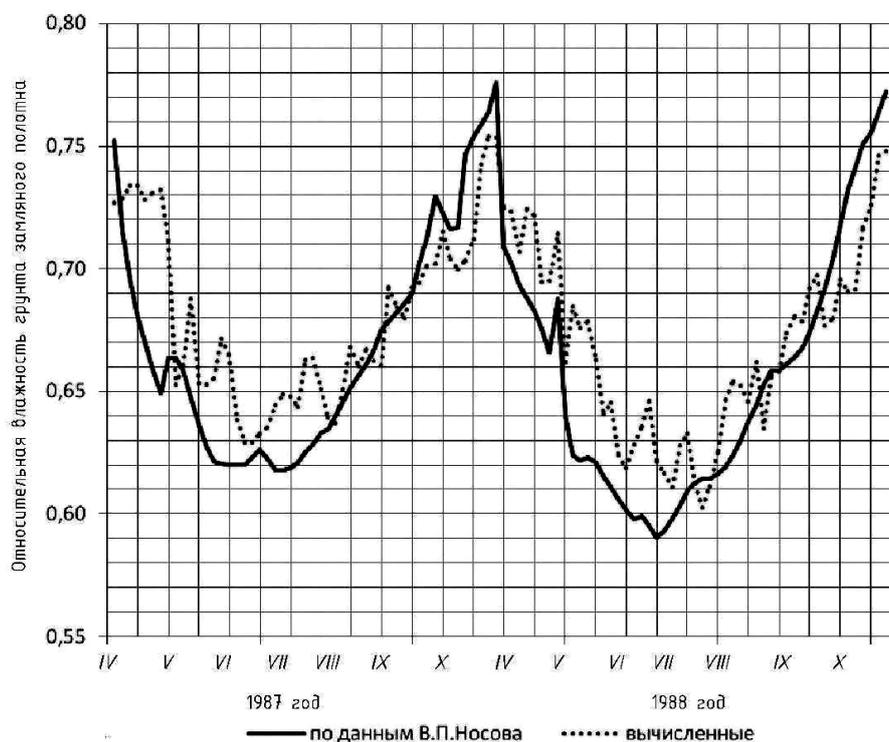
где  $W$  – влажность грунта земляного полотна, д.ед.;  $T$  – температура воздуха, °С.

Теснота связи между исследуемыми параметрами составила  $R=0,87$ , что дает основание для использования уравнения (4) для прогнозирования влажности грунта земляного полотна.

Влажность грунта земляного полотна меняется достаточно медленно, поэтому ежедневные или межсуточные колебания температуры воздуха не вызовут такое же изменение влажности грунта. Поэтому для получения адекватной картины изменения влажности от температуры необходимо использовать ее среднесуточное значение за предыдущие 5 дней.

Проверка предположения о возможности описания и прогнозирования процесса изменения влажности грунта с использованием выражения (4) была осуществлена на основании результатов имитационного моделирования В.П. Носова.

В.П. Носов в своей работе [3] приводит данные о влажности грунта в Москве за период 01.06.1986-01.06.1989. Авторы, используя данные о температуре воздуха, имевшей место в Москве в период с 01.04.87 по 01.11.1988, рассчитали соответствующие значения влажности с использованием указанной зависимости. Графики, построенные по этим данным для глины, представлены на рисунке 2. При этом относительная ошибка определения значений влажности по вышеприведенной зависимости находится в интервале от 2% до 10%.



**Рисунок 2 – Временные профили влажности грунта полотна за период 01.04.1987-01.11.1988**

Эти результаты позволяют сделать вывод, что гипотеза, характеризуемая выражением (4), о колебании влаги в грунте дает хорошую сходимость с натурными и расчетными данными. Следует отметить, что, т.к. экспериментальные наблюдения за влажностью грунта проводились для глины, то возможность применения данного уравнения для других грунтов требует дополнительных исследований. Таким образом, полученная зависимость позволяет прогнозировать на весьма длительные сроки процесс изменения влажности грунта земляного полотна для задаваемых метеорологических условий.

Для определения модуля упругости грунта могут быть использованы как табличные функции, приведенные в нормах и рекомендациях по расчету жестких и нежестких дорожных одежд и другой нормативно-технической литературе, так и экспериментальные зависимости, полученные разными авторами для различных природно-климатических условий.

В частности, модуль упругости глинистых грунтов, получивших распространение на территории Белгородской области (рисунок 3), может быть представлен в виде уравнения:

$$E=159,83 \cdot e^{-3,09W_{от}}, \quad (5)$$

где  $E$  – модуль упругости грунта, МПа;  $W_{от}$  – относительная влажность грунта рабочего слоя земляного полотна, д.ед.

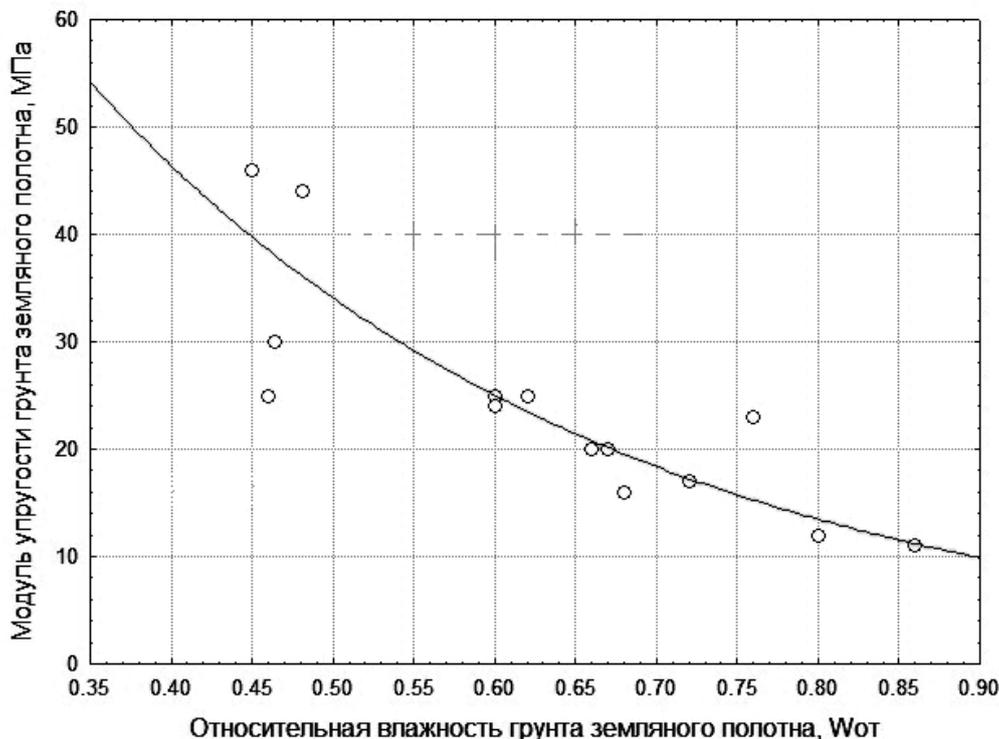


Рисунок 3 – График зависимости модуля упругости в глинистом грунте земляного полотна от его относительной влажности

Теснота связи между исследуемыми параметрами составила  $R=0,84$ , что дает основание для использования уравнения (5) при определении расчетных значений модуля упругости для глинистых грунтов рабочего слоя земляного полотна на территории региона.

Рассмотрим второй этап – мерзлое состояние грунта. При этом необходимо выделить три состояния системы в зависимости от температуры окружающей среды. В самом простом случае можно выделить промерзшую зону, в которой отсутствует жидкая фаза влаги, зону фазовых переходов, ограниченную изотермами от  $0^{\circ}\text{C}$  и  $-3^{\circ}\text{C}$ , и зону талого состояния. Такое состояние характерно для промерзания при устоявшихся отрицательных температурах воздуха. Зоны могут быть расположены в пределах одного слоя или каждая из них охватывать несколько слоев. Глубину промерзания от низа дорожной конструкции и глубину оттаивания можно рассчитать, используя формулу В.М. Сиденко [2].

При оттаивании, когда после зимнего периода устанавливаются положительные температуры, необходимо выделять дополнительно еще две зоны талого грунта, т.к. оттаивание может происходить как сверху, так и снизу, две зоны фазовых переходов и зону мерзлого грунта. Под влиянием атмосферных явлений зоны постоянно изменяют свои размеры и в некоторые моменты времени могут возникать, а затем исчезать.

Рассчитывая толщину промерзшего слоя грунта, а весной и толщину слоя оттаивания, можно будет определить, как будет изменяться во времени величина эквивалентного модуля упругости грунтового основания. Величину эквивалентного модуля можно вычислить по номограммам ОДН 218.046-01 [4] или уравнению Барбера. Образец зависимости эквивалентного модуля упругости грунтового основания, рассчитанный с использованием приведенной методики для условий, имевших место в 2009-2010 гг. в Белгородской области (см. рисунок 1), представлен на рисунке 4.

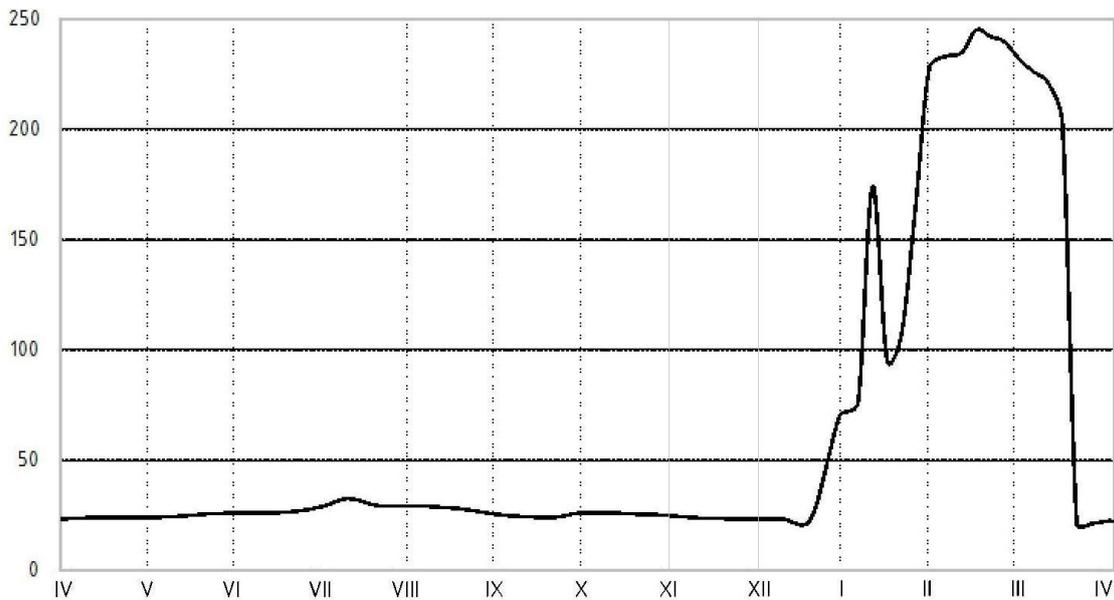


Рисунок 4 – Изменение эквивалентного модуля упругости грунта в течение времени

Таким образом, на основе предлагаемой модели может быть вычислена функция  $E_{\text{экв}}(T)$ , определяющая изменение состояния грунтового основания с течением времени.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цытович, Н.А. Механика мерзлых грунтов [Текст]. – М.: Транспорт, 1976. – 247 с.
2. Золотарь, И.А. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд [Текст] / И.А. Золотарь, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко. – М.: Транспорт, 1971. – 416 с.
3. Носов, В.П. Математическое моделирование водно-теплого режима автомобильных дорог с использованием метода динамической адаптации [Текст]: сб. обзорн. инф. / В.П. Носов, В.В. Носов // ВИНТИ. – 1997. – №3. – С. 18-32.
4. ОДН 218.046-01 Проектирование нежестких дорожных одежд [Текст] / Гос. служба дор. хоз-ва м-ва транспорта Российской Федерации. – М., 2001. – 148 с.

#### **Гнездилова Светлана Александровна**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва  
Аспирант кафедры «Строительство и эксплуатация автомобильных дорог»  
Тел.: +7 919 229 50 82  
E-mail: gnezdilka@yandex.ru

#### **Носов Владимир Петрович**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва  
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительство и эксплуатация автомобильных дорог»  
Тел.: +7 (8499) 155-04-02  
E-mail: nvp@madi.ru

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СВОЙСТВ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА

*Исследовано влияние стабилизирующих добавок на физико-механические показатели свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона. Приведено сравнение свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона с этими добавками.*

**Ключевые слова:** щебеночно-мастичный асфальтобетон, стабилизирующие добавки, модификация.

*Influence of stabilizing additives on physical-mechanical indicators of properties stone mastic asphalt concrete is investigated. Comparison of properties stone mastic asphalt concrete with these additives is resulted.*

**Keywords:** stone mastic asphalt concrete, stabilizing additives, modification.

Стабилизирующие добавки в щебеночно-мастичном асфальтобетоне (ЩМА) предназначены для удерживания (фиксирования) битума в межзерновом пространстве щебеночного каркаса щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси (ЩМАС) с помощью образующейся в результате ее приготовления мастики, т.е. асфальтовязующего, состоящего из битума, минерального порошка, стабилизирующей добавки с битумоудерживающими свойствами, а также с использованием других модифицирующих добавок (адгезионных, структурирующих и т.д.).

На первом этапе были исследованы характеристики микроструктуры ЩМА, т.е. характеристики асфальтовязующего (битум + минеральный порошок) со стабилизирующими добавками. Проведена оценка битумоудерживающей способности стабилизирующих добавок в асфальтовязующем [1]. Показано, что стабилизирующие добавки характеризуются повышенной битумоемкостью.

На втором этапе в предлагаемой статье оценивались характеристики щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси по ГОСТ 31015-2002 [2], в том числе по показателю стекания, который характеризует битумоудерживающую способность применяемой стабилизирующей добавки в ЩМА. В качестве стабилизирующих добавок были выбраны наиболее известные и применяемые в настоящее время добавки.

Для приготовления щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси ЩМАС-15 использовался битум БНД 60/90 Московского НПЗ, известняковый минеральный порошок ОАО "Гурово-бетон", щебень гранитный фракции 10-15 мм, щебень гранитный фракции 5-10 мм и отсев гранитный фракции 0-5 мм. В качестве стабилизирующих добавок были взяты: Viator 66, СД-1, ANTROCEL-G, TOPCEL, РТЭП, Хризотоп. Viator 66 представляет собой гранулированную смесь, состоящую из 67% технической целлюлозы и 33% битума [3]. Добавка СД-1 отечественного производства представляет собой гранулы диаметром 6-7 мм светло-коричневого цвета, изготовленные из волокон сульфатной небеленой целлюлозы [4]. Стабилизирующая добавка ANTROCEL-G – гранулированное целлюлозное волокно, содержащее 20% битума, с диаметром гранул 5-7 мм. Добавка TOPCEL представляет собой спрессованные гранулы из волокон целлюлозы, которые не содержат битум, но включают от 10 до 15% парафиновых углеводородов [5]. Резиновый термоэластопласт РТЭП представляет собой гранулы темного цвета резинопolyмерного материала, битумного вязующего и антиоксидантов [6]. Хризотоп производится из природного материала хризотил-асбеста, диаметр гранул до 5,5 мм [7]. Свойства различных стабилизирующих добавок представлены в таблице 1.

## Строительство и реконструкция

Таблица 1 – Свойства стабилизирующих добавок

№ п/п	Название Стабилизирующей добавки	Фирма производитель	Характеристика добавки	Наименование показателя	Значение
1	VIATOR 66	Концерн «JRS GmbH + Co», поставщик «Растом»	Целлюлозные волокна с битумом, на 66,6% состоящая из ARBOCEL ZZ 8-1 и на 33,3% из битума	Содержание ARBOCEL ZZ 8-1	65-70%
				Средняя длина гранулы	2-10 мм
				Средняя толщина гранулы	5+-1мм
				Объемная плотность	480-530 г/л
				Термическое разрушение	Около 200
				Температура возгорания	Около 500
				Средняя длина волокон	1100 мк
				Средняя толщина волокон	45 мк
2	ХРИЗОТОП	Компания «Хризотоп»	Минеральные волокна хризотил-асбеста	Насыпная плотность, г/дм <sup>3</sup> , не более	950
				Влажность, %, не более	3
				Термостойкость хризотилового волокна при температуре 220°С по изменению массы при прогреве, %, не более	2,0
				Диаметр гранул, мм, не более	5,5
				Содержание технологической мелочи, %, не более	3,5
3	РТЭП	Разработчик «ДорТрансНИИ РГСУ»	Резиновый термоэластопласт	РТЭП (резиновый термоэластопласт) - гранулы темного цвета неправильной сферической формы, диаметром около 3 мм. Представлен РТЭП резинопolyмерным материалом, битумным вяжущим и антиоксидантами.	
4	СД-1	Компания «ГБЦ»	Целлюлозные волокна	Диаметр гранул	6-7 мм
				Длина гранул	4-7 мм
				Насыпная плотность	550-650
				Влажность, % по массе, не более	8,0
				Теплостойкость при t 220 по изменению массы при прогреве, не более	7,0
5	TOPCEL	Компания «CFF»	Целлюлозные волокна с воском	Внешний вид	Серые гранулы
				Остаток при сжигании, %	15
				Влажность, %	6
				Водородный показатель pH	7±1
				Рекомендуемая дозировка, %	0,3-0,4
6	ANTROCEL-G	ЗАО «Antrocelas»	Целлюлозные волокна на основе битума	Влажность, % по массе, не более	5
				Средняя длина волокна, мм	1,0-1,1
				Средний диаметр волокна, мм	0,045-0,05
				Средняя длина гранул, мм	5-7
				Средняя длина волокна в составе гранулы, мм	1,0-1,1
				Средний диаметр гранулы, мм	5-6
				Средний диаметр волокна в составе гранулы, мм	0,045-0,05
				Количество битума, % по массе	20
				Количество поверхностно-активного вещества, % по массе	-
				Содержание альфа-целлюлозы, % по массе, не менее	70

Показатели свойств минеральных материалов и битума приведены в таблицах 2-6.

## Строительные технологии и материалы

Таблица 2 – Показатели свойств гранитного щебня фр. 10-15 мм ОАО «Коростенский щебзавод»

№ п/п	Наименование показателя, единица измерения	Значение показателя	Значения по ГОСТ 8267-93
1	Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе	0,49	не более 0,5%
2	Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы, % по массе	14,5	не более 15%
3	Марка по дробимости	1200	не ниже 1000
4	Морозостойкость щебня, циклов	300	не ниже F 50

Таблица 3 – Показатели свойств гранитного щебня фр. 5-10 мм ОАО «Коростенский щебзавод»

№ п/п	Наименование показателя, единица измерения	Значение показателя	Значения по ГОСТ 8267-93
1	Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе	0,47	не более 0,5%
2	Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы, % по массе	13,0	не более 15%
3	Марка по дробимости	1200	не ниже 1000
4	Морозостойкость щебня, циклов	300	не ниже F 50

Таблица 4 – Показатели свойств песка из отсеков дробления фр. 0-5 мм ОАО «Павловскгранит»

№ п/п	Наименование показателя, единица измерения	Значение показателя	Значения по ГОСТ 8736-93
1	Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе	0,45	не более 0,5%
2	Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы, % по массе	13,7	не более 15%
3	Марка по дробимости	1200	не ниже 1000
4	Морозостойкость щебня, циклов	300	не ниже F 50

Таблица 5 – Показатели свойств битума нефтяного дорожного БНД 60/90 Московского НПЗ

№ п/п	Наименование показателя, единица измерения	Результат испытания	Значения по ГОСТ 22245-90 с изм. для марки БНД 60/90
1	Глубина проникания иглы, 0,1 мм при 25°C 0°C	76 23	от 61 до 90 не менее 20
2	Температура размягчения по кольцу и шару, °C	50	не ниже 47
3	Растяжимость, см при 25°C 0°C	100,0 гарант.	не менее 55 не менее 3,5
4	Температура хрупкости, °C	-17	не выше -15
5	Температура вспышки, °C	Гарант.	не ниже 230
6	Изменение температуры размягчения после прогрева, °C	Гарант.	не более 5
7	Индекс пенетрации	-0,2	От -1 до +1

Таблица 6 – Гранулометрический состав минерального порошка ОАО «Гурово-бетон»

№ п/п	Наименование показателя, единица измерения	Значение показателя	Значения по ГОСТ 52129-2003
1	Зерновой состав по массе		
	мельче 1,25 мм	100	Не менее 100
	мельче 0,315 мм	99,2	Не менее 90
	мельче 0,071 мм	74,3	От 70 до 80

Состав ЦМАС-15 был подобран с использованием вышеназванных материалов. Зерновой состав минеральной части ЦМАС-15 соответствует ГОСТ 31015-2002 и приведен в таблице 7, график зернового состава – на рисунке 1.

Таблица 7 – Зерновой состав смеси

№ п/п	Наименование материалов	Содержание, %	Содержание зерен мельче данного размера, (мм), % по массе											
			40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071	
1	Щебень гранитный фр. 10-15 мм ОАО «Коростенский щебзавод»	42	42,0	42,0	38,2	3,2	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
2	Щебень гранитный фр. 5-10 мм ОАО «Коростенский щебзавод»	30	30,0	30,0	30,0	27,4	2,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
3	Отсев гранитный фр. 0-5 мм ОАО «Павловскгранит»	15	15,0	15,0	15,0	14,9	13,8	9,6	7,9	5,9	4,2	3,0	3,0	
4	Минеральный порошок ОАО «Гурово-бетон»	12,58	12,58	12,58	12,58	12,58	12,58	12,58	12,58	12,58	12,4	11,7	10,1	
5	Сумма полных проходов	100	100,0	100,0	95,78	58,08	29,38	23,2	21,08	19,5	17,2	15	13,7	
	Требование ГОСТ 31015-2002	min	0	100	90	40	25	18	15	12	10	9	9	
		max	0	100	100	60	35	28	25	22	20	16	14	

Состав смеси следующий: гранитный щебень фр. 10-15 мм – 42%, гранитный щебень фр. 5-10 мм – 30%, отсев гранитный фр. 0-5 мм – 15%, известняковый минеральный порошок – 12,58%, стабилизирующая добавка – 0,42%, битум – 5,5% от массы минеральной части. Приготовление щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси производилось в десятилитровом лабораторном смесителе с подогревом смесительной камеры. Стабилизирующие добавки вводились в разогретый до 150-160°C битум и перемешивались в нем до однородного распределения. Минеральные материалы нагревались до 160°C и засыпались в смеситель, затем вводился битум с добавками и проводилось перемешивание в течение 40-60 секунд до полного покрытия битумом минеральных материалов. Образцы щебеночно-мастичного асфальтобетона изготавливались в соответствии с ГОСТ 12801-98 [6].

Результаты определения физико-механических показателей свойств ЦМАС-15 с различными стабилизирующими добавками приведены в таблицах 8 и 9. ЦМАС, результаты определения показателей свойств которых приведены в таблице 8, приготавливали с битумом, в котором уже были однородно распределены стабилизирующие добавки при температуре 150-160°C.

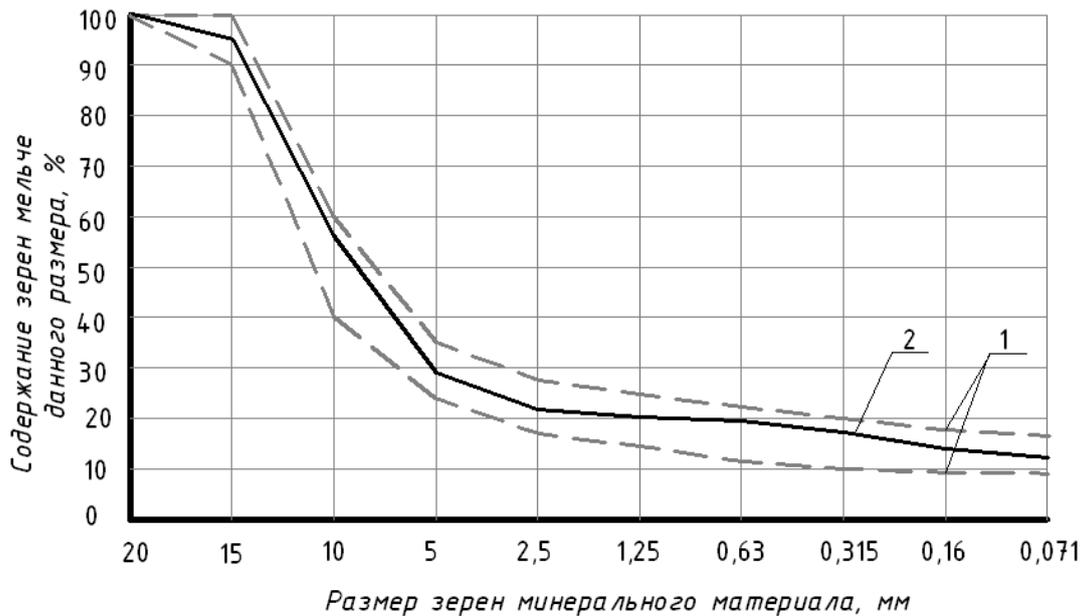


Рисунок 1 – График зернового состава минеральной части: 1 – кривые просеивания по ГОСТ 31015-2002; 2 – кривая просеивания подобранного состава

Таблица 8 – Физико-механические показатели свойств ЦМА-15 с различными стабилизирующими добавками с предварительным распределением их в битуме

Наименование показателей	Показатели свойств							Требования ГОСТ 31015-2002
	Без добавок	С использованием стабилизирующих добавок						
		PTЭП	VIATOR 66	Хризотоп	СД-1	TOPCEL	ANTROCEL	
Средняя плотность, г/куб. см	2,40	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	–
Пористость минерального остова, %	17	17	17	17	17	17	17	15-19
Остаточная пористость, %	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49	1,5-4,5
Водонасыщение, % по объему	2,52	2,8	2,77	2,86	3,0	2,8	2,96	1,0-4,0
Предел прочности при сжатии, МПа								
при температуре 20°C	5,01	5,83	5,26	4,93	4,50	5,44	5,18	Не менее 2,2
при температуре 50°C	1,46	1,61	1,57	1,86	1,46	1,41	1,66	Не менее 0,65
Коэффициент внутреннего трения	0,93	0,96	0,95	0,93	0,93	0,94	0,95	Не менее 0,93
Сцепление при сдвиге, МПа	0,26	0,29	0,28	0,35	0,28	0,26	0,30	Не менее 0,18
Прочность на растяжение при расколе при 0°C, МПа	3,72	5,6	5,09	3,3	3,46	4,7	4,32	2,5-6,0
Стекание вяжущего, %	0,88	1,23	0,161	0,20 (0,07)	0,176	0,159	0,18	Не более 0,2
Водостойкость	0,94	0,89	0,96	0,92	0,92	0,92	0,90	–

Таблица 9 – Физико-механические показатели свойств ЩМА-15 со стабилизирующими добавками, вводимыми непосредственно в смеситель

Наименование показателей	Показатели свойств				Требования ГОСТ 31015-2002
	Без добавок	С использованием стабилизирующих добавок			
		РТЭП	VIATOR-66	РТЭП+VIATOR 66	
Средняя плотность, г/куб. см	2,40	2,37	2,37	2,37	-
Пористость минерального состава, %	17	17	17	17	15-19
Остаточная пористость, %	2,49	2,49	2,49	2,49	1,5-4,5
Водонасыщение, % по объему	2,52	2,85	2,8	2,8	1,0-4,0
Предел прочности при сжатии, МПа					
при температуре: 20 °С	5,01	5,91	5,79	5,38	Не менее 2,2
при температуре: 50 °С	1,46	1,66	1,84	1,67	Не менее 0,65
Коэффициент внутреннего трения	0,93	0,95	0,96	0,94	Не менее 0,93
Сцепление при сдвиге, МПа	0,26	0,31	0,29	0,30	Не менее 0,18
Прочность на растяжение при расколе при 0°С, МПа	3,72	4,92	5,12	5,02	2,5-6,0
Стекание вяжущего, %	0,88	1,33	0,13	0,07	Не более 0,2
Водостойкость	0,94	0,89	0,97	0,99	-

Как видно из таблицы 8, основные показатели свойств ЩМА-15 со стабилизирующими добавками существенно не отличаются. Предел прочности на растяжение при расколе при 0°С для ЩМА с добавками РТЭП и Viator 66 несколько выше, чем для ЩМА с другими добавками, а самое низкое значение этого показателя (3,3 МПа) имеет ЩМА с добавкой Хризотоп. Значения показателя стекания вяжущего согласно ГОСТ 31015-2002 должны быть не более 0,20% по массе, а при подборе состава смеси рекомендуется, чтобы показатель стекания находился в пределах от 0,07% до 0,15% по массе. Щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь с добавкой РТЭП имеет повышенное значение показателя стекания – 1,25%, ЩМАС с добавкой Хризотоп имеет значение показателя стекания 0,20, т.к. гранулы Хризотопа плохо распушиваются на волокна. После предварительного разрушения гранул в фарфоровой ступке вручную до распушенного состояния показатель снижается до 0,07%.

Для ЩМАС с целлюлозными добавками значение показателя стекания составляет 0,16-0,18%, что соответствует требованиям ГОСТ 31015-2002.

В таблице 9 приведены результаты определения показателей свойств ЩМАС при введении стабилизирующих добавок непосредственно в смеситель без предварительного распределения в битуме. Показатели физико-механических свойств ЩМАС с добавками РТЭП, Viator 66, и РТЭП+Viator 66 примерно одинаковы за исключением показателя стекания. ЩМАС с добавкой РТЭП имеет показатель стекания 1,33, с добавкой Viator 66 – 0,13%, а с комплексной добавкой РТЭП+Viator 66 с расходом по 0,42% массы минеральной части каждая показатель стекания составляет 0,07%.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы. Стабилизирующие добавки существенно не влияют на свойства ЩМАС, за исключением показателя

теля стекания. По показателю стекания к стабилизирующим добавкам следует отнести целлюлозные и хризотил-асбестовые добавки. Добавка РТЭП не обеспечивает требуемого значения показателя стекания и работает в ЦМАС как структурирующая полимерная модифицирующая добавка.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соломенцев, А.Б. Оценка битумоудерживающей способности стабилизирующих добавок для щебеночно-мастичного асфальтобетона в асфальтовязущем [Текст] / А.Б. Соломенцев, И.А. Баранов // Строительство и реконструкция. – Орел: ОрелГТУ. – 2010. – №4(30). – С. 53-58.
2. ГОСТ 31015-2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия [Текст]. – М.: Госстрой России, 2003. – 29 с.
3. ТУ 5718-001-18268513-01. Стабилизирующая добавка VIATOR 66. Технические условия [Текст].
4. СТО 77142208-001-2007. Стабилизирующая добавка СД-1 ГБЦ для щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей. Стандарт организации [Текст].
5. ТУ 5711-001-38956563-2003. Добавки стабилизирующие «TECHNOCEL 1004» и «TOPCEL» для смесей щебеночно-мастичных асфальтовых. Технические условия [Текст].
6. ОДМ 218.3.001-2006. Методические рекомендации по применению полимерно-дисперсного армирования асфальтобетонов с использованием резинового термоэластопласта (РТЭП) [Текст]. – М.: Росавтодор, 2006. – 30 с.
7. ТУ 5718-011-0281476-2004. Гранулированный стабилизатор «Хризотоп». Технические условия [Текст].
8. ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний [Текст]. – М.: Госстрой России, 1999. – 57 с.

#### **Соломенцев Александр Борисович**

Орловский государственный технический университет

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство автомобильных дорог»

Тел.: +7 (4862) 73-43-48

E-mail: oantc@ostu.ru

#### **Баранов Игорь Александрович**

Орловский государственный технический университет

Ассистент кафедры «Строительство автомобильных дорог»

Тел.: +7 (4862) 41-98-77

E-mail: tmsi@ostu.ru

УДК 69

БОНДАРЕНКО В.М.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ**

*«Люди! Будьте бдительны!»  
Юлиус Фучек*

*Ключевые слова:* экологическое благополучие, природные ресурсы, техногенные отходы.

*«People! Be vigilant!»  
Julius Fuchek*

*Keywords:* ecological well-being, natural resources, technogenic waste.

Двадцатый век, отмеченный двумя мировыми войнами, масштабными региональными конфликтами, всеохватывающими экономическими кризисами, рождением и гибелью альтернативной вне рыночной социально общественной системы, ликвидацией планетарной колониальной структуры и созданием механизмов глобального принуждения, знаменателен переходом человечества в качественно новый этап существования – этап великих научно-технологических достижений и экологических бедствий.

В течение этого столетия численность населения Земли возросла с 1,6 до 7,0 млрд. человек, т.е. увеличилась более чем в 4 раза, а учетный мировой валовой продукт вырос более чем в 330 раз, т.е. с 60 млрд. долларов США до 20 трилл. долларов США. Если скорректировать приведенные цифры, вычитая из них объемы материально безресурсных посреднических и банковских услуг, то можно принять, что мировой валовой продукт в годовом исчислении в течение XX века вырос в 10-15 раз. Соответственно возросли изъятие природных ресурсов и выбросы в окружающую среду техногенных отходов.

Одним словом, если к началу XX века процесс разрушения человеком биосферы Земли еще уравнивался ее самовосстановлением, то к началу XXI века мощность разрушения биосферы значительно превысила мощность ее самовосстановления.

По критериям Вселенной, вечным во времени и бесконечным в пространстве, деятельность человечества заключается лишь в уничтожении природы и в производстве загрязнений. Согласно мнению В.И. Данилова-Данильяна, «человечество не изобрело ничего, что могло бы заменить биоту в качестве регулятора окружающей среды, но за время своего существования уничтожило 70% естественных экосистем, способных перерабатывать отходы».

Поэтому если до XXI века задача заключалась в поиске осуществляемого с помощью новых технологий компромисса между природопользованием и природовосстановлением и это называлось оптимизацией, то ныне, когда масштабы необратимого и некомпенсируемого разрушения природной среды превысили критические пороги и экологическая катастрофа на планете весьма, весьма вероятна, вплоть до неотвратимости, речь может только идти сначала об относительной, а затем (чем раньше, тем лучше) об абсолютной минимизации расхода невозобновляемых природных ресурсов и загрязнений природной среды.

Очевидно, что экологическое благополучие Земли и объемы природопользования могут сбалансироваться только при условии восстановления экологозащитного потенциала

\* Раздел сформирован по материалам заседания ученого совета отделения градостроительства Российской академии архитектуры и строительных наук «Город биосферосовместимый – город, развивающий человека» (РААСН, март 2010, г.), научного семинара в Московском государственном университете путей сообщения «Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека» (МИИТ, июнь, 2010 г.), а также по материалам проведения круглого стола в рамках Орловского экономического форума «Биосферосовместимые города будущего» (ОрелГТУ, октябрь, 2010 г.).

среды жизнедеятельности людей, смены нравственных и социальных ценностей, стабилизации численности населения в соответствии с хозяйственной емкостью биосферы. Причем, согласно ряду независимых исследований, объективные возможности биосферы допускает численность землян не более 800,0 млн.-1,0 млрд. человек. При этом человечество должно искать и находить ресурсозаменяющие, безотходные и энергоэффективные технологии, возобновляемые источники энергии.

Здесь также уместно привести утверждение великого индийского мыслителя М. Ганди «...цивилизация, в подлинном смысле этого слова, не в умножении потребностей, а в свободном и хорошо продуманном ограничении желаний». Однако минимизация расчетного среднего удельного потребления не решает задачи обеспечения баланса суммарного природопользования и природовосстановительного потенциала планеты. Речь идет об общем, суммарном объеме потребления и, в конечном счете, о допустимой численности населения Земли. Но это уже ставит вопрос о рыночной целесообразности существования большей части человечества. Действительно, на современном этапе технологического развития производительность такова, что общий суммарный объем потребления может быть обеспечен трудом небольшой части населения, а остальные люди с «рыночных позиций» оказываются лишними, а дальше сокращение «лишних» людей приводит к уменьшению суммарного объема потребления и т.д. Процесс «рационализации» численности населения Земли неизбежно приобретает необратимый характер.

В связи с этим напомним, что многие выдающиеся представители мирового научного сообщества, среди которых видное место занимают наши соотечественники В.И. Вернадский, П.Л. Капица, Н.Н. Моисеев, В.А. Коптюг, В.И. Осипов, С.В. Яковлев, В.В. Найденко, В.В. Владимиров, Е.К. Федоров своевременно вскрыли опасность для цивилизации игнорирования экологических и демографических проблем и внесли фундаментальные предложения по принципам и корректировке уклада жизнедеятельности Земли.

США, имея 5% мировой численности населения, потребляют 40% мировых ресурсов и ежегодно выбрасывают в окружающую среду 300 млн. тонн опасных отходов (более половины всех отходов землян), и поэтому несут наибольшую ответственность за нынешнее состояние биосферы. Они, следуя не конкретно рыночным, а системным законам борьбы на уничтожение конкурентов, подтверждая суждения известного американского политолога Т. Фридмана «...невидимая рука рынка никогда не окажет своего влияния в отсутствие невидимого кулака: Мак Дональдс не может быть прибыльным без Мак Дониел Дугласа, производящего FIS. Невидимый кулак... наземные, морские и воздушные вооруженные силы, также корпус морской пехоты США», и в полном соответствии с правилом Нобелевского лауреата И. Пригожина для сложно организованных социальных систем об «энтропии неупорядоченности», используя финансово-экономические методы экспансии и применяя военную силу, сбрасывают свои трудности во все остальные страны мира (и одновременно, в целях снижения численности землян США финансируют исследования по разработке генно-модифицированных пищевых добавок, способных необратимо подавлять репродуктивный потенциал наций и рас).

Между тем, еще в 1987 г. Всемирная комиссия по окружающей среде и развитию, созданная ООН (1983 г.), представила меморандум «Наше общее будущее», в котором человечество предупреждалось о том, что если коренным образом не изменить образ жизни людей, то им предстоят необычные, ни с чем не сравнимые испытания.

Другими словами, изложенное совокупно предупреждает, что если современные демографические тенденции и интенсивность природоиспользования сохранятся, то в ближайшем будущем, к середине XXI века человечеству грозит глобальная катастрофа; абсолютный некомпенсируемый дефицит резервов жизнеобеспечения (в т.ч. продовольствия, качественной питьевой воды, жилища), запредельный упадок производства, исчерпание природных ресурсов, сверхопасное загрязнение среды обитания; массовая хаотичная миграция землян, чреватая непредсказуемыми кровавыми последствиями...т.е. деградация цивилизации, дебилизация большинства народов Земли.

Численность населения Земли будет лавинно уменьшаться, человеческая популяция, пройдя стадии неустойчивого состояния, практически (кроме, нескольких небольших анклавов архаичного быта) обнулится.

Несмотря на настоятельные предупреждения ученых и аналитиков-прогнозистов большинство землян еще не осознают, какая страшная угроза их существованию заключается в безответственном насилии над природой.

В связи с этим уместно напомнить заявление Мориса Стронга, генерального секретаря конференции ООН по проблемам экологии и устойчивого социально-экономического развития мира, состоявшейся в 1992 г. в Рио-де-Жанейро, как базового тезиса интеллектуального авангарда мирового сообщества: «Модель развития, использовавшаяся богатыми странами, исчерпала себя, и ее повторение может привести человеческую цивилизацию к краху». Таким образом, проблема заключается в необходимости десятикратного уменьшения нагрузки на природную среду, а ее решение требует всеобщего консенсуса и выработки новейших технологий управления существованием.

Очевидно, что в методическом плане соответствующие задачи формулируются в нелинейной, неравновесной, энтропийной многофункциональной системной постановке. Основы управления аналогичными системами российская наука уже разработала, в частности, применительно к массовым процессам. Отсюда следует, что для России, наряду с социальными, военными, экономическими и экологическими факторами национальной безопасности, важнейшей составляющей является интеллектуальная обеспеченность.

Только на этой основе Россия преодолет трудности и вновь займет достойное место в международной иерархии.

Несмотря на кризис мировой экономики и политических институтов, запредельную имущественную дифференциацию общества, люмперизацию населения и пауперизацию рабочей силы, но с учетом ресурсной и кадровой самодостаточности, Россия имеет возможность кардинального устойчивого улучшения качества жизни россиян и сохранения суверенности российского государства. И вместе с тем, все опаснее становится возникший и увеличивающийся разрыв между интеллектуальным авангардом российского общества и средним уровнем ментальности российского населения.

В целом, в начале третьего тысячелетия перед людьми стоит исторический судьбоносный вопрос: кто мы: человечество или человеки? Человечество – организованное, взаимответственное сообщество существ разумных, совокупный интеллект которого выведет цивилизацию из экологического тупика; человеки – сборище эгоистичных (хищных) индивидумов, которое не может и не хочет вырваться из состояния загнивания и неизбежной гибели, и достойно войти в будущее. Речь идет о выборе, обосновании и реализации принципов и технологий дальнейшего существования мира. Нужен новый рывок в грядущее.

От россиян обстановка требует объективной оценки фактически сложившейся ситуации и концентрации всех ресурсов страны и усилий всех соотечественников в целях своевременного и достаточного противостояния надвигающемуся бедствию.

Россия занимает 1/8 часть земной суши – 1710,0 млн. га, из которых 1100 млн. га расположены в зоне вечной мерзлоты, а 66 млн.га относятся к загрязненным площадям и свалкам. Площадь сельхозугодий составляет 222 млн. га, в т.ч. лишь 132 млн. га – пашня, причем примерно 1/3 пашни реально не возделывается, т.е. около 40% сельхозугодий выведено из хозяйственного оборота.

а) за последние 20 лет (в связи с уменьшением объема промышленного производства (загашено примерно 50% домен страны, внутрироссийское потребление нефти на одного человека в год снизилось в 3 раза – с 2,2 тонн/год чел. до 0,7 тонн/год чел. и т.п.), уменьшился выброс в окружающую среду техногенных отходов;

б) однако в связи с выводом из эксплуатации многих водо-воздухоочистных мощностей, связанным с износом, повреждением и другими причинами, в стране увеличился токсикологический уровень загрязнений окружающей среды;

в) самое неприемлемое состоит в том, что с 1991 года практически прекратился капитальный ремонт жилого фонда и связанных с ним объектов инженерно-коммунальной инфраструктуры; их износ к настоящему времени составляет в среднем 80%. Так, в частности,

если в 1980 году в России было капитально отремонтировано 55 млн.м<sup>2</sup> жилья, то в 2000 году – 4 млн. м<sup>2</sup>, т.е. в 14 раз меньше.

Для поддержания удовлетворительного состояния объектов жизнеобеспечения требуется в год проводить капитальный ремонт (или реконструкцию) не менее 4-5% зданий, сооружений, коммунальных предприятий; фактические объемы капремонтов в настоящее время примерно в 25 раз меньше необходимого объема, т.е. составляют 0,4% от потребности. Следствием этого является ежегодный прирост площадей аварийного и ветхого жилья и других коммунальных объектов.

В итоге, более 300 млн. м<sup>2</sup> жилья и почти все предприятия коммунального обеспечения требуют немедленного ремонта и переоснащения; однако вместо этого ведется значительное строительство коммерческих жилых домов (по стоимости, практически недоступного для подавляющего большинства граждан страны).

Абсолютное большинство «собственников жилья» не в состоянии финансировать соответствующие работы (в настоящее время, стоимость капитального ремонта рассчитывается по цене 20 тыс. руб./м<sup>2</sup>, что соизмеримо с себестоимостью нового строительства).

И вместе с тем требуется сказать, что намерение администрации переложить расходы на капитальный ремонт и другие виды технологического обслуживания на «собственников» приватизированного жилья не легитимно, ибо для его легитимизации требовалось в процессе приватизации передать этим собственникам для капитальных ремонтов накопленные амортизационные средства.

Одновременно в сельской местности, где проживает 1/4-1/5 населения страны, жилой фонд необратимо поврежден, а быт людей архизируется.

Нынешняя климатическая аномалия – длительная засуха и рекордно высокие температуры в зернопроизводящих регионах, небывалые территориальные пожары – это не только иллюстрация значимости экологической составляющей в судьбе страны, но и угроза продовольственной безопасности России: объемы заготовок 2010 года всех полевых культур снизились на треть, а обезвоженность почвы очень усложняет посев озимых зерновых.

Синхронность крупномасштабных ливневых наводнений в Пакистане, в ряде близлежащих стран Европы не только вызывают тревогу за судьбы их населения, но и заставляют задуматься над возможностью искусственного происхождения нахлынувших бедствий.

Итак, суровый, холодный климат России (так, средняя годовая температура в России – 5,5°С, а в Финляндии +1,5°С) и недостаточные доходы абсолютного большинства россиян без срочной модернизации жилья совокупно ведут к национальной беде – трущобному жизнеустройству. Предотвратить надвигающиеся бедствия – историческая сверхзадача Российского государства, всех россиян.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильичев, В.А. Биосферосовместимые технологии регионального развития [Текст] / В.А. Ильичев, И.А. Малмыгин. – Москва, 2009.
2. Ильичев, В.А. Принципы преобразования города в биосферосовместимые и развивающие человека [Текст] / В.А. Ильичев // Промышленное и гражданское строительство. – №6. – 2010.
3. Бондаренко, В.М. Проблемы и альтернативы в судьбе России [Текст] / В.М. Бондаренко, Б.В. Гусев. – Москва: ЗАО ПСТМ, 2007.
4. Моисеев, Н.И. Экология человечества глазами математика [Текст] / Н.И. Моисеев. – Москва: Молодая гвардия, 1988.
5. Данилов-Данильян, В.И. Экологический вызов и устойчивое развитие [Текст] / В.И. Данилов-Данильян, К.Л. Лосев. – Москва: Прогресс-Традиция, 2000.
6. Бондаренко, В.М. Экологическая безопасность и природопользование [Текст] / В.М. Бондаренко, В.И. Римшин. – Москва: БСТ, 2002.
7. Бондаренко, В.М. Экологическая презумпция современности [Текст] / В.М. Бондаренко, В.И. Римшин // Материалы 2-ой Международной конференции «Днепр». – Смоленск, 2002.

### **Бондаренко В.М.**

Московская государственная академия коммунального хозяйства и строительства, г. Москва  
Академик РААСН, доктор технических наук, профессор  
Тел.: +7 (495) 678-32-05

БОНДАРЕНКО И.А.

## ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕХОДА К ИДЕОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ПОСЕЛЕНИЙ, СОВМЕСТИМЫХ С БИОСФЕРОЙ ЗЕМЛИ

*В статье рассматривается актуальная проблема выработки принципиально новых профессиональных подходов к проектированию поселений с целью гармонизации их с ландшафтами и биосферой. Обосновывается приоритетность учета природных факторов в архитектурно-градостроительной деятельности.*

**Ключевые слова:** градостроительство, архитектура, экология, биосфера, антропогенные ландшафты, природосообразные поселения.

*In the paper the current problem of the development of fundamentally new professional approaches to settlement design with the purpose of their harmonization with biosphere is considered. The priority of natural factor accounting in architectural – town planning is substantiated.*

**Keywords:** town planning, architecture, ecology, biosphere, man-made landscapes, nature-conformable settlements.

Можно установить принцип совместимости наших городов с окружающей биосферой, подсчитывая количество вредных выбросов в сочетании с природными механизмами самозащиты и нейтрализации этих выбросов. Это поможет установить определенные санкции и взять ситуацию под более четкий контроль. Однако нельзя ограничиваться только такими поддающимися измерению и расчетам параметрами. Если все сводится к ним, то закономерно возникает отношение к обозначенной проблеме как к «делу техники». Пусть инженеры и экологи вместе с биологами, гигиенистами и медиками вместе решают ее, а у нас – архитекторов – свои функциональные, социально-экономические, культурно-исторические, художественно-эстетические и прочие высокие задачи. Так думают многие. Вернее продолжают думать, поскольку привыкли к такого рода постановке вопроса.

Провозглашавшиеся не раз в советское время лозунги – «Зеленый город», «Здоровый город» подразумевали разделение труда гигиенистов, разрабатывавших свои показатели и нормативы, и архитекторов, которые должны были, укладываясь в эти нормативы, создавать, тем не менее, полноценные архитектурно-пространственные композиции и ансамбли, отвечающие внутрипрофессиональным критериям качества.

Я вижу свою задачу в том, чтобы показать, насколько изменилось время и как сильно должно меняться профессиональное мышление архитекторов и градостроителей.

Прежде всего надо обратить внимание на известную сентенцию: «Все во имя человека и все во благо человека». В связи с этим на память невольно приходит ренессансное утверждение: «Человек – мера всех вещей». Такая антропоцентрическая картина мира легла в основу гуманистических идеалов нового времени. В то же время она имела определенные религиозные основания. Я имею в виду библейскую традицию именованного человека – «венцом творения». Сотворенные в последний – шестой день люди, согласно богословским представлениям, «по образу Божию более, чем ангелы» [1]. Им дана земля в пользование и кормление, они здесь главенствуют над всеми другими «тварями». Однако богословы непременно указывали на греховность человека, который изгнан из рая и должен испытывать тяготы жизни. Он только «по образу» выше ангелов, по «подобию» же, в силу грехопадения, «гораздо ниже добрых ангелов» [1]. Сам по себе человек немощен, он не может обходиться без божьей помощи. «Все от Бога» и «все во власти Господа». Конечно, в Боге, а не в человеке заключена «мера всех вещей» – так мыслили в эпоху Средневековья.

Новое время породило новое мировоззрение и новую науку, которая стала формулировать законы природы, обходя, оставляя за скобками понятие Бога. Наиболее четко в этом

отношении обозначили свою позицию просветители, называвшие себя деистами. Они признавали существование Бога, но считали, что сотворив мир и дав ему законы, он полностью отстранился и не принимает теперь участия в том, что происходит. Поэтому физическая картина мира должна строиться без включения в нее иррациональных и мистических сил. В европейской науке XVIII в. сформировался обязательный принцип: «Не должно вводить Бога в научную теорию, даже если ты веришь в него» [2]. П.С. Лаплас, создавший очень стройную и претендующую на всеохватность научную систему, прославился своим ответом на вопрос Наполеона: «Какое место отводится Богу в Вашей системе?». Ответ звучал примерно так: «Моя система не нуждается в этой гипотезе».

Такое размежевание науки богословия, освобождение исследовательской, а затем и художественной, и всякой творческой деятельности от опеки церкви сыграло, безусловно, важную и по своему продуктивную роль в развитии человека, его культуры и цивилизации. Вместе с тем оно привело к чрезмерному возрастанию человеческого самомнения. Дело дошло до воцарения атеизма и материализма. Это позволило презреть все традиции и начать хозяйничать на земле самым бесцеремонным образом. Призывы не ждать милости от природы, а брать от нее все то, что потребуется, закономерно возникли на такой почве. Важнейшим показателем успехов индустриальной цивилизации стала считаться независимость жизни и работы людей от природно-климатических факторов. Это значит, что исконные общечеловеческие традиции почитания природы и органичного встраивания в нее оказались не только как бы изжитыми, но нарочито отринутыми и перевернутыми. Отсюда исходили многочисленные инициативы властей и по перепланировке городов и сел на регулярной основе, и по осушению болот, и по повороту рек, и по созданию искусственных морей. Грандиозный план преобразования природы в СССР был намечен в последние годы жизни Сталина. Его реализации помешала смерть вождя. Но продолжение следовало и при Хрущеве, и при Брежневе, и до сих пор возникают аналогичные позы.

Нельзя сказать, что только советская власть была столь циничной и грубой по отношению к природе. Во всем мире в XIX-XX веках царил прагматизм и практицизм, нещадно эксплуатирующий не только людей, но и саму землю. Критика капитализма в этом отношении совершенно справедлива. В качестве оправдания жестоких перемен выдвигались идеи спасительной для человечества научно-технической революции, чреватой неизбежными жертвами, но ведущей в конечном итоге к обществу всеобщего благоденствия. Наверное, это все-таки благо – стремительное развитие науки, новых технологий, а с ними и раскрытие новых способностей и возможностей человека. Однако, запущен односторонний лавинообразный процесс, крайне опасный для планеты Земля.

Нельзя продолжать политику подчинения всего и вся интересам человека. Надо действовать в интересах природы, помещая в центр внимания не столько человека, сколько саму землю и небо со всеми их обитателями. На самом деле в этом кроются истинные и насущные интересы человечества.

Об этом говорят уже довольно давно и все более настойчиво. Однако, градостроители и архитекторы, развивая тему эко-поселений, экологичной или «зеленой» архитектуры, мыслят все же преимущественно по-старому, ставя во главу угла комфорт и здоровье человека. Вроде бы, иначе и не может быть, – ведь здания и города строятся для людей. Однако они появляются на земле, становясь частью ландшафта, следовательно, должны строиться не только в интересах людей, но и природы. Сегодня продолжается волонтаристский захват территорий, на которых возводятся искусственные сооружения, рассчитанные на оборону человека от природных стихий. А надо не захватывать и отторгать от природы то, что заблагорассудилось, но подлаживаться, тактично встраиваться в ландшафтные ситуации, предрасположенные к тому. Надо демонстрировать и на самом деле проявлять уважение и любовь человека к природе.

Появление словосочетания «биосферно-совместимые» поселения в стратегической задаче фундаментальных научных исследований РААСН знаменует качественный перелом в осмыслении указанной проблемы. Справедливости ради надо заметить, что еще в 1970-х го-

дах к этому подошел Б.Б. Родман [3]. Однако до сих пор все еще преобладают эгоцентрические приоритеты. Вопрос мало проработан теоретически и плохо укладывается в головах не только обывателей, но и профессиональных архитекторов и урбанистов.

Обосновывая необходимость биосферной совместимости городов, В.А.Ильичев в одном из своих докладов заметил, что основоположник учения о биосфере В.И. Вернадский напрасно выдвинул идею грядущего господства сферы человеческого разума – «ноосферы». Тем самым он указал путь еще большего возвышения человека над природой, что, впрочем, было в духе того времени. Теперь же мы видим, как подавляется и нещадно эксплуатируется биосфера этим самым «человеком разумным» – «*homo sapiens*». Соглашаясь в общих чертах с таким ходом рассуждений, стоит добавить, что и понятие гуманизма при его абсолютизации ведет к тем же печальным последствиям. Правильно говорили отцы церкви о человеческой гордыне как о главном источнике всех прегрешений. Другое дело, что ноосферу Вернадского можно представить как выход за пределы традиционных человеческих возможностей. Только в таком сверхчеловеческом качестве она будет спасительна для Земли. Также и понятие гуманизма должно получить возвышенно-метафорическое значение. Признаки этого действительно появляются, в частности, когда мы говорим о гуманизации среды жизнедеятельности, имея ввиду реабилитацию и защиту ландшафтов с их естественной флорой и фауной.

В 1990-е годы по плану РААСН в НИИТАГе А.П.Кудрявцев вел тему, посвященную анализу новых творческих тенденций, связанных с развитием экологического движения. На многих ярких примерах из мировой архитектурной практики он показывал, как преобразуется традиционное профессиональное мышление. Правда не всеми принималась такая точка зрения. В частности, И.Г. Лежава заявлял, что у архитектуры есть свои собственные основания, импульсы и стимулы развития, а требования экологии, также как и ресурсо- и энерго-сбережения, можно выполнять при любых концепциях формообразования. Так думают многие архитекторы и сегодня, о чем я упоминал в начале, но с этим нельзя соглашаться. Архитектура не может быть «вещью в себе». Она всегда была встроена в социум и эволюционировала под прямым и косвенным воздействием идеологии, политики, экономики и разного рода культурных установок. Раз так, то и в наше время она должна чутко реагировать на становление новой мировоззренческой парадигмы. Отказ от такого реагирования и ведет к предрекаемой многими смерти архитектуры как великого искусства.

Из сказанного следует, что одних технических средств для решения проблем экологии и бесконфликтного, органичного встраивания поселений в биосферу явно недостаточно. Можно, конечно, создать комфорт при помощи искусственного освещения, принудительной вентиляции, кондиционирования. Но задача, которую мы начали осознавать и ставить перед собой, гораздо более серьезная и ответственная. Надо добровольно отказываться от демонстрации в архитектуре и градостроительстве и человеческого высокомерия, безбоязненного покорения природы и господства над ней.

Относительно недавно выдвинуто предложение наделить саму Землю статусом юридического лица с тем, чтобы появилась необходимая упругость во взаимоотношениях между людьми и эксплуатируемыми ими ландшафтами [4]. Причины и цели появления такого предложения вполне понятны. Но есть опасение, что благое начинание обернется профанацией, поскольку от имени Земли будут выступать те же люди.

Очень сомнительна идея равенства и партнерства сторон. Мне представляется нужным выстраивать не партнерские, а иерархические отношения, исходящие из признания слабости человека перед силами и тайнами природы, несмотря на все головокружительные достижения научно-технического прогресса. Человек должен понять, что он вовсе не хозяин земли, а лишь ее обитатель, частица большой и неподвластной ему системы. Тогда этика его поведения получит более четкие и строгие критерии и регламенты. По сути дела, речь идет о возрождении «давно забытого старого» – иерархической картины мира, в которой каждый элемент занимает подобающее ему место. Не диалектическая борьба и шаткое единство противоположностей, а последовательное восхождение от низшего к высшему по ступеням иерархической лестницы – вот, что нужно для достижения органического единения разнокачественных элементов и устойчивого эволюционирования глобальной системы.

В заключение попытаюсь кратко сформулировать содержание новых требований, предъявляемых к профессиональной деятельности архитекторов и градостроителей.

1. Необходима достоверная и всеохватывающая геоинформационная система. Территориальное планирование и градостроительное проектирование должно не учитывать как сейчас – лишь по мере возможностей наличие ценных ландшафтов, лесов и популяций редких животных, но иметь в качестве основного приоритета заботу об их сохранении, воссоздании и преумножении. Надо исправлять ошибки и залечивать травмы, нанесенные Земле человечеством.

2. Нельзя допускать разрастания городов в виде сплошных массивов – «масляных пятен». Их надо расчленять, пронизывая реабилитируемыми ландшафтами, парками и садами. Отказаться следует и от линейных поселений, пересекающих и перерезающих обширные территории. Не урбанизация должна распространяться сплошными полосами, а природные массивы должны соединяться непрерывными коридорами.

3. Приходит время утверждения концепции дисперсного расселения, означающего вкрапление небольших поселений в целостную природную среду. Люди будут предпочитать жить не в высокоурбанизированных «кластерах» с вылазками на природу, а на природе с возможностью посещения, по мере необходимости, крупных городских центров. Развитие коммуникаций и обеспечение безопасности обязательно приведут к этому.

4. Отдельные здания, архитектурные комплексы и поселения в целом должны чутко реагировать на природную ситуацию и органично вписываться в нее. Возрождения ждут традиции ориентации планировочных осей по странам света и по значимым приметам местности (ведь у всех народов были свои аналоги китайского фен-шуй). Это необходимо, так как люди устали от дезорганизующего воздействия абстрагированных архитектурных композиций.

5. Требуется добровольный и сознательный отказ от жестких волевых формотворческих и композиционных решений, агрессивно врезающихся в естественное окружение. Архитектурная форма должна не навязываться этому окружению, а подлаживаться под него, наглядно демонстрируя уважительное, заинтересованное и даже трепетное отношение человека к Земле и небу, к биосфере и к неживой природе тоже. Тем самым будет возвращено почти полностью утраченное понимание того, что архитектура должна служить украшением Земли. Это исключает циничный нигилизм и творческое хулиганство, а требует искренней чистоты и богодухновенности.

Только умерив свои амбиции и аппетиты, только признав величие природы и почувствовав настоящее восхищение ею, человек сможет создавать природосообразные и мирно уживающиеся с биосферой поселения, также как и отдельные здания, не отторгаемые, а принимаемые Землей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исихазм и русская живопись XIV-XV вв. [Текст] // Византийские времена. Т. XXIX. – М., 1968. – С. 209.
2. Астрономия. Энциклопедия для детей. – М., 1997. – Т. 8. – С. 151.
3. Родоман, Б.Б. Поляризация ландшафта как средство сохранения биосферы и рекреационных ресурсов [Текст] // Ресурсы, среда, расселение / Б.Б. Родоман. – М. – 1974. – С. 54-62.
4. Ильичев, В.А. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека [Текст] / В.А. Ильичев. – Градостроительство. – 2009. – № 3. – С. 20-30.

**Бондаренко Игорь Андреевич**

Научно-исследовательский институт теории и истории архитектуры, г. Москва  
Доктор архитектуры, профессор

БАКАЕВА Н.В., ШИШКИНА И.В.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ УЧРЕЖДЕНИЙ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

*Предлагается вариант модели прогнозирования уровня заболеваемости студентов вузов на основе методики установления корреляционных связей и построения множественной регрессии с использованием многофакторного нелинейного анализа. Приводятся полученные прогнозные значения заболеваемости студентов вузов на примере г. Орла.*

**Ключевые слова:** образовательная среда, биосферная совместимость, безопасность, прогнозирование, корреляционная связь, регрессия, анализ, модель.

*The variant of model of forecasting of level of disease of students of high schools on the basis of a technique of an establishment of correlation communications and construction of plural regress with use of the multiple-factor nonlinear analysis is offered. The received look-ahead values of disease of students of high schools on Oryol example are resulted.*

**Keywords:** Educational ambience, biospheric compatibility, safety, forecasting, correlation communication, regress, analysis, model.

Проблема обеспечения безопасности объектов образования и сохранения здоровья обучающихся, профессорско-преподавательского состава и сотрудников носит социо-эколого-экономический характер [1]. Для нашей страны это глобальная проблема, ибо благополучие подрастающего поколения, здоровье и образование, патриотическое, морально-этическое и духовно-нравственное воспитание молодежи определяет будущее любого общества и перспективы обеспечения безопасности среды жизнедеятельности.

Экологическое состояние городской среды непосредственно связано с градоэкологически обусловленными заболеваниями населения из-за загрязненности окружающей среды вредными для здоровья человека выбросами, неблагоприятного воздействия на человека таких факторов как шум, электромагнитное излучение, радиация, инфразвук, а также других «продуктов» техногенной цивилизации. Экологическое регулирование стало одной из главных проблем обеспечения прогрессивного развития любого города, поселения, урбанизированной территории. При этом экологические цели развития должны быть, безусловно, приоритетными, а средства их достижения – вектором государственной политики, способствующей укреплению здоровья подрастающего поколения, получению им качественного образования, формированию достойной среды обитания.

В рамках проекта «Разработка концепции устойчивого биосферно-совместимого функционирования объектов системы высшего профессионального образования и целевой программы предупреждений и защиты от чрезвычайных и кризисных ситуаций» в 2009 году были проведены статистические исследования [2], которые свидетельствуют, что источником неблагоприятного состояния городской среды и динамики изменения ее состояния, в т.ч. и образовательной среды учреждений ВПО, является ряд факторов загрязнения окружающей среды от различных источников.

Опираясь на методику установления корреляционных связей и построения множественной регрессии с использованием многофакторного нелинейного анализа, предложенную в работе [3], была решена задача построения модели прогнозирования уровня заболеваемости студентов вузов. Построенная модель отвечает одному из принципов преобразования среды жизнедеятельности человека в биосферосовместимую и развивающую [4].

В качестве объекта исследования была выбрана образовательная среда учреждений ВПО, для которой необходимые статистические сведения были предоставлены Управлением

образования и молодежной политики Департамента образования, культуры и спорта Орловской области, а также ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Орловской области» [5].

Согласно полученным данным, в г. Орле и Орловской области располагается восемь государственных вузов, в том числе четыре филиала и одно представительство. Общее количество образовательных программ высшего профессионального образования составляет 258 специальностей и направлений подготовки. Количество студентов очной и очно-заочной форм обучения на 1 января 2010 года составило 45 577 человек.

С этих позиций с учетом имеющихся статистических данных в прогнозной модели в качестве исследуемой функции  $y$  принимаем «Уровень заболеваемости студентов вузов анемиями» как показатель, отражающий состояние здоровья студентов и способствующий развитию других различных заболеваний, а в качестве аргументов функции – ряд негативных факторов, предположительно оказывающих существенное влияние на рост заболеваемости, а именно: выбросы в атмосферу, объем загрязненных сброшенных сточных вод, загрязнение радоном.

Динамику роста заболеваемости студентов орловских вузов анемиями отражает зависимость (1), представленная на рисунке 1.

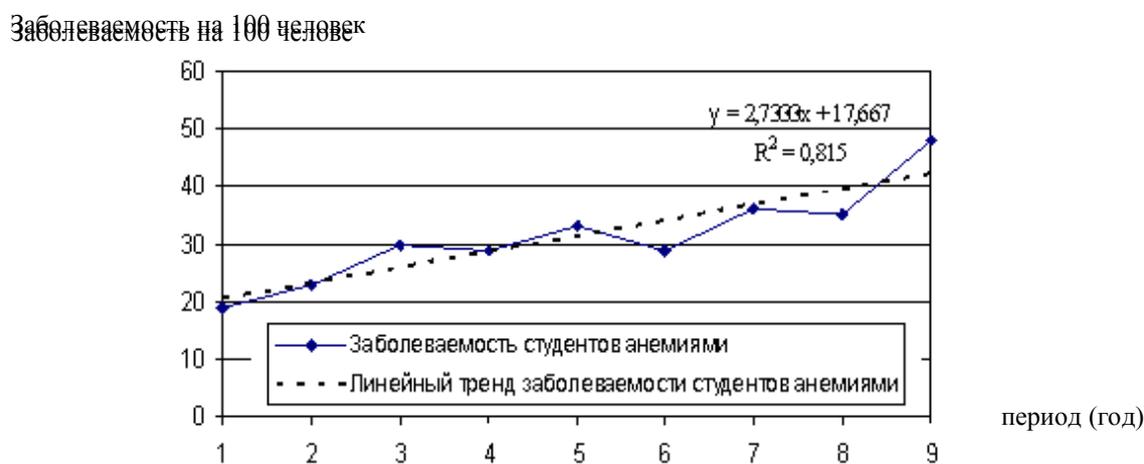


Рисунок 1 – Сравнение поля корреляции заболеваемости студентов г. Орла анемиями с графиком его тренда

Тренд этого показателя носит явно выраженный характер линейной зависимости. В качестве аппроксимирующей функции этой переменной при помощи средств ПК Microsoft Excel была выбрана зависимость:

$$y = 2,7333x + 17,667. \tag{1}$$

С учетом (1) построим прогноз изменения заболеваемости студентов вузов г. Орла анемиями на 2010 год (10 точка временного ряда) и предстоящий 2011 год (11 точка временного ряда):

$$y(10) = 2,7333 \cdot 10 + 17,667 = 45;$$

$$y(11) = 2,7333 \cdot 11 + 17,667 = 47,73.$$

Очевидно, что в ближайший период ожидается рост количества заболеваний.

Поскольку тренд является интегральной характеристикой процесса, то его описание должно быть дополнено корреляционно-регрессионным анализом, позволяющим не только оценить влияние отдельных факторов на результирующий признак с помощью построенной модели, но и спрогнозировать события. Для этого установим связь между переменной  $y(x)$  – «Заболеваемость студентов анемиями» и  $m$ -независимыми факторами  $z_1, z_2, \dots, z_m$  в виде функции регрессии:

$$y(x) = f(z_1, z_2, \dots, z_m), \tag{2}$$

которая показывает, каково будет в среднем значение переменной  $y$ , если переменные  $z_1, z_2, \dots, z_m$  примут конкретные значения.

## Строительство и реконструкция

В качестве исследуемых примем следующие факторы: суммарные выбросы в атмосферу от стационарных источников и передвижных источников –  $z_1$ , объем сброшенных сточных вод –  $z_2$ , данные по загрязнению радоном –  $z_3$  [5]. Принимая во внимание способность биосферы к самовоспроизводству при существующих концентрациях поллютантов в качестве фактора нейтрализующего антропогенное воздействие на биосферу и снижающего риск возникновения заболеваний в уравнении регрессии примем показатель лесовосстановления по Орловской области (таблица 1) [5, 6].

Таблица 1 – Значения показателя лесовосстановления

Годы	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Значение показателя лесовосстановления, тыс. га	626	405	406	371	306	230	211	202	198

Для определения наиболее существенных факторов из выбранных для построения модели проведем корреляционный анализ. В таблице 2 приведены полученные средствами ПК MS Excel значения коэффициентов парной корреляции.

Таблица 2 – Корреляционная таблица

	Заболеваемость студентов анемиями, $y$	Выбросы в атмосферу, $z_1$	Объем загрязненных сброшенных сточных вод, $z_2$	Загрязнение радоном, $z_3$	Лесовосстановление, $z_4$
Заболеваемость студентов анемиями, $y$	1				
Выбросы в атмосферу, $z_1$	0,804915	1			
Объем загрязненных сброшенных сточных вод, $z_2$	-0,83419	-0,83721	1		
Загрязнение радоном, $z_3$	0,636577	0,736421	-0,85812	1	
Лесовосстановление, $z_4$	-0,80164	-0,88863	0,854059	-0,75615	1

Анализ матрицы коэффициентов парной корреляции показывает, что зависимая переменная «Заболеваемость студентов анемиями»  $y$  имеет тесную связь с выбросами в атмосферу  $z_1$ :  $r_{yz_1} = 0,804915$ .

Факторы «объем загрязненных сброшенных сточных вод»  $z_2$  и «лесовосстановление»  $z_4$  отрицательно коррелированы с ростом заболеваемости студентов. Однако фактор  $z_4$  тесно связан не только с объясняемой переменной  $y$ , но и с факторами:  $r_{z_4z_1} = 0,88863$ ,  $r_{z_4z_2} = 0,854059$ , что свидетельствует о наличии коллинеарности, т.е. линейной зависимости между факторами.

Переменные «выбросы в атмосферу (от стационарных и передвижных источников)»  $z_1$  и «объем загрязненных сброшенных сточных вод»  $z_2$  оставляем в модели, поскольку связь их с результирующим признаком высокая и парная корреляция между ними невелика:  $r_{z_1z_2} = 0,83721$ .

В итоге модель приобретает вид:

$$\hat{Y} = a_1 + a_2z_2 + a_3z_3. \quad (3)$$

Оценку параметров  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  двухфакторной регрессии – коэффициентов уравнения (3), проведем методом наименьших квадратов, при этом используем данные, приведенные в таблице 3.

Таблица 3 – Статистические данные объясняемого и объясняющих факторов (по данным Управления Роспотребнадзора по Орловской области)

$y$	$z_1$	$z_2$
19	104,1	84,74
23	105,8	86,09
30	111,88	80,08
29	111,95	79,11
33	118,46	78,41
29	116,07	69,45
36	115,73	69,59
35	119,69	63,26
48	118,06	62,13

Непосредственное вычисление вектора оценок  $a = |a_i|, i=1...3$  параметров регрессии по формуле:

$$a = (Z^T Z)^{-1} Z^T Y, \quad (4)$$

где  $Z$  – матрица размерности  $(10 \times 3)$ , содержащая вектор-столбцы переменных  $z_1, z_2, z_3$  в указанном порядке (таблица 3), а  $Y$  – вектор столбец размерности  $(9 \times 1)$  значений объясняемого фактора дает результат:

$$a = |a_i| = \begin{pmatrix} 8,4026 \\ 0,5304 \\ -0,4988 \end{pmatrix}, i=1...3.$$

Таким образом, получено уравнение регрессии:

$$\hat{Y} = 8,4026 + 0,5304 \cdot z_1 - 0,4988 \cdot z_2. \quad (5)$$

Расчетные (предсказанные) значения  $\hat{Y}$  определяются путем последовательной подстановки в эту модель значений факторов, взятых для каждого уровня  $x$  временных рядов  $z_1$  и  $z_2$ .

Тренд (5) с учетом случайных отклонений, неизбежно сопутствующих реальному динамическому процессу, примет вид:

$$y(x) = \hat{Y} + \varepsilon(x), \quad (6)$$

где  $\hat{Y}$  – тренд развития (долгосрочная тенденция или устойчивое, систематическое изменение процесса в течение продолжительного времени);  $\varepsilon(x)$  – случайная (остаточная) компонента.

Выявим соотношение между закономерностью и случайностью в формировании значений уровней ряда, т.к. закономерности, объясняющие динамику показателя в прошлом, используются для прогнозирования его значений в будущем, а учет случайности позволяет определить вероятность отклонения от закономерного развития и его возможную величину.

Предварительно проверим полученную модель на адекватность с использованием критериев значимости каждого коэффициента уравнения регрессии и общего ее качества. Необходимые для этого данные содержатся в таблице 4, полученной средствами ПК Microsoft Excel.

Для анализа общего качества множественной линейной регрессии используем коэффициент детерминации  $R^2 = 0,815$ , который показывает долю вариации признака «заболеваемость студентов анемиями»  $y$ , обусловленную воздействием включенных в модель факторов «выбросы в атмосферу (от стационарных и передвижных источников)»  $z_1$  и «объем загрязненных сброшенных сточных вод»  $z_2$ . Таким образом, около 81,5% вариации зависимой переменной  $y$  в построенной модели обусловлено влиянием факторов  $z_1$  и  $z_2$ .

Проверку значимости уравнения регрессии проведем на основе  $F$ -критерия Фишера. Табличное значение  $F$ -критерия при уровне значимости 0,05, степенями свободы  $\nu_1 = m = 2$  и  $\nu_2 = (n - m - 1) = 6$  составляет  $F_{табл} = 5,14$  [7]. Поскольку  $F_{факт} = 8,27 > F_{табл} = 5,14$ , то уравнение регрессии следует признать значимым (адекватным).

Таблица 4 – Результаты регрессионного анализа

Регрессионная статистика									
Множеств	0,85663								
R-квадрат	0,73382								
Нормиров	0,64509								
Стандарт	4,93966								
Наблюдени	9								
Дисперсионный анализ									
		df	SS	MS	F	Значимость F			
Регрессия		2	403,598	201,799	8,27037	0,01886			
Остаток		6	146,402	24,4003					
Итого		8	550						
Коэффициент стандартная ошибка статистическое значение нижние 95% верхние 95% нижние 95,0% верхние 95,0%									
Y-пересеч	8,40259	88,7844	0,09464	0,92768	-208,845	225,65	-208,845	225,65	
Переменн	0,53044	0,57361	0,92475	0,39077	-0,87312	1,93401	-0,87312	1,93401	
Переменн	-0,49876	0,35838	-1,39171	0,21341	-1,37569	0,37817	-1,37569	0,37817	

Таким образом, с учетом доказательств значимости и наличия остатков  $\varepsilon(x)$  модель приобретает следующий окончательный вид:

$$\hat{Y} = 8,4026 + 0,5304 \cdot z_1 - 0,4988 \cdot z_2 + \varepsilon(x). \quad (7)$$

Проведем анализ остатков модели. Согласно общим предположениям регрессионного анализа, остатки должны вести себя как независимые, одинаково распределенные случайные величины, подчиняющиеся чаще всего нормальному закону распределения. Возможны ситуации, когда остатки содержат тенденцию или подвержены циклическим колебаниям (автокорреляция остатков). Автокорреляция может указывать либо на ошибки измерения исследуемого признака, либо на наличие достаточно сильной зависимости, неучтенной в модели.

Исследование на наличие автокорреляции остатков проведем с помощью  $d$ -критерия Дарбина-Уотсона. Величина  $d$  изменяется в пределах  $0 \leq d \leq 4$ .

Алгоритм выявления автокорреляции остатков на основе критерия Дарбина-Уотсона следующий. Выдвигается гипотеза  $H_0$  об отсутствии автокорреляции остатков. Далее по специальным таблицам [8] определяются критические значения  $d$ -критерия  $d_L = 1,54$  (*low* – нижнее) и  $d_U = 2,4$  (*upper* – верхнее) для заданного числа уровней временного ряда  $n=9$ , числа независимых переменных модели  $m=2$  и уровня значимости  $\gamma = 0,05$ . Вопрос о принятии или отклонении каждой из гипотез с вероятностью  $(1-\gamma)$  рассматриваем при следующих условиях. Если фактическое значение критерия Дарбина-Уотсона попадает в зону неопределенности, то нельзя сделать окончательный вывод об автокорреляции остатков по этому критерию.

В таблице 5 представлены вычисленные по модели значения объясняемой переменной  $\hat{Y}$  и значения остаточной компоненты  $e$ . Для определения величины  $\varepsilon(x)$  используем расчетную таблицу 6.

Таблица 5 – Сравнение фактических данных объясняемого признака со значениями, полученными по модели

Год	Номер периода	Заболеваемость студентов анемиями	Предсказанное значение $\hat{Y}$	Остаток $\varepsilon(x)$
2001	1	19	21,35646	-2,35646
2002	2	23	21,58488	1,415118
2003	3	30	27,80755	2,192448
2004	4	29	28,32848	0,671516
2005	5	33	32,13081	0,869194
2006	6	29	35,33197	-6,33197
2007	7	36	35,0818	0,918203
2008	8	35	40,33953	-5,33953
2009	9	48	40,03851	7,961487

Таблица 6 – Расчетная таблица

Остаток $\varepsilon(x)$	$\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1}$	$\varepsilon_t^2$
-2,35646		5,552904
1,415118	14,2248	2,002559
2,192448	0,604242	4,806829
0,671516	2,313236	0,450933
0,869194	0,039077	0,755498
-6,33197	51,85684	40,09391
0,918203	52,56508	0,843096
-5,33953	39,15924	28,5106
7,961487	176,9171	63,38528
<b>сумма</b>	<b>337,6796</b>	<b>146,4016</b>

$$\text{Имеем } d = \frac{\sum_{t=2}^n (\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n \varepsilon_t^2} = \frac{337,6796}{146,4016} = 2,3065.$$

Расчетное значение  $d$ -критерия Дарбина-Уотсона 2,3065 попало в интервал  $d_U = 1,54 < d = 2,3065 < 2,4$ , что указывает на отсутствие автокорреляции остатков.

На ближайшие два года у студентов орловских вузов прогнозируется рост количества заболеваемости анемиями.

Для построения прогноза объясняемой переменной  $y$  «заболеваемость студентов анемиями» на 2010 и 2011 гг. выявим с помощью ПК Microsoft Excel тренды временных рядов объясняющих факторов – «выбросы в атмосферу (от стационарных и передвижных источников)»  $z_1$  и «объем загрязненных сброшенных сточных вод»  $z_2$  (рисунок 2).

Для получения прогнозных оценок переменной  $y$  по модели:

$$\hat{Y} = 8,4026 + 0,5304 \cdot z_1 - 0,4988 \cdot z_2$$

подставим в нее найденные значения факторов  $z_1$  и  $z_2$ , получим:

$$\hat{Y}(10) = 8,4026 + 0,5304 \cdot 122,642 - 0,4988 \cdot 58,965 = 44,04;$$

$$\hat{Y}(11) = 8,4026 + 0,5304 \cdot 124,4642 - 0,4988 \cdot 55,8055 = 46,58.$$

С принятой доверительной вероятностью 0,95 можно утверждать, что полученные по построенной модели прогнозные значения заболеваемости студентов анемиями на 2010 и 2011 гг. имеют следующие значения:  $\hat{Y}(10) = 44,04$ ;  $\hat{Y}(11) = 46,58$ .

Таким образом, по результатам проведенного анализа выявлено, что в ближайшие два года у студентов орловских вузов прогнозируется рост количества заболеваемости анемиями. Количественные результаты показали значимую связь между исследуемыми факторами, а построенные прогнозы роста заболеваемости оказались практически совпадающими с реальными статистическими данными, что показывает эффективность предложенной методики построения регрессионной модели.

## Строительство и реконструкция

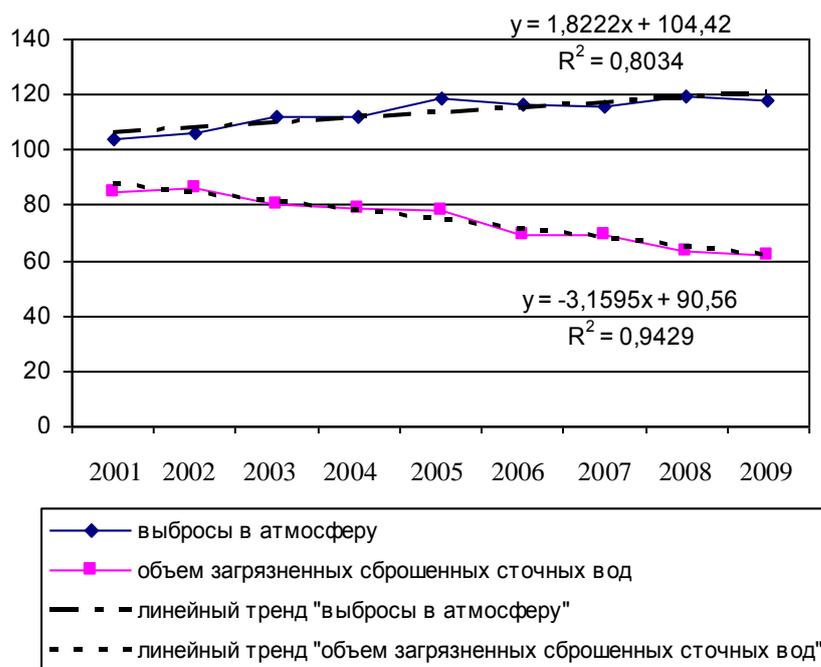


Рисунок 2 – Ряды динамики и тренды факторов «выбросы в атмосферу (от стационарных и передвижных источников)»  $z_1$  и «объем загрязненных сброшенных сточных вод»  $z_2$

Используемый анализ позволил определить принципы и методы формирования современного комфортного и безопасного образовательного пространства. В условиях высокого риска возникновения чрезвычайных и кризисных ситуаций различного характера основным приоритетом учреждений ВПО должно стать обеспечение комплексной безопасности, базирующейся на функциях развития человека через реализацию биосферосовместимых технологий в образовательной среде.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чистякова, С.Б. Экологические аспекты регулирования градостроительной деятельности [Текст] / С.Б. Чистякова. – М.: Academia. – 2009. – № 4. – С. 31-35.
2. Разработка концепции устойчивого биосферно-совместимого функционирования объектов системы высшего профессионального образования и целевой программы предупреждений и защиты от чрезвычайных и кризисных ситуаций [Текст]: отчет о НИР (заключ.) / ГОУ ВПО ОрелГТУ; рук. Колчунов В.И.; отв. исполн.: Ильичев В.А., Степанов Ю.С., Данилевич Д.В., Бакаева Н.В. [и др.]. – Орел, 2009. – 298 с.
3. Ильичев, В.А. Методика прогнозирования показателей биосферосовместимости урбанизированных территорий [Текст] / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, В.А. Гордон // Градостроительство. – 2010. – №1. – С. 37-43.
4. Ильичев, В.А. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека [Текст] / В.А. Ильичев. – М.: Градостроительство. – 2009. – № 3. – С. 20-30.
5. Доклад «О санитарно-эпидемиологической обстановке на территории Орловской области в 2008 г.»
6. Электронные ресурсы: [www.rgs.ru](http://www.rgs.ru), [www.gks.ru](http://www.gks.ru).
7. Алексахин, С.В. Прикладной статистический анализ [Текст]: учебное пособие / С.В. Алексахин, А.В. Балдин, А.Б. Николаев, В.Ю. Строганов. – М.: Издательство «ПРИОР», 2001. – 224 с.
8. Зандер, Е.В. Эконометрика [Текст]: учебно-методический комплекс для студентов экономических специальностей / Е.В. Зандер и др. – Красноярский ГУ, 2003 – 36 с.

### Бакаева Наталья Владимировна

Орловский государственный технический университет, г. Орел.  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство автомобильных дорог»  
Тел.: +7 (4862) 73-43-67  
E-mail: natbak@mail.ru

### Шишкина Ирина Викторовна

Орловский государственный технический университет, г. Орел.  
Ассистент кафедры «Строительство автомобильных дорог»  
Тел.: +7 (4862) 73-43-67  
E-mail: irochek87@bk.ru

ИЛЬИЧЕВ В.А., КОЛЧУНОВ В.И., ГОРДОН В.А., БРУСОВА В.И.

## МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ БИОСФЕРОСОВМЕСТИМОСТИ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ\*

*В настоящей работе рассматривается построение систем одновременных (структурных) уравнений для моделирования и прогнозирования взаимосвязей прироста (убыли) населения и вариаций некоторых характеристик среды обитания. Разработанная методика позволяет выполнять прогнозирование с учетом прогнозных значений взаимозависимых факторов.*

**Ключевые слова:** человеческий потенциал, прирост населения, выбросы в атмосферу, загрязнение воды, лесовосстановление, прогнозные оценки, система одновременных уравнений, регрессионно-корреляционный анализ.

*The construction of the systems of simultaneous (structural) equations for simulation and predicting the interrelations of increase (loss) in population and variations in some characteristics of living environment in the present work is examined. The developed procedure makes it possible to carry out prognostication taking into account the forecast values of the interdependent factors.*

**Keywords:** human potential, increase in the population, ejections into the atmosphere, the pollution of water, forest restoration, forecast estimations, the system of simultaneous equations, the regression- correlation analysis.

В работах [1-3] предложена методика установления корреляционно-регрессионной зависимости между изменением численности населения региона и уровнями вредных выбросов с помощью линейной модели множественной регрессии. При этом предполагалось, что между объясняющими переменными  $z_i$  ( $i = \overline{1,4}$ ) и результирующей переменной  $y$  в каждый момент времени существует только прямая связь  $x_i, y$ , т.е. результирующая переменная  $y$  не оказывает влияния на переменные, входящие в правую часть модели.

Однако функционирование сложных систем, которые являются предметом исследований по проблеме «Человек и развитие биосферосовместимых урбанизированных территорий», предполагает взаимосвязь ее переменных. При этом трудно однозначно определить, какая из них является зависимой, а какая независимой. Поэтому при построении модели явления необходимо вводить не одно, а несколько связанных между собой уравнений регрессии и исследовать и оценивать модель, построенную в виде набора взаимосвязанных регрессий. В системе взаимозависимых уравнений значения объясняющих и результирующих переменных формируются одновременно под влиянием внешних факторов. Поэтому – это система одновременных или совместных уравнений. Название «система одновременных уравнений» подчеркивает тот факт, что в системе одни и те же переменные одновременно рассматриваются как зависимые в одних уравнениях и независимые в других.

Система одновременных уравнений, представляющая собой теоретическую модель процесса (явления и т.д.), содержит эндогенные и экзогенные переменные.

Эндогенные переменные – это зависимые переменные, обозначаемые далее  $y_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ), на которые оказывают влияние другие переменные. Их число равно числу уравнений системы. В данной задаче в качестве эндогенных переменных приняты:  $y_1$  – прирост (убыль) населения,  $y_2$  – изменение объема выбросов в атмосферу,  $y_3$  – изменение объема загрязненных вод.

Экзогенные переменные, обозначаемые  $x_j$  ( $j = 1, 2, 3, 4$ ), – это переменные, влияю-

---

\* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 09-08-13658.

щие на эндогенные, но не зависящие от них:  $x_1$  – количество населения,  $x_2$  – объем выбросов в атмосферу,  $x_3$  – объем загрязненных вод,  $x_4$  – лесовосстановление.

Известны [5] две формы одновременных уравнений: структурная и приведенная.

Структурная форма одновременных уравнений содержит в качестве объясняющих переменных как эндогенные, так и экзогенные переменные, которые отражают реальные связи факторов задачи. В рассматриваемом случае структурную форму модели принимаем в виде:

$$\begin{cases} y_1 = b_{12}y_2 + b_{13}y_3 + a_{11}x_1 + a_{13}x_3, \\ y_2 = b_{21}y_1 + a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{24}x_4, \\ y_3 = b_{31}y_1 + a_{31}y_1 + a_{32}x_3. \end{cases} \quad (1)$$

Структурная форма модели не содержит свободные члены, т.к. каждую переменную модели выразили через отклонение от ее среднего значения, т.е. под  $y_i$  подразумевается  $y_i - \bar{y}$ , а под  $x_j$  подразумевается  $x_j - \bar{x}$  (таблица 1).

Приведенная форма одновременных уравнений содержит в качестве объясняющих переменных только экзогенные переменные.

$$\begin{cases} y_1 = \delta_{11}x_1 + \delta_{12}x_2 + \delta_{13}x_3 + \delta_{14}x_4, \\ y_2 = \delta_{21}x_1 + \delta_{22}x_2 + \delta_{23}x_3 + \delta_{24}x_4, \\ y_3 = \delta_{31}x_1 + \delta_{32}x_2 + \delta_{33}x_3 + \delta_{34}x_4. \end{cases} \quad (2)$$

Таблица 1 – Статистические данные по эндогенным  $Y$  и экзогенным  $X$  переменным (1993(1)-2009(17))

№	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	x1	x2	x3	x4	y1	y2	y3
1	903489	32	69	605	4282	-6	-3	33688,94118	13,69529	-9,09824	173,2941	9123,588	-5,08235	-2,294117647
2	907552	29	86	600	4063	-3	17	37751,94118	10,69529	7,901765	168,2941	8904,588	-2,08235	17,70588235
3	909379	21	101	603	1827	-8	15	39578,94118	2,695294	22,90176	171,2941	6668,588	-7,08235	15,70588235
4	905510	23	86	602	-3869	2	-15	35709,94118	4,695294	7,901765	170,2941	972,5882	2,917647	-14,29411765
5	900489	15	84,75	606	-5021	-8	-1,25	30688,94118	-3,30471	6,651765	174,2941	-179,412	-7,08235	-0,544117647
6	895703	20,84	85,33	601	-4786	5,84	0,58	25902,94118	2,535294	7,231765	169,2941	55,58824	6,757647	1,285882353
7	891035	19,26	84,86	600	-4668	-1,58	-0,47	21234,94118	0,955294	6,761765	168,2941	173,5882	-0,66235	0,235882353
8	884269	14,65	84,74	626	-6766	-4,61	-0,12	14468,94118	-3,65471	6,641765	194,2941	-1924,41	-3,69235	0,585882353
9	876672	14,58	86,09	405	-7597	-0,07	1,35	6871,941176	-3,72471	7,991765	-26,7059	-2755,41	0,847647	2,055882353
10	867553	13,9	80,08	406	-9119	-0,68	-6,01	-2247,058824	-4,40471	1,981765	-25,7059	-4277,41	0,237647	-5,304117647
11	858312	14,9	79,11	371	-9241	1	-0,97	-11488,05882	-3,40471	1,011765	-60,7059	-4399,41	1,917647	-0,264117647
12	850016	13,46	78,41	306	-8296	-1,44	-0,7	-19784,05882	-4,84471	0,311765	-125,706	-3454,41	-0,52235	0,005882353
13	842351	12,87	68,45	230	-7665	-0,59	-9,96	-27449,05882	-5,43471	-9,64824	-201,706	-2823,41	0,327647	-9,254117647
14	833783	12,33	69,59	211	-8568	-0,54	1,14	-36017,05882	-5,97471	-8,30824	-220,706	-3726,41	0,377647	1,845882353
15	826588	12,09	63,26	202	-7195	-0,24	-6,33	-43212,05882	-6,21471	-14,8382	-229,706	-2353,41	0,677647	-5,624117647
16	817000	19,9	61	190	-9588	7,81	-2,26	-52800,05882	1,595294	-17,0982	-241,706	-4746,41	8,727647	-1,554117647
17	816900	22,4	60	175	-100	2,5	-1	-52900,05882	4,095294	-18,0982	-256,706	4741,588	3,417647	-0,294117647
среднее	869800,06	18,3047059	78,098235	431,7059	-4841,59	-0,91674706	-0,70588							

Параметры  $a_{ij}$ ,  $b_{ij}$  и  $\delta_{ij}$  называются структурными и приведенными коэффициентами соответственно.

Для расчета коэффициентов структурной и приведенной систем одновременных уравнений нельзя использовать метод наименьших квадратов (МНК) при непосредственном оценивании структурных коэффициентов. Он дает смещенные и несостоятельные оценки из-за нарушения предпосылок Гаусса-Маркова для МНК. Поэтому структурная форма модели сначала преобразуется в приведенную форму. По своему виду приведенная форма ничем не отличается от системы независимых уравнений, параметры которых оцениваются традиционным МНК.

Но, как правило, интерес представляют не коэффициенты  $\delta_{ij}$ , а исходные параметры системы. Дело в том, что работа со структурной формой модели предпочтительней в аналитическом плане, поскольку в ней в явном виде присутствуют оценки взаимосвязи эндогенных переменных. Поэтому найденные коэффициенты приведенной формы далее используются для оценивания структурных коэффициентов. При обратном переходе от приведенной

формы к структурной возникает проблема: можно ли по значениям коэффициентов  $\delta_{ij}$  восстановить величины исходных параметров? Ответ на этот вопрос зависит от потенциальной идентифицируемости структурных уравнений.

Уравнение структурной формы модели является идентифицируемым, если все находящиеся в нем коэффициенты однозначно определяются по коэффициентам приведенной формы, то есть система алгебраических уравнений, связывающая структурные и приведенные коэффициенты, совместная и определенная. Уравнение структурной формы называется сверхидентифицируемым, если по коэффициентам приведенной формы можно получить несколько вариантов значений коэффициентов структурной формы, т.е. система связывающих эти коэффициенты уравнений совместная и неопределенная. Наконец, уравнение структурной формы модели называется неидентифицируемым, если хотя бы один из ее коэффициентов не может быть выражен через приведенные коэффициенты, т.е. система связывающих коэффициенты уравнений несовместная.

Выполнение условия идентифицируемости модели проверяется для каждого уравнения системы. Обозначим через  $H$  число эндогенных переменных в некотором уравнении системы, а через  $D$  – число экзогенных переменных, содержащихся в системе, и не входящих в данное уравнение. Тогда имеет место правило: если  $D+1=H$  – уравнение идентифицируемое, если  $D+1 < H$  – уравнение неидентифицируемое, если  $D+1 > H$  – уравнение сверхидентифицируемое. Это правило является необходимым, но недостаточным условием идентификации. Достаточное условие формулируется следующим образом: уравнение идентифицируемо, если из коэффициентов при отсутствующих в нем переменных (присутствующими в других уравнениях) можно составить матрицу, определитель которой не равен нулю, а ранг  $r$  матрицы не меньше, чем число эндогенных переменных без одного.

Проведем идентификацию модели (1). В данной модели три эндогенные переменные ( $y_1 \div y_3$ ), четыре – экзогенные ( $x_1 \div x_4$ ). Проверим каждое уравнение системы (1) на необходимое и достаточное условия идентификации.

1-ое уравнение	2-ое уравнение	3-е уравнение
	Необходимое условие:	
$H=3, D=2$	$H=2, D=1$	$H=2, D=2$
$D+1=H$	$D+1=H$	$D+1 > H$
идентифицируемо	идентифицируемо	сверхидентифицируемо
	Достаточное условие:	
$\begin{vmatrix} a_{22} & a_{24} \\ a_{32} & 0 \end{vmatrix} \neq 0$	$\begin{vmatrix} a_{13} & a_{13} \\ -1 & 0 \end{vmatrix} \neq 0$	$\begin{vmatrix} a_{12} & a_{13} \\ -1 & 0 \end{vmatrix} \neq 0$
$r=2$	$r=2$	$r=2$
идентифицируемо	идентифицируемо	сверхидентифицируемо

Таким образом, структурная система уравнений (1) сверхидентифицируема.

Оценим коэффициенты  $\delta_{ij}$  приведенной формы модели (2). В таблице 1 представлены статистические данные по переменным структурной модели (1) за 1992-2009 гг. ( $n=17$ ) в явном виде (левая часть таблицы) и пересчитанные через отклонения от их средних уровней (правая часть).

Коэффициенты 1-го уровня (2)  $\delta_{ij}$  ( $j=1,4$ ) определяются из системы нормальных уравнений:

$$\begin{cases} \sum y_1 x_1 = \delta_{11} \sum x_1^2 + \delta_{12} \sum x_1 x_2 + \delta_{13} \sum x_1 x_3 + \delta_{14} \sum x_1 x_4, \\ \sum y_1 x_2 = \delta_{11} \sum x_1 x_2 + \delta_{12} \sum x_2^2 + \delta_{13} \sum x_2 x_3 + \delta_{14} \sum x_2 x_4, \\ \sum y_1 x_3 = \delta_{11} \sum x_1 x_3 + \delta_{12} \sum x_2 x_3 + \delta_{13} \sum x_3^2 + \delta_{14} \sum x_3 x_4, \\ \sum y_1 x_4 = \delta_{11} \sum x_1 x_4 + \delta_{12} \sum x_2 x_4 + \delta_{13} \sum x_3 x_4 + \delta_{14} \sum x_4^2. \end{cases}$$

Используя данные расчетной таблицы 2, получаем систему нормальных уравнений:

$$\begin{cases} 1336722360 = 1775477390\delta_{11} + 1522462\delta_{12} + 4916868202\delta_{13} + 93983746\delta_{14}; \\ 3755594 = 1522462\delta_{11} + 554,3892\delta_{12} + 87,914\delta_{13} + 8172,374\delta_{14}; \\ 1885438 = 4916868202\delta_{11} + 87,917\delta_{12} + 1992,987\delta_{13} + 25479,83\delta_{14}; \\ 6768447 = 93983746\delta_{11} + 8172,374\delta_{12} + 25479,83\delta_{13} + 529149,5\delta_{14}. \end{cases}$$

Отсюда по формулам Крамера получаем коэффициенты:

$$\delta_{11} = 0,06403; \delta_{12} = 658,5421; \delta_{13} = 50,67709; \delta_{14} = -11,19322.$$

Первое уравнение приведенной формы принимает вид:

$$y_1 = 0,028x_1 + 687,838x_2 + 64,333x_3 - 6,934x_4.$$

Аналогично поступая, получим коэффициенты 2-го и 3-го уравнений:

2-ое уравнение:

$$\begin{cases} \sum y_2x_1 = \delta_{21} \sum x_1^2 + \delta_{22} \sum x_1x_2 + \delta_{23} \sum x_1x_3 + \delta_{24} \sum x_1x_4; \\ \sum y_2x_2 = \delta_{21} \sum x_1x_2 + \delta_{22} \sum x_2^2 + \delta_{23} \sum x_2x_3 + \delta_{24} \sum x_2x_4; \\ \sum y_2x_3 = \delta_{21} \sum x_1x_3 + \delta_{22} \sum x_2x_3 + \delta_{23} \sum x_3^2 + \delta_{24} \sum x_3x_4; \\ \sum y_2x_4 = \delta_{21} \sum x_1x_4 + \delta_{22} \sum x_2x_4 + \delta_{23} \sum x_3x_4 + \delta_{24} \sum x_4^2. \end{cases}$$

$$\begin{cases} -1235648 = 1775477390\delta_{21} + 1522462\delta_{22} + 4916868202\delta_{23} + 93983746\delta_{24}; \\ -32,3974 = 1522462\delta_{21} + 554,3892\delta_{22} + 87,914\delta_{23} + 8172,374\delta_{24}; \\ -355,088 = 4916868202\delta_{21} + 87,917\delta_{22} + 1992,987\delta_{23} + 25479,83\delta_{24}; \\ -6238,2 = 93983746\delta_{21} + 8172,374\delta_{22} + 25479,83\delta_{23} + 529149,5\delta_{24}. \end{cases}$$

$$\delta_{21} = -0,00019; \delta_{22} = 0,27747; \delta_{23} = 0,13569; \delta_{24} = 0,01091;$$

$$y_2 = -0,00019x_1 + 0,27747x_2 + 0,13569x_3 + 0,01091x_4.$$

3-е уравнение:

$$\begin{cases} \sum y_3x_1 = \delta_{31} \sum x_1^2 + \delta_{32} \sum x_1x_2 + \delta_{33} \sum x_1x_3 + \delta_{34} \sum x_1x_4; \\ \sum y_3x_2 = \delta_{31} \sum x_1x_2 + \delta_{32} \sum x_2^2 + \delta_{33} \sum x_2x_3 + \delta_{34} \sum x_2x_4; \\ \sum y_3x_3 = \delta_{31} \sum x_1x_3 + \delta_{32} \sum x_2x_3 + \delta_{33} \sum x_3^2 + \delta_{34} \sum x_3x_4; \\ \sum y_3x_4 = \delta_{31} \sum x_1x_4 + \delta_{32} \sum x_2x_4 + \delta_{33} \sum x_3x_4 + \delta_{34} \sum x_4^2. \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1289565 = 1775477390\delta_{31} + 1522462\delta_{32} + 4916868202\delta_{33} + 93983746\delta_{34}; \\ 223,4198 = 1522462\delta_{31} + 554,3892\delta_{32} + 87,914\delta_{33} + 8172,374\delta_{34}; \\ 613,2715 = 4916868202\delta_{31} + 87,917\delta_{32} + 1992,987\delta_{33} + 25479,83\delta_{34}; \\ 6413,731 = 93983746\delta_{31} + 8172,374\delta_{32} + 25479,83\delta_{33} + 529149,5\delta_{34}. \end{cases}$$

$$\delta_{31} = -0,00027; \delta_{32} = 1,00281; \delta_{33} = 0,93537; \delta_{34} = -0,00045$$

$$y_3 = -0,00027x_1 + 1,00281x_2 + 0,93537x_3 - 0,00045x_4.$$

Приведенная форма модели принимает вид:

$$\begin{cases} y_1 = 0,06403x_1 + 658,5421x_2 + 50,67709x_3 - 11,19322x_4; \\ y_2 = -0,00019x_1 + 0,27747x_2 + 0,13569x_3 + 0,01091x_4; \\ y_3 = -0,00027x_1 + 1,00281x_2 + 0,93537x_3 - 0,00045x_4. \end{cases} \quad (3)$$

Так как 1-ое и 2-ое уравнения структурной формы (1) являются точно идентифицируемыми, то их коэффициенты определяются алгебраическими преобразованиями из уравнений приведенной формы (3). Исключая  $x_2$  из второго уравнения системы (3), а из третьего

уравнения –  $x_4$ , а затем из преобразованного второго уравнения выразим  $x_4$ , из третьего –  $x_2$  и подставим полученные выражения в первое уравнение. В результате получим первое уравнение структурной модели:

$$Y_1 = -987,3608Y_2 + 929,8961Y_3 + 0,1288X_1 - 685,1438X_3.$$

Выражая  $x_3$  из первого уравнения приведенной формы (3) и подставляя его во второе уравнение (3), получим второе уравнение структурной модели:

$$Y_2 = 0,0027Y_1 - 0,00036X_1 - 1,4858X_2 + 0,0409X_4.$$

Третье уравнение структурной модели является сверхидентифицируемым, поэтому для определения его параметров используется двухшаговый метод наименьших квадратов (ДМНК):

- на основе системы приведенных уравнений (3) по точно идентифицированному первому уравнению определим теоретическое значение  $\hat{y}_1$  эндогенной переменной  $y_1$ , входящей в правую часть третьего уравнения структурной модели. Для этого в первое уравнение системы (3) подставим значения  $x_1, x_2, x_3, x_4$  (таблица 1 – правая часть). Значения  $\hat{y}_1$  приведены в таблице 2.

- в третьем уравнении системы (1) заменяем фактические значения  $y_1$  на теоретические  $\hat{y}_1$  и для определения коэффициентов уравнения:

$$y_3 = e_{31}\hat{y}_1 + a_{31}x_1 + a_{32}x_2 \text{ применяем МНК.}$$

Система нормальных уравнений принимает вид:

$$\begin{cases} \sum y_3 \hat{y}_1 = b_{31} \sum \hat{y}_1^2 + a_{31} \sum x_1 \hat{y}_1 + a_{32} \sum x_2 \hat{y}_1; \\ \sum y_3 x_1 = b_{31} \sum \hat{y}_1 x_1 + a_{31} \sum x_1^2 + a_{32} \sum x_1 x_2; \\ \sum y_3 x_2 = b_{31} \sum \hat{y}_1 x_2 + a_{31} \sum x_1 x_2 + a_{32} \sum x_2^2, \end{cases} \quad (4)$$

где  $\hat{y}_1, x_1, x_2$  по-прежнему выражены через отклонения от средних значений. Необходимые недостающие вычисления содержатся в расчетной таблице 3.

Таблица 2 – Таблица для расчета теоретических  $\hat{y}_1$

№	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$\hat{y}_1$
1	33688,941	13,69529	-9,09824	173,2941	8775,405
2	37751,941	10,69529	7,901765	168,2941	7977,428
3	39578,941	2,695294	22,90176	171,2941	3552,66
4	35709,941	4,695294	7,901765	170,2941	3873,03
5	30688,941	-3,30471	6,651765	174,2941	-1824,946
6	25902,941	2,535294	7,231765	169,2941	1799,828
7	21234,941	0,955294	6,761765	168,2941	447,7919
8	14468,941	-3,65471	6,641765	194,2941	-3318,452
9	6871,9412	-3,72471	7,991765	-26,7059	-1308,908
10	-2247,0588	-4,40471	1,981765	-25,7059	-2656,413
11	-11488,059	-3,40471	1,011765	-60,7059	-2247,011
12	-19784,059	-4,84471	0,311765	-125,706	-3034,46
13	-27449,059	-5,43471	-9,64824	-201,706	-3567,886
14	-36017,059	-5,97471	-8,50824	-220,706	-4201,707
15	-43212,059	-6,21471	-14,8382	-229,706	-5040,535
16	-52800,059	1,595294	-17,0982	-241,706	-491,4986
17	-52900,059	4,095294	-18,0982	-256,706	1265,674

## Строительство и реконструкция

Таблица 3 – Расчетная таблица для коэффициентов третьего структурного уравнения

№	$\hat{y}_1^2$	$x_1\hat{y}_1$	$x_2\hat{y}_1$	$y_3\hat{y}_1$
1	77007726,1	295634090	120181,7	-20131,81
2	63639364,8	301163410	85320,94	141247,4
3	12621390	140610504	9575,462	55797,65
4	15000360	138305667	18185,01	-55361,54
5	3330427,23	-56005654,8	6030,909	992,9852
6	3239381,95	46620846,9	4563,094	2314,367
7	200517,575	9508834,4	427,773	105,6262
8	11012126,2	-48014492,4	12127,97	-1944,223
9	1713239,63	-8994737,42	4875,297	-2690,96
10	7056530,16	5969116,33	11700,72	14089,93
11	5049059,56	25813797,4	7650,412	593,4753
12	9207947,54	60033935,3	14701,07	-17,84976
13	12729813,2	97935122,9	19390,41	33017,64
14	17654340,9	151333125	25103,96	-7755,857
15	25406992,6	217811893	31325,44	28348,56
16	241570,908	25951156,8	-784,0849	763,8467
17	1601931,89	-66954254,4	5183,309	-372,2572
сумма	266712720	1336722360	375559,4	188997

Используя расчетные данные из таблицы 4, получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} 188997 = 266712720b_{31} + 1336722360a_{31} + 375559,4a_{32}; \\ 1289565 = 1336722360b_{31} + 1775477390a_{31} + 1522462a_{32}; \\ 223,4198 = 375559,4b_{31} + 1522462a_{31} + 554,3892a_{32}. \end{cases}$$

Откуда по формулам Крамера получаем:

$$b_{31} = 0,0041; a_{31} = -0,00004; a_{32} = -2,2786$$

и третье уравнение структурной модели:

$$y_3 = 0,0041y_1 - 0,00004x_1 - 2,2786x_2.$$

В результате структурная модель (1) приобретает вид:

$$\begin{cases} Y_1 = -987,3608Y_2 + 929,8961Y_3 + 0,1288X_1 - 685,1438X_3; \\ Y_2 = 0,0027Y_1 - 0,00036X_1 - 1,4858X_2 + 0,0409X_4; \\ Y_3 = 0,0041Y_1 - 0,00004X_1 - 2,2786X_2. \end{cases}$$

или с учетом величин свободных членов:

$$\begin{cases} Y_1 = -63587,3574 - 987,3608Y_2 + 929,8961Y_3 + 0,1288X_1 - 685,1438X_3; \\ Y_2 = 334,8915 + 0,0027Y_1 - 0,00036X_1 - 1,4858X_2 + 0,0409X_4; \\ Y_3 = 98,5819 + 0,0041Y_1 - 0,00004X_1 - 2,2786X_2. \end{cases}$$

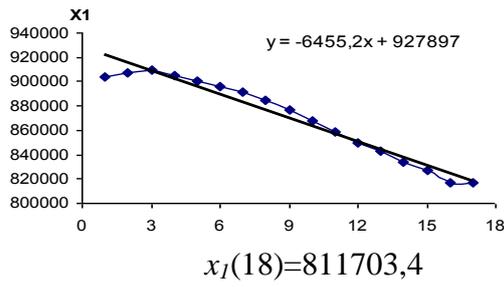
Для построения прогнозных оценок прироста населения, изменения выбросов в атмосферу, изменения объема загрязненных вод необходимо провести выравнивание временных рядов  $x_1, x_2, x_3, x_4$ , а также найти теоретические оценки для  $y_1, y_2$  и  $y_3$ . На рисунке 1 приведены графики соответствующих аппроксимирующих функций, их аналитические выражения и прогнозные значения переменных для  $N=18$  (2010 г.).

Подставляя найденные значения переменных при  $N=18$  в структурную форму модели (1), получим прогнозные оценки эндогенных переменных на 2010 г.

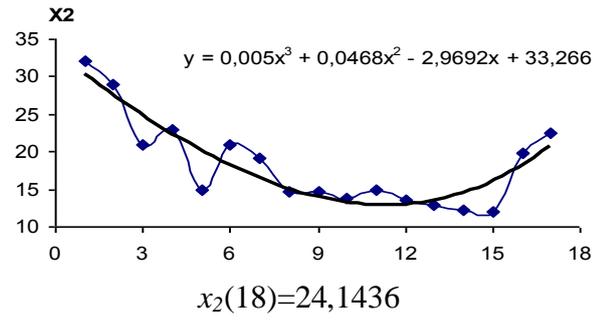
В таблице 4 приведены сравнительные результаты для фактора  $x_1+y_1$  – количество населения на прогнозируемый промежуток времени (2010 г.), полученные разными способами.

# Строительные технологии и материалы

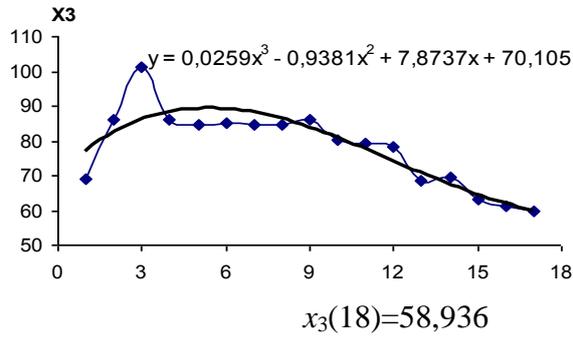
a)



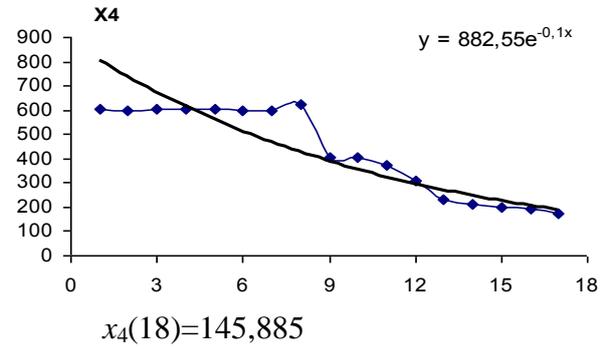
б)



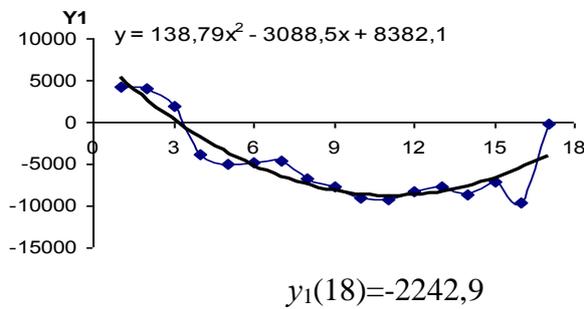
в)



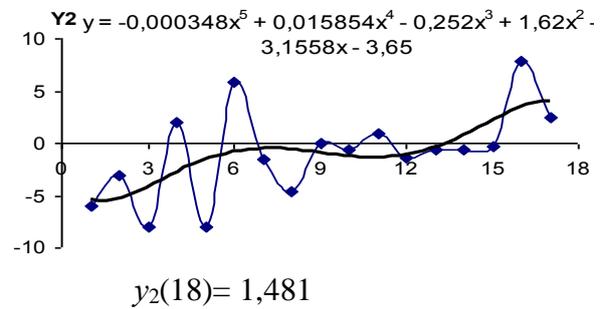
г)



д)



е)



ж)

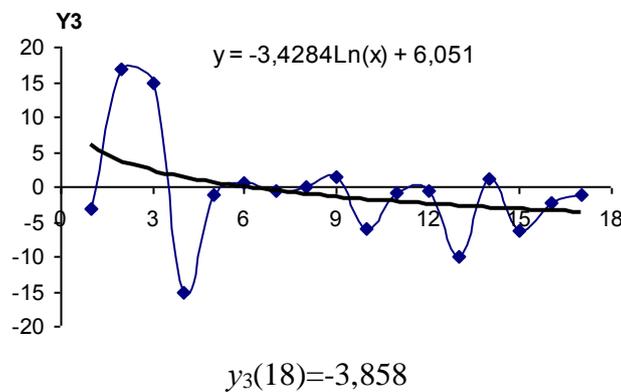


Рисунок 1 – Аппроксимирующие тренды для  $X_1 \div X_4$  и  $Y_1 \div Y_3$ .

Таблица 4 – Сравнение прогнозных оценок

Способ построения прогноза	Прогнозное значение фактора	Точность прогноза, %
регрессия [1]	820615	1
тренд	814657	0,26
система одновременных уравнений	812406	0,01
статистика	812500	–

Сравнение результатов регрессионного моделирования с реальными данными на прогнозируемый период показывает эффективность предложенной методики построения модели человеческого потенциала и факторов среды жизнедеятельности. Прогнозные значения определяются с поправкой на прогнозные значения других результативных признаков, что обеспечивает надежность прогнозирования состояния рассматриваемой биосферосовместимой системы и объяснения механизма ее функционирования. Таким образом, предложенный в настоящей работе подход является усовершенствованной по сравнению с [1-3] методикой установления истинного влияния взаимозависимых факторов среды жизнедеятельности человека на вариацию результативной переменной – человеческого потенциала.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильичев, В.А. Некоторые вопросы реализации концепции биосферосовместимых поселений на примере городов Центрального федерального округа [Текст] / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, В.А. Гордон, Л.И. Шмаркова // Строительство и реконструкция. – Орел: ОрелГТУ. 2009. – № 5/25. – С. 25-36.
2. Ильичев, В.А. К установлению корреляционных связей человеческого потенциала с характеристиками среды обитания [Текст] / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, В.А. Гордон // Материалы междунар. НПК «Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: опыт, проблемы, поиски, решения». – Казань, 2010.
3. Ильичев, В.А. Методика прогнозирования показателей биосферосовместимости урбанизированных территорий [Текст] / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, В.А. Гордон // Градостроительство. – 2010. – №1. – С. 37-43.
4. Айвазян, С.А. Прикладная статистика. Основы эконометрики [Текст]: Учебник для вузов: в 2 т. – 2-е изд. т.2./ С.А. Айвазян // Основы эконометрики. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 432 с.
5. Новиков, А.И. Эконометрика [Текст]: Учебное пособие: 2-е изд. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 144 с.

**Ильичев Вячеслав Александрович**

Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН), г. Москва  
 Первый вице-президент РААСН, доктор технических наук, профессор  
 Тел.: +7 (495) 650-35-61  
 E-mail: ilyichev@raasn.ru

**Колчунов Виталий Иванович**

Орловский государственный технический университет, г. Орел  
 Академик РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции и материалы»  
 Тел.: +7 (4862) 73-43-67  
 E-mail: skimkafedra@yandex.ru

**Гордон Владимир Александрович**

Орловский государственный технический университет, г. Орел  
 Советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Высшая математика»  
 Тел.: +7 (4862) 41-98-48  
 E-mail: Gordon@ostu.ru

**Брусова В.И.**

Ливенский филиал Орловского государственного технического университета, г. Ливны  
 Кандидат технических наук, заведующая кафедрой естественнонаучных дисциплин  
 Тел.: +7 (4862) 41-98-48  
 E-mail: Gordon@ostu.ru

ПОЗДНЯКОВ А.Л.

## БИОСФЕРОСОВМЕСТИМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – БЕЗАЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ПУТЬ РЕКОНСТРУКЦИИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ\*

*Предложена методика использования биосферосовместимых технологий при реконструкции городских территорий, способствующая формированию комфортной, развивающей человека среды. Приводятся результаты расчета показателей биосферосовместимости городских территорий, приводится пример установления корреляционных связей между количеством населения и уровнями ряда факторов, определяющих биосферосовместимость и развивающих человека. Расчеты проводились с использованием статистических данных по г. Орлу за 1935-2010 годы.*

**Ключевые слова:** человек, биосфера, биосферосовместимые технологии, урбанизированная территория, выбросы в атмосферу, корреляционные связи, тренд, регрессионная модель, прогнозирование.

*The system of methods for biosphere compatible technologies application pending urban areas reconstruction contributing to the formation of comfortable human being developing milieu is offered. The results in computation of urban areas biosphere compatibility are shown. The example of correlative ties formation between population and levels of a number of factors defining biosphere compatibility and man developing are represented. The computation was carried out with the use of Orel statistics within 1935-2010.*

**Keywords:** human being (man), biosphere, biosphere compatible technologies, urbanized area, gaseous emissions, correlative ties, trend, regressive model, forecasting.

В работах [1-2] предложена новая концепция и общие принципы биосферной совместимости города, города развивающего человека. В связи с этим представляет интерес исследование путей реализации этих принципов при реконструкции производственных зон городских территорий на основе биосферосовместимых инновационных технологий.

Единство города и окружающей природы – стержень представленной концепции. Главный принцип, лежащий в ее основе, сформулирован академиком Осиповым В.И.: «Надо научиться управлять самим собой, а не природой» [3].

Фундаментальные основы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека формализованы в исследованиях академика РААСН Ильичева В.А. в виде специально сконструированной матрицы (таблица 1) [4].

Таблица 1 – Матрица преобразований города в биосферосовместимый

<b>1. Единение города и окружающей природы, единство сознания</b>	<b>4 Законодательное закрепление</b> гуманитарного баланса биотехносферы или поэтапного перехода к нему: земля, вода, воздух, энергия и социальные критерии	<b>7. Функции города</b> , удовлетворяющие потребности человека: жизнеобеспечение, развлечения, власть, милосердие, образование, творчество, связь с природой
<b>2. Сопоставление</b> внешнего (изъятие ресурсов, вбрасывание отходов) и внутреннего (человеческий потенциал) направлений деятельности города	<b>5. Знания</b> , как основа управления городом: профессионализм, интеллект, информация, предложения по развитию, по устранению факторов, мешающих развитию	<b>8. Надежность</b> , «Конституция» города и другие законы, традиции этносов, советы старейшин. Результат: контроль, баланс, деловитость
<b>3. Гуманитарный баланс биотехносферы</b> , т.е. тройственные балансы: 1) населения, 2) мест удовлетворения потребностей населения, 3) потенциала жизни биосферы	<b>6. Прогресс</b> , сравнение планируемых природных факторов с фактическими, уровень человеческого потенциала	<b>9. Познание</b> , как основа для политики, силовых структур, взаимодействий со всеми, праздников, стиля города

\* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 09-08-13658.

Представленная матрица преобразований обеспечивает получение конкретных практических результатов. К наиболее общим из них относятся следующие:

- решение проблемы существования человечества в симбиозе с биосферой, без ущемления интересов какой-либо страны;
- осуществление защиты биосферы и создание условий для развития человека, начиная с городов, изменяя его философские и морально-этические взгляды в пользу сотрудничества с биосферой;
- улучшение качества жизни и достижение баланса биотехносферы, становление страны на инновационный путь развития, основанный на так называемом расширенном производстве, увеличивающим потенциал жизни биосферы;
- обеспечение высокого уровня человеческого потенциала, развития страны в современном мире, биосферосовместимые преобразования городов окажут положительное влияние на территории страны и создадут привилегированные условия для существования биосферы, что в свою очередь обеспечит не только качественное, но и количественное развитие населения, т.е. жизнь будущих поколений;
- независимо будет ли предложенная схема применяться целиком или по отдельным этапам или частям будет получен положительный и измеримый результат;
- осуществление развития и восстановления прекрасной природы.

Несложно видеть качественные связи между матрицей преобразования города и описанными результатами.

Изложенные результаты экономически целесообразны и могут быть достигнуты на принципах программно-целевого управления с использованием фондорыночных механизмов развития. Это механизмы нововведений мало чувствительные к внешней экономической среде (инфляция, кризисы и др.), являющиеся наиболее эффективными показателями инновационного развития [5].

Не изменяя общности подхода, рассмотрим преобразование городской территории в биосферосовместимые на конкретном примере железнодорожного района г. Орла. Границами рассматриваемого района являются железная дорога с востока и юга и река Ока с севера и запада (рисунок 1). Для данной территории характерна смешанная застройка 2-х, 5-ти и 9-ти этажными секционными домами постройки соответственно 1930-1940-х, 1950-1960-х и 1980-1985-х годов, а также частный сектор, представленный малоэтажной застройкой. На рассматриваемой территории находятся также четыре детских сада, четыре школы, архитектурно-строительный институт и два промышленных предприятия: завод Текмаш и завод им. Медведева, относящиеся к отрасли электронной промышленности.

Приняв, как работе [6], в качестве критерия реализации принципа биосферной совместимости уровень развития человеческого потенциала выполним количественную оценку баланса биосферы и техносферы описанных территорий. В рамках рассматриваемой концепции расширенного воспроизводства главной производительной силы – чистой части биосферы в условиях современного уровня урбанизации и обязательного условия реализации всех функций города (см. пункт 7 таблицы 1). Для этого используем два количественных интегральных показателя:  $\eta$  – показатель биосферной совместимости территории;  $\xi$  – показатель уровня реализации функций биосферно-совместимого поселения (функции города).

Значение показателя биосферной совместимости территории в первом приближении можно представить следующим образом:

$$\eta = \sum_n \sum_i (D_{in} \xi_{in}^* \Theta - A_{in} \cdot \gamma_{in} \cdot m_{in}), \quad (1)$$

где первое слагаемое в правой части представляет собой относительный показатель чистой (лишенной загрязнений) биосферы окружающей среды; второе слагаемое – относительный показатель загрязнений от техносферы с максимальными концентрациями, допускающими развитие (МКДР);  $D_{in}$  – отношение требуемой площади биосферы к площади рассчитываемой территории, необходимой для нейтрализации загрязнений от техносферы до уровня

МКДР из расчета на  $i$ -е рабочее место в  $n$ -ой функции города;  $\xi_{in}^*$  – коэффициент однородности биосферы, учитывающий различные интенсивности поллютантов;  $\Theta$  – требуемое количество рабочих мест, загрязнение от которых на рассчитываемой территории может быть поглощено биосферой;  $A_{in}$  – значение параметра загрязнений от  $i$ -го источника при реализации  $n$ -ой функции города, рассчитываемое для территории распространения загрязнений;  $\gamma_{in}$  – коэффициент приведения параметров загрязнений к одному источнику;  $m_{in}$  – число рабочих мест в  $i$ -ом источнике загрязнений в  $n$ -ой функции города.

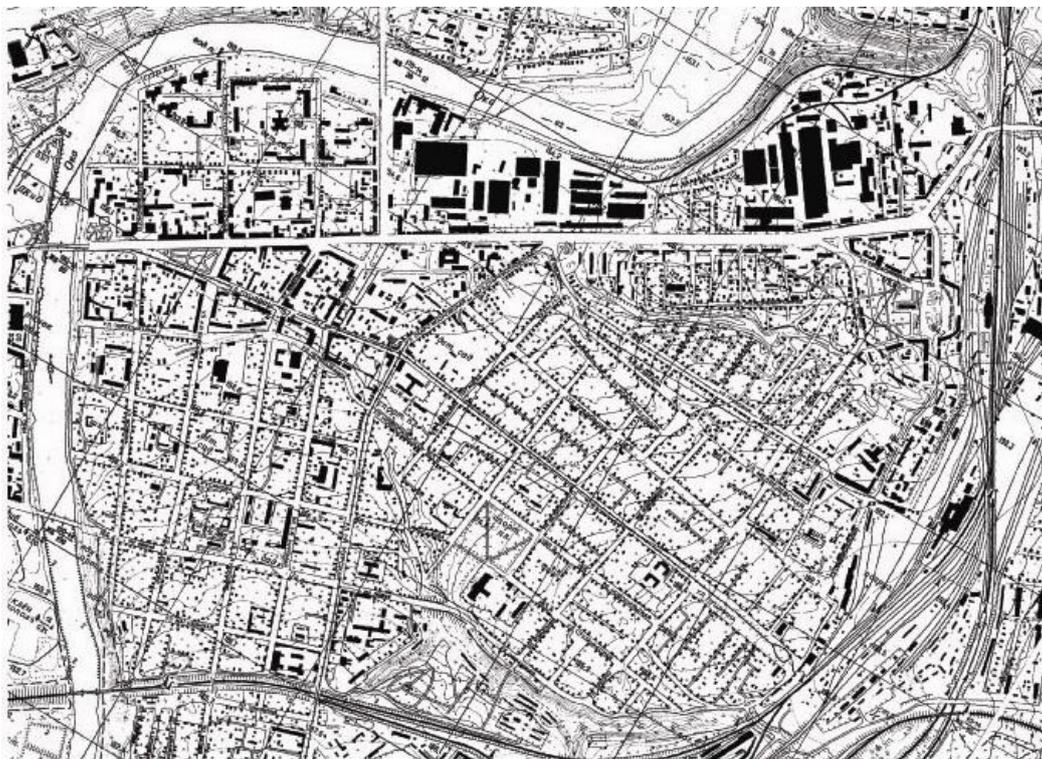


Рисунок 1 – Схема застройки территории железнодорожного района г. Орла в рассматриваемых границах

Вычисление отношения требуемой площади биосферы к площади рассчитываемой территории производится по формуле:

$$D_{in} = \{(V_{in} / \Theta_{in}) / k_{in}\} / S_{общ}, \quad (2)$$

где  $V_{in}$  – объем загрязнений от  $i$ -ого источника при реализации  $n$ -ой функции города, кг/год;  $k_{in}$  – количество загрязнителя утилизируемого 1 м<sup>2</sup> биосферы, кг/год;  $S_{общ}$  – требуемая площадь рассчитываемого участка на одно рабочее место (м<sup>2</sup>).

Значение параметра загрязнений от  $i$ -го источника при реализации  $n$ -той функции города рассчитывается по формуле:

$$A_{in} = (S_{in} / \Theta_{in}) / S_{in}, \quad (3)$$

где  $S_{in}$  – площадь загрязнения от  $i$ -того поллютанта при реализации  $n$ -ой функции города, м<sup>2</sup>.

Исходя из сформулированного принципа рассматриваемой концепции, критерий расширенного воспроизводства главной производительной силы может быть записан в виде:

$$\eta > 0; \quad (4)$$

$$\eta \leq 0. \quad (5)$$

При положительном балансе биосферы и техносферы обеспечивается рост главной производительной силы и естественный прирост населения, в противном случае имеет место регрессивное развитие человека и территории, уничтожение человеком биосферы и самого себя как ее составляющей.

Показатель уровня реализации функций биосферно-совместимого поселения  $\xi$  определяется по формуле:

$$\xi = 1 - \left\{ \left( \sum^n \sum^i a_{in}^* \overline{\alpha_{in}} \beta_{in}^* - \sum^n \sum^i a_{in} \alpha_{in} \beta_{in} \right) / \left( \sum^n \sum^i a_{in}^* \overline{\alpha_{in}} \beta_{in}^* \right) \right\}, \quad (6)$$

где  $a_{in}$  – относительное значение составляющей в  $n$ -ой функции города из расчета на одного жителя;  $\alpha_{in}$  – коэффициент доступности  $i$ -ой составляющей;  $\beta_{in}$  – параметр реализуемости  $i$ -ой составляющей в расчетный период времени (по возрастным группам, социальным и другим особенностям человеческого потенциала для рассматриваемой территории);  $a_{in}^*$  – минимально необходимое значение параметра  $a_{in}$ , законодательно гарантируемое властью и обеспечивающее развитие человеческого потенциала на расчетный период времени;  $\overline{\alpha_{in}}$  – нормируемое значение коэффициента доступности;  $\beta_{in}^*$  – расчетное значение параметра реализуемости  $n$ -ой функции города  $\beta_{in}$ .

Используя методики количественных оценок, приведенные в действующих нормативных документах, и в соответствии с описанными зависимостями по аналогии с работой [6,7] выполним количественный расчет показателя биосферной совместимости территории –  $\eta$  и показателя уровня реализации функций биосферно-совместимого поселения (функции города) –  $\xi$  для рассматриваемой территории г. Орла. В итоге получены следующие значения:  $\xi=0,48$  (48%),  $\eta=0,45$  (45%). Из анализа полученных низких значений показателя  $\xi$  и  $\eta$  следует, что рассматриваемый район находится в неблагоприятном состоянии с позиции расширенного воспроизводства чистой биосферы. Такое состояние ведет к ухудшению экологической ситуации городской среды на территории и как следствие – деградации биологической, эмоциональной и материальной составляющих городского населения.

В соответствии с методикой [8] и принципом 3 (см. пункт 3 таблицы 1) был выполнен прогноз показателей биосферной совместимости рассматриваемой урбанизированной территории на основе статистических данных за последние 75 лет о численности населения, выбросах в атмосферу загрязняющих веществ от стационарных источников и количестве зеленых насаждений.

Анализ статистических данных показывает, что положительная тенденция прироста населения района, наблюдающаяся с 1960 года, сменилась на отрицательную в 2005 г. (таблица 2).

Таблица 2 – Численность населения г. Орел (кварталы 351-355)

Год	Численность населения на 1 января, чел., г. Орел (кварталы 351-355)		
	Занятые в отрасли приборостроения	Пр. население	Все население
1935	880	1840	2720
1941	320	1506	1826
1960	711	7973	8684
1965	854	10113	10967
1970	990	10553	11543
1975	1110	12824	13934
1980	1405	17018	18423
1985	1728	18606	20334
1990	1688	19649	21337
1995	911	20813	21724
2000	801	20100	20901
2005	233	20529	20762

Визуальный анализ графика временного ряда «все население» (рисунок 2) показывает изменение уровня численности населения во времени, свободное от случайных колебаний,

что позволяет сделать вывод о наличии тренда этого показателя. На рисунке 2 приведено поле корреляции по данным таблицы 3.

$$y(x) = -178,82x^2 - 4227,3x - 3361,3, \quad (7)$$

где  $y$  – общая численность населения;  $x$  – номер периода – года, если 1935 г. считать первым ( $x=1$ ), причем  $x$  изменяется от 1 до 12.

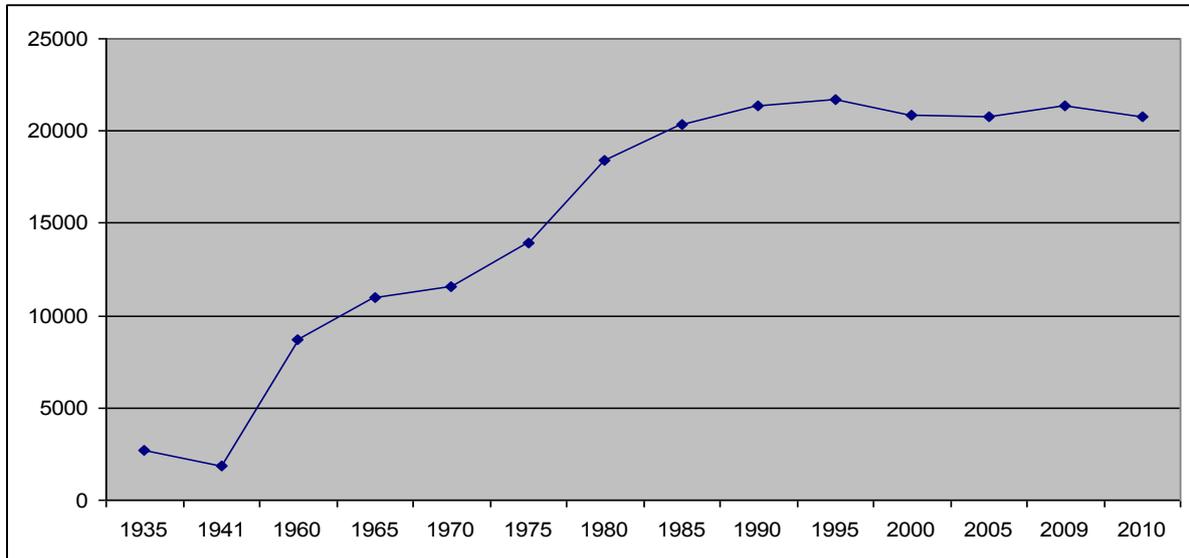


Рисунок 2 – Поле корреляции общей численности населения

На рисунке 3. приведена линия тренда временного ряда «все население», полученная средствами ПК Microsoft Excel. В качестве аппроксимирующей функции был выбран полином второй степени.

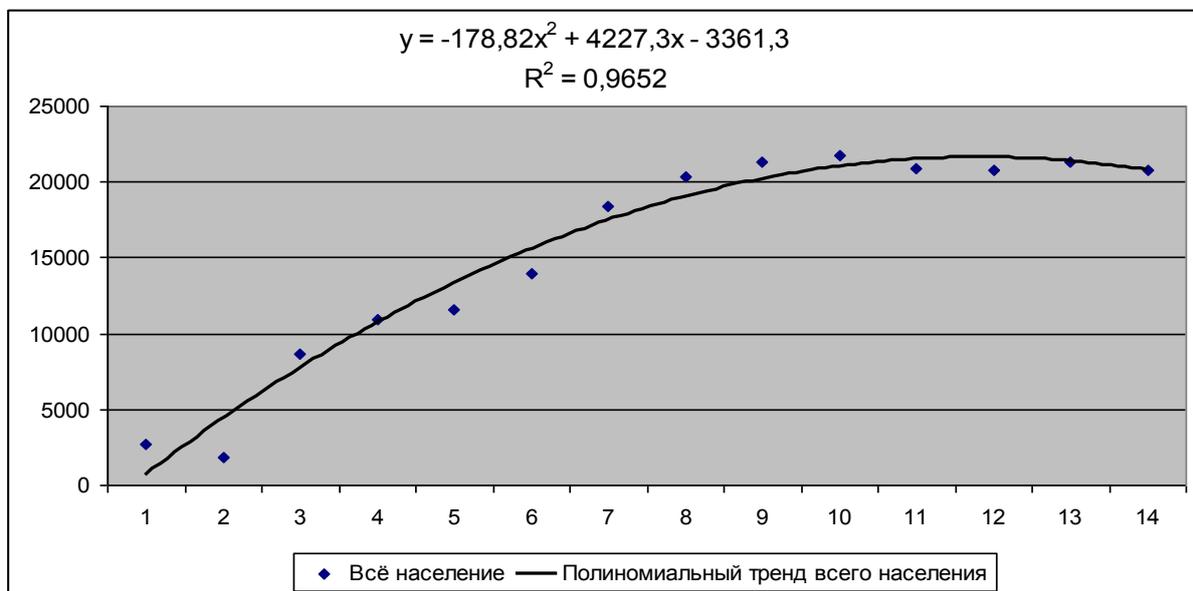


Рисунок 3 – Сравнение поля корреляции общей численности населения с графиком его тренда и прогноз на 13 и 14 периоды (2009 и 2010 гг.)

Визуальный анализ графика (см. рисунок 3) показывает, что полученное значение коэффициента детерминации  $R^2 = 0,9663$  свидетельствует о том, что изменение численности

## Строительство и реконструкция

населения кварталов 351-355 за исследуемый промежуток времени (1935-2010 гг.) практически точно описывается квадратной параболой (7).

С учетом зависимости (7) построен прогноз на два года вперед, т.е. на 13 и 14 периоды (2009 и 2010 гг.):

$$Y(13) = -178,82 \cdot 13^2 - 4227,3 \cdot 13 - 3361,3 = 21371,72;$$

$$Y(14) = -178,82 \cdot 14^2 - 4227,3 \cdot 14 - 3361,3 = 20770,78.$$

Как и в работе [9] был выполнен корреляционно-регрессионный анализ и установлена связь между зависимой, объясняемой, переменной  $y(x)$  и рядом независимых, объясняющих переменных  $z_1$  (численность населения занятого в отрасли приборостроения),  $z_2$  (численность прочего населения),  $z_3$  (выбросы в атмосферу от стационарных источников) и  $z_4$  (количество зеленых насаждений) (таблицы 3, 5, 6) в виде функции множественной регрессии:

$$y(x) = f(z_1, z_2, \dots, z_m),$$

которая показывает, каково будет среднее значение переменной  $y$ , если переменные  $z_1, z_2, \dots, z_m$  примут конкретные значения. Количество выбранных факторов  $m = 4$  удовлетворяет требованиям надежности модели.

$$m \leq \frac{n}{3},$$

где  $n$  – число уровней временного ряда ( $n = 12$ ).

Таблица 3 – Численность населения занятого в отрасли приборостроения

Численность населения занятого в отрасли приборостроения (з-д. Текмаш, з-д им. Медведева) г. Орел, кварталы 351-355												
Год	1935	1941	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005
Кол-во, т	880	320	711	854	990	1110	1405	1728	1688	911	801	233

Таблица 4 – Прочее население

Прочее население г. Орел, кварталы 351-355												
Год	1935	1941	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005
Кол-во, т	1840	1506	1973	10113	10553	12824	17018	18606	19649	20813	20100	20529

Таблица 5 – Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ

Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ (от стационарных источников з-д. Текмаш, з-д им. Медведева) г. Орел, кварталы 351-355												
Год	1935	1941	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005
Кол-во, т	10,32	4,11	17,34	22,11	27,01	31,42	40,68	55,46	42,16	16,29	20,31	5,07

Таблица 6 – Количество зеленых насаждений

Количество зеленых насаждений (вместе с поймой реки) г. Орел, кварталы 351-355												
Год	1935	1941	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005
Кол-во, т	64,64	64,64	56,12	54,92	50,64	40,25	38,16	37,29	35,01	59,34	57,19	32,07

Для определения наиболее существенных факторов из выбранных для построения модели проведем корреляционный анализ. В таблице 7 приведены полученные средствами ПК Microsoft Excel значения коэффициентов парной корреляции.

Таблица 7 – Корреляционная таблица

	Общая численность населения $y$	Занятые в отрасли приборостроения $z_1$	Прочее население $z_2$	Выбросы в атмосферу, т. $z_3$	Количество зеленых насаждений $z_4$
Общая численность населения	1				
Занятые в отрасли приборостроения	0,428664	1			
Прочее население	0,99824	0,374329	1		
Выбросы в атмосферу	0,492917	0,947728	0,443709	1	
Количество зеленых насаждений	-0,9365	-0,20293	-0,94789	-0,25544	1

Анализ матрицы коэффициентов парной корреляции из таблицы 8 показывает, что переменные  $z_1, z_2, z_3, z_4$  следует оставить в модели, поскольку их связь с результирующим признаком высокая и парная корреляция между ними невелика. В итоге модель приобретает вид:

$$\hat{Y} = a_1 z_1 + a_2 z_2 + a_3 z_3 + a_4 z_4. \quad (8)$$

Оценку параметров  $a_1, a_2, a_3, a_4$  четырехфакторной регрессии – коэффициентов уравнения (8) проведем методом наименьших квадратов, при этом используем данные, приведенные в таблице 8.

Таблица 8 – Статические данные объясняемого и объясняющих факторов

$y$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$
2720	880	1840	10,32	64,64
1826	320	1506	4,11	64,64
8684	711	7973	17,34	59,34
10967	854	10113	22,11	57,19
11543	990	10553	27,01	56,12
13934	1110	12824	31,42	54,92
18423	1405	17018	40,68	50,64
20334	1728	18606	55,46	40,25
21337	1688	19649	42,16	38,16
21724	911	20813	16,29	37,29
20901	801	20100	20,31	35,01
20762	233	20529	5,07	32,07

Непосредственное вычисление вектора оценок  $a = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{pmatrix}$  параметров регрессии произ-

водим по формуле:

$$a = (Z^T Z)^{-1} Z^T Y, \quad (9)$$

где  $Z$  – матрица размерности  $(12 \times 5)$ , содержащая вектор-столбцы переменных  $z_1, z_2, z_3, z_4$  в указанном порядке (табл. 9), а  $Y$  – вектор столбец размерности  $(12 \times 1)$  значений объясняемого фактора дает результат:

$$a = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -17,935 \\ 1,03 \\ 401,823 \\ 125,982 \end{pmatrix}$$

Таким образом, уравнение регрессии (2) принимает вид:

$$\hat{Y} = -17,935z_1 + 1,03z_2 + 401,823z_3 + 125,982z_4. \quad (10)$$

Для построения прогноза результативного признака  $\hat{Y}$  необходимо определить прогнозные значения включенных в модель объясняющих факторов  $z_1, z_2, z_3, z_4$ . На рисунке 4 приведены результаты построения трендов и прогнозирования по тренду соответственно для временных рядов  $z_1, z_2, z_3$  и  $z_4$ . В качестве аппроксимирующей функции для  $z_1$  и  $z_3$  выбран полином 4-ой степени (этой модели соответствует наибольшее значение коэффициента детерминации), по которому построен прогноз на два шага вперед. Прогнозные значения на 13 (2009 г.) и 14 (2010 г.) периоды соответственно составляют:

$$Z_1(13) = 0,835 \cdot 13^4 - 29,989 \cdot 13^3 + 318,36 \cdot 13^2 - 1060,3 \cdot 13 + 1597,1 = -451,358;$$

$$Z_3(13) = 0,0332 \cdot 13^4 - 1,0325 \cdot 13^3 + 9,5945 \cdot 13^2 - 25,776 \cdot 13 + 27,686 = -6,109;$$

$$Z_1(14) = 0,835 \cdot 14^4 - 29,989 \cdot 14^3 + 318,36 \cdot 14^2 - 1060,3 \cdot 14 + 1597,1 = -1060,996;$$

$$Z_3(14) = 0,0332 \cdot 14^4 - 1,0325 \cdot 14^3 + 9,5945 \cdot 14^2 - 25,776 \cdot 14 + 27,686 = -10,425.$$

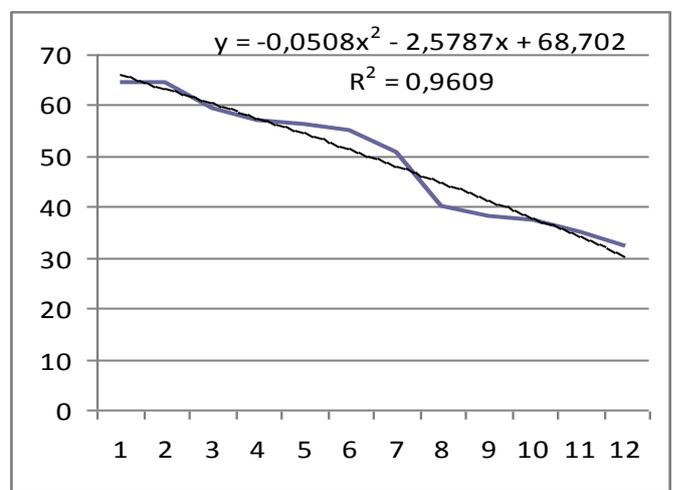
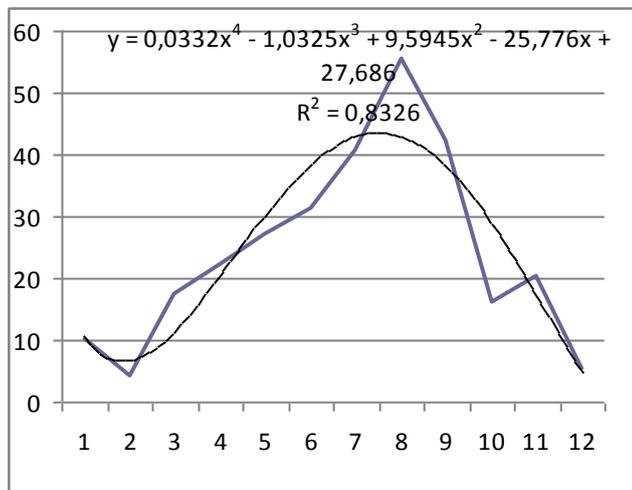
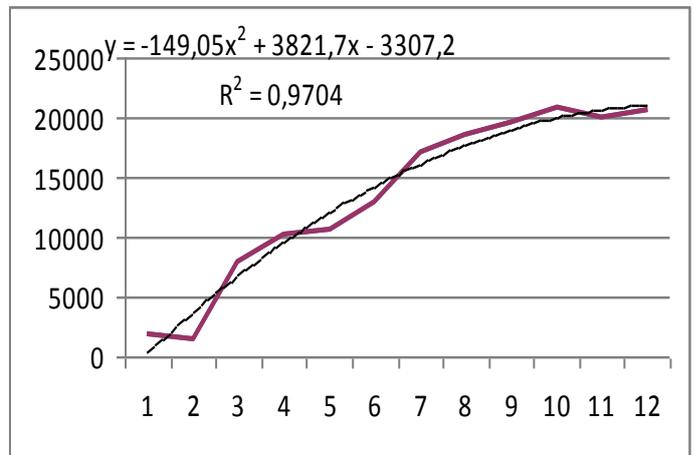
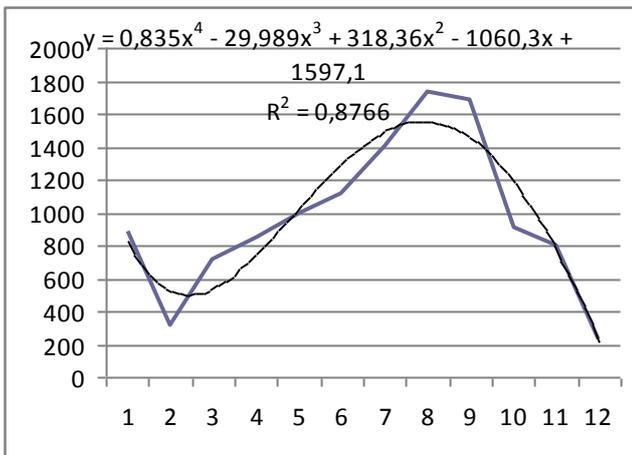


Рисунок 4 – Результаты построения трендов соответственно для временных рядов  $z_1, z_2, z_3, z_4$

Для факторов  $z_2$  и  $z_4$  выбран полином 2-ей степени. Прогнозные значения на 2009 и 2010 гг. соответственно составляют:

$$Z_2(13) = -149,05 \cdot 13^2 + 3821,7 \cdot 13 - 3307,2 = 21190;$$

$$Z_4(13) = -0,0508 \cdot 13^2 - 2,5787 \cdot 13 + 68,702 = 26,594;$$

$$Z_2(14) = -149,05 \cdot 14^2 + 3821,7 \cdot 14 - 3307,2 = 20980;$$

$$Z_4(14) = -0,0508 \cdot 14^2 - 2,5787 \cdot 14 + 68,702 = 22,643.$$

Для получения прогнозных оценок переменной  $\hat{Y}$  «Численность населения» по модели (10), подставим в нее найденные прогнозные значения факторов  $z_1, z_2, z_3, z_4$  и получим:

$$\hat{Y}(13) = 20016,434; \hat{Y}(14) = 19997,892.$$

Результаты прогнозных оценок модели регрессии представим в таблице прогнозов (таблица 9).

Таблица 9 – Прогнозы «Численности населения»

Год	2009		2010	
	абс. значение	ошибка	абс. значение	ошибка
Регрессия	20016	2,1%	19998	2,5%
Тренд	21372	9,01%	20771	6,5%
Статистика	19605		19501	

Из анализа приведенных данных следует, что при сложившихся сегодня показателях функций города и биосферной совместимости территорий резко уменьшается количество работающего населения, общее количество также имеет тенденцию на уменьшение, хотя и более плавное. Уместно отметить еще одну закономерность проведенных исследований: уменьшение рекреационных зон зеленых насаждений в рассматриваемом районе более значительно влияет на человеческий потенциал (количество населения) всего микрорайона и мало отражается на количестве занятых в производственной сфере.

Проведенные исследования по расчету гуманитарного баланса биотехносферы, т.е. тройственного баланса населения, мест удовлетворения потребностей и воспроизводства чистой части биосферы для рассматриваемого района также показали отсутствие прогресса с позиции развития человеческого потенциала и главной производительной силы – чистой части биосферы. Исправление такой ситуации в соответствии с матрицей преобразования города в биосферосовместимый возможно на основе принципа 5 – Знания: профессионализм, интеллект, программы развития и как результат инновационные технологии и мероприятия по введению в хозяйственный оборот инновационных технологий эффективной газоочистки. Примером в этом случае может быть электронно-лучевая технология очистки газообразных выбросов. Суть технологии заключается в том, что отходящие газы смешиваются с аммиаком и облучаются пучками электронов. После облучения окислы азота и серы превращаются в соли аммония, которые удаляются из дымовых газов с помощью электрофилтра. В процессе очистки получают минеральные удобрения, доходы от реализации которых до четырех раз выше, чем затраты на исходные реагенты и собственные нужды очистки. Капиталовложения в электронно-лучевую очистку минимум вдвое ниже, чем в химические методы, эксплуатационные затраты составляют от 0,2% до 2% установленной мощности установки.

Реализация двухэтапного проекта реконструкции существующей инфраструктуры архитектурно-строительного института ОрелГТУ на основе биосферосовместимых технологий, описанная в работе [9], обеспечит доступность базовых функций города в рассматриваемом районе.

Так, в результате применения этих технологий значения показателей  $\eta$  и  $\xi$  могут быть следующими:  $\xi=0,69$  (69%),  $\eta=0,73$  (73%).

## Выводы

Предложенная модель и принципы реализации концепции биосферной совместимости города, развивающего человека, является безальтернативной основой реконструкции город-

ской среды. Предложенная методика расчета показателей  $\eta$  – биосферной совместимости территории и  $\xi$  – уровня реализации функций биосферно-совместимого поселения позволяет сделать функции города и показатель биосферной совместимости города измеряемыми. Они могут быть положены в основу расчета генеральных планов. Предложенная методика расчета тройственного гуманитарного баланса биотехносферы позволяет сделать количественную оценку уровня динамики реализации функций города, микрорайона, конкретного поселения и выполнить прогнозирование показателей биосферной совместимости урбанизированных территорий с позиции биосферной совместимости

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильичев, В.А. Биосферосовместимые технологии регионального развития [Текст]: Научное издание / В.А. Ильичев, И.А. Малмыгин. – М.: Изд. Дом «Экономика, строительство, транспорт», 2009. – С. 184.
2. Ильичев, В.А. Может ли город быть биосферосовместимым и развивать человека? [Текст] / В.А. Ильичев. – Архитектура и строительство Москвы, 2009. – №2 (544). – С.8-13.
3. Осипов, В.И. Урбанизация и природные опасности. Задачи, которые необходимо решать. [Текст] / В.И. Осипов. – Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 2007 – № 1.
4. Ильичев, В.А. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека. [Текст] / В.А. Ильичев. – Градостроительство. – 2009. – № 3. – С. 20-30.
5. Ильичев, В.А. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека [Текст] / В.А. Ильичев // Промышленное и гражданское строительство. – М.: ООО «Издательство ПГС». – 2010. – № 6. – С. 3-13.
6. Ильичев, В.А. Некоторые вопросы проектирования поселений в рамках концепции биосферной совместимости [Текст] / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, А.В. Берсенев, А.Л. Поздняков. – М.: Academia, 2009. – №1. – С. 50-57.
7. Ильичев, В.А. К построению критерия биосферной совместимости [Текст] / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, С.А. Воробьев и др. // Фундаментальные и приоритетные прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2008 году. Сборник научных трудов РААСН: в 2 т. – Москва-Орел: РААСН, ОрелГТУ, 2010. – Т.2. – С. 162-169.
7. Ильичев, В.А. Методика прогнозирования показателей биосферосовместимости урбанизированных территорий [Текст] / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, В.А. Гордон // Градостроительство, 2010. – №1. – С. 37-43.
8. Бакаева, Н.В. Некоторые вопросы биосферосовместимых технологий в формировании вузовских комплексов. [Текст] / Н.В. Бакаева, Д.В. Данилевич, А.Л. Поздняков // Строительство и реконструкция, 2010. – №3(29). – С. 59-65.

#### **Поздняков Андрей Леонидович**

Орловский государственный технический университет, г. Орел.

Старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции и материалы»

Тел.: +7 (4862) 73-43-49

E-mail: skimkafedra@yandex.ru

СЕРГЕЙЧУК О.В.

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ – СТРАТЕГИЧЕСКОЕ НАПРАВЛЕНИЕ БИОСФЕРОСОВМЕСТИМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Рассматриваются принципы создания биосферосовместимых зданий. Эти принципы включают оптимизацию срока эксплуатации зданий, выбора материалов конструкций, использования возобновляемой энергии, степени остекления зданий. Уделено внимание анализу строительных норм стран СНГ с точки зрения проектирования зданий как объектов биосферосовместимых городов.*

**Ключевые слова:** энергоэффективные и экологические здания, биосферосовместимые технологии.

*Principles of creating of biosphere-compatible buildings are considered. These principles include the optimization of: service life of buildings, choice of structural materials, renewable energy, and the level of glazing of buildings. Paying attention to the analysis of building regulations in the CIS countries in terms of design of buildings as objects of biosphere-compatible cities.*

**Keywords:** power effective and ecological buildings, biosphere-compatible technologies.

**Постановка проблемы.** На данный момент здания потребляют до 30% энергоресурсов Земли, которые человечество затрачивает на свои нужды. При этом от сжигания топлива выделяется значительное количество CO<sub>2</sub>, который значительно влияет на обострение проблемы биосферной совместимости поселений. Основное внимание в повышении энергоэффективности зданий уделяется их утеплению. Однако при определении оптимального утепления зданий необходимо комплексно рассматривать ряд важных для биосферной совместимости задач.

**Анализ основных исследований и публикаций.** Имеется большое число научных публикаций, посвященных проблеме проектирования энергоэффективных зданий.

Общая концепция математического моделирования теплового режима зданий и оптимизации их тепловой эффективности разработана Ю.С. Табунчиковым и М.М. Бродач [1, 2]. Они рассматривают здание как сложную систему, для оптимизации которой применяются методы и принципы выбора технических параметров системы климатизации и теплозащиты здания. В работах Г.Г. Фаренюка значительное внимание уделяется основам обеспечения энергоэффективности зданий с точки зрения тепловой надежности ограждающих конструкций [3]. Однако в этих работах мало внимания уделяется оптимизации формы зданий, анализу экологичности используемых материалов, определению оптимальной продолжительности их «жизни».

Концепция пассивных жилых домов (Passivhaus), предложенная Wolfgang Feist, и разработанный стандарт по их проектированию [4] нашли большое число поклонников во всем мире. До настоящего времени с применением технологии энергоэффективности построено уже более 8 тысяч пассивных домов. Чтобы дом мог называться пассивным его конструкция должна обеспечивать сохранение тепла в помещении благодаря мощной теплоизоляции стен и покрытий, герметичности здания, наличию принудительной вентиляции с теплообменником и высокой теплозащите окон. При этом энергопотребление зданий должно быть ниже 15 кВт/м<sup>2</sup>. Это высокоэкологичные здания, рассчитанные на разумный срок эксплуатации. Однако здания Passivhaus имеют, как правило, простую геометрическую форму и не очень выразительный облик, что задерживает применение таких зданий, например, в России и Украине.

Бесспорным лидером проектирования и строительства интересных по форме, энергоэффективности и экологичности зданий является Norman Foster. Его концепция жизнеуст-

ремленных зданий была реализована во многих блестящих проектах [5]. Однако эти проекты не были проанализированы с точки зрения их биосферосовместимости.

**Концепция биосферосовместимых зданий.** Биосферосовместимое здание должно быть оптимизировано по следующим параметрам:

1. Срок эксплуатации.
2. Материалы конструкций.
3. Форма.
4. Степень использования возобновляемой энергии.
5. Степень остекления.

Рассмотрим эти параметры подробнее.

*Срок эксплуатации зданий.* Как известно, срок эксплуатации зданий зависит от его капитальности, т.е. долговечности основных несущих конструкций – фундаментов, стен, перекрытий. Чем дольше должно служить здание, тем более капитальными должны быть его конструкции, а значит, тем больше энергии необходимо затратить на производство материалов и строительство дома. При большом сроке эксплуатации зданий (100-150 лет) неминуемо возникает вопрос его морального устаревания, т.е. несоответствия объемно-планировочного, инженерного решения изменившимся стандартам комфортности. Не всегда эти вопросы можно в полной мере решить за счет реконструкции и капитального ремонта зданий. Это, в первую очередь, касается жилых зданий. Нет смысла строить индивидуальный жилой дом «на века». Ваши дети не захотят ездить на Вашем автомобиле, купленном 10-15 лет назад, даже если он все эти годы простоял в теплом гараже, также они не захотят жить в доме, построенном по проекту 30-40-летней давности, даже если в этом проекте были заложены суперсовременные на тот час технологии.

Необходимо также помнить, что капитальный ремонт, а тем более реконструкция здания, сопряжена со значительными денежными и энергетическими затратами. Поэтому повышенной капитальностью должны обладать здания, имеющие важнейшие управленческие, народно-хозяйственные и культурные функции в городе, а массовые жилые здания должны быть рассчитаны на эксплуатацию в течение 25-30 лет.

*Материалы конструкций.* Совокупные затраты энергии на строительство домов из разных материалов показаны на рисунке 1.

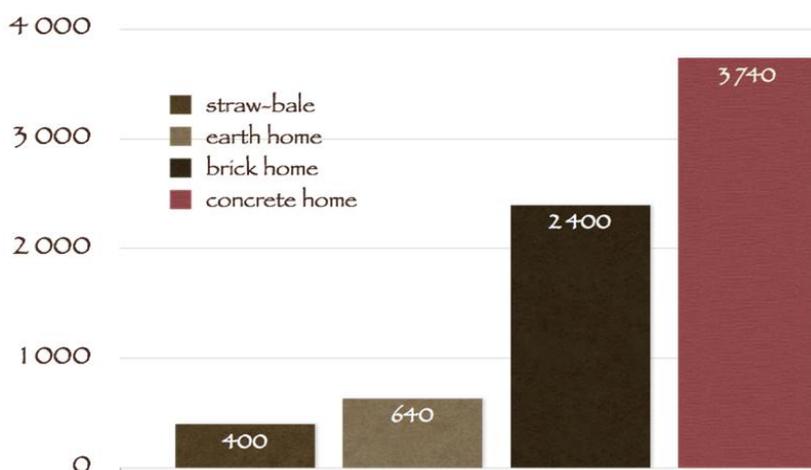


Рисунок 1 – Приведенные энергозатраты на строительство зданий из разных материалов, кВт·ч/м<sup>2</sup> [6]

- с использованием крупнопанельных технологий 180 МВт·ч;
- с использованием традиционной технологии (кирпич) 80 МВт·ч;
- с применением экологической технологии (глина + дерево) 25 МВт·ч.

Это без учета теплоизоляционных материалов. Для производства традиционных теплоизоляционных материалов также необходимы значительные затраты энергии (таблица 1).

В таблице 1 приведены данные о затратах энергии на производство теплоизоляционных материалов.

Таблица 1 – Окупаемость различных теплоизоляционных материалов [7]

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Затраты энергии на производство, кВт·ч/м <sup>3</sup>	Период окупаемости, мес.
Пенополистирол	15-30	0,035-0,040	530-1050	7-20
Пенополиуретан	30-35	0,020-0,035	1140-1330	9-23
Мингральная вата	20-140	0,035-0,045	100-700	1,5-13
Древесноволокнистая плита	190-240	0,045-0,053	590-785	8-16
Целлюлоза	40-70	0,045	10-17	0,1-0,3

В то же время, вокруг нас имеется экологичное, практически бесплатное сырье для производства жилых домов – глина, как конструктивный материал, и солома, стружка, опилки, вереск, тростник – как утеплитель.

В настоящее время из глины построено более 300 тысяч квартир в Германии. Большинство исторических зданий в Европе, построенных из глины, находится во Франции (15% зданий построено до 1900 г.). В регионе Гренобля - Лион – Чакон большинство городов и небольших сельских поселков построены из необожженной глины (до 80% зданий). Это школы, особняки, церкви и фабрики. В самом Гренобле появился целый глиняный поселок, жилые дома и здания другого назначения в котором построены из глины [8].

В Йемене г. Шибам полностью построен из сухой глины. Построенные в XIX и XX вв. здания имеют высоту до 10 этажей. До сих пор эти дома в хорошем состоянии. Также отличным здоровьем отличаются их жители.

Глиняные стены характеризуются низкой теплопроводностью и в то же время большой аккумулятивной способностью. Для отопления дома используется минимальное количество энергии. Они дышат – естественным образом поглощают и испаряют влагу, сохраняя ее на соответствующем уровне. Производство строительных материалов из глины не требует большого количества энергии, в том числе, благодаря устранению процесса обжига. Возникающие в ходе работ отходы строительных материалов не вызывают загрязнения окружающей среды, натуральным способом «возвращаются» обратно в природу. То же самое происходит с демонтируемыми и закончившими свой жизненный срок конструкциями зданий. Массивные стены из глины создают ощущение безопасности и надежности. Чрезвычайная пластичность этого строительного материала позволяет формировать индивидуальные, различные формы конструкций и деталей.

Учитывая оптимальные сроки эксплуатации индивидуальных жилых домов наиболее рациональными материалами для их возведения с точки зрения биосферной совместимости являются природные материалы на основе глины и соломы.

*Форма зданий.* Важнейшее место в повышении энергоэффективности домов занимает проблема оптимизации их формы, поскольку она служит основой дальнейшей оптимизации. Разработка оптимальной модели требует комплексного анализа и моделирования формирующих факторов, которые включают природно-климатические условия, нормативные требования, физико-технические процессы в конструкциях и средах, которые эти конструкции разделяют, технологические требования. Некоторые из этих факторов (солнечная радиация, температура и влажность воздуха, использование возобновляемых источников энергии) оказывают непосредственное влияние на энергоэффективность домов, другие (нормативные и технологические требования к инсоляции, естественному освещению, акустики, шумозащиты, аэрации и т.п.) – опосредствованное, поскольку определяют ориентацию домов, площадь остекления, необходимость и вид солнцезащитных устройств, форму зрительных залов,

конструктивные требования к звукоизоляции помещений, предельные размеры домов из условий сохранения санитарно-гигиенических требований на территории застройки, в существующих домах и т.п.

Среди архитекторов и проектировщиков укоренилось мнение, что оптимальным с точки зрения энергосбережения является здание в форме шара, поскольку шар имеет наименьшую площадь поверхности среди всех фигур с одинаковым объемом. Однако расчеты показывают, что это не так [9]. На рисунке 2 показано изменение формы тела  $Q$  постоянного объема, которое имеет наименьший тепловой баланс с окружающей средой при разной интенсивности несобственного точечного источника тепла.

$p = 0$	$p = q$	$p = 2q$	$p = 3q$	$p = 4q$	$p = 5q$	$p = 10q$
$R \approx 0,62$	$h \approx 0,457$ $r \approx 0,792$	$h = 0$ $r = \infty$	$h \approx 0,515$ $r \approx 0,728$	$R \approx 0,62$	$h \approx 0,279$ $r \approx 0,558$	$h \approx 1,256$ $r \approx 0,419$

*Рисунок 2 – Оптимальная форма тела  $Q$  при разной интенсивности несобственного точечного источника тепла:  $p$  – интенсивность источника тепла;  $q$  – интенсивность собственного излучения тела*

Задача оптимизации формы здания может быть сведена к вариационной задаче.

*Использование возобновляемых источников энергии.* Затраты на обустройство дома системами использования возобновляемых источников энергии достаточно большие. Поэтому каждый раз нужно просчитывать целесообразность их установки с учетом роста стоимости цены на традиционное топливо. За срок эксплуатации здания эти системы должны окупиться.

Среди известных альтернативных источников энергии в настоящее время наибольшее распространение нашли солнечная и геотермальная энергия. При этом пассивное использование солнечной энергии более предпочтительно по сравнению с активным ее использованием. Именно эти виды энергии используются при строительстве зданий по стандарту Passivhaus [4].

*Остекление зданий.* Светопрозрачные ограждения являются наиболее уязвимыми элементами внешней теплоизоляционной оболочки зданий, через которые осуществляется наиболее интенсивный теплообмен между внешней и внутренней средой. Определение и применение в помещениях минимально необходимой научно обоснованной площади остекления дает существенное сохранение энергоресурсов при поддержке оптимальных параметров микроклимата в зданиях.

Существенным недостатком действующих нормативов проектирования светопрозрачных ограждений зданий является то, что требования к освещению помещений, их инсоляции и

теплозащите регламентируются разными нормативными документами. Например, в Украине требования к инсоляции помещений жилых и общественных зданий устанавливаются санитарными нормами [10], которые ориентируются лишь на действие ультрафиолетовой радиации, составляющей менее 4% солнечной энергии. Нормы по естественному освещению [11] учитывают только видимый свет (приблизительно 46%) при условии сплошной облачности. Нормы по тепловой изоляции зданий [12] учитывают поступление солнечного тепла лишь в период отопления. Проектирование солнцезащитных устройств вообще лишь декларируется без установления необходимых методик их расчета, это при том, что инфракрасная радиация составляет больше 50% солнечной энергии. Такое же положение и в других странах СНГ.

Необходимо эти нормы срочно пересматривать с точки зрения проектирования зданий как объектов биосферосовместимых городов.

**Выводы и перспективы дальнейшего исследования.** Превращение городов в биосферосовместимые поселения невозможно без строительства энергоэффективных и экологических зданий.

Биосферосовместимое здание должно отвечать концепции, которая рассматривает его как сложный объект, неразрывно связанный с природой, временем и экономическими возможностями.

Дальнейшего исследования требуют задачи математического моделирования как отдельных составляющих концепции, так и их совокупного рассмотрения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Табунщиков, Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий [Текст] / Ю.А. Табунщиков, М. М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.
2. Табунщиков, Ю.А. Энергоэффективные здания [Текст] / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач, Н.В. Шилкин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. – 200 с.
3. Фаренюк, Г.Г. Основы обеспечения энергоэффективности зданий и тепловой надежности ограждающих конструкций [Текст] / Г.Г. Фаренюк. – Киев : ГАММА-ПРИНТ, 2009. – 216 с.
4. Passivhaus Vorprojektierung 2002. Energiebilanzverfahren für die Vorentwurfsplanung von Passivhäusern / [Feist W., Baffia E., Schnieders J., Pfluger R.] – Darmstadt: PHI, 2002. – 42 p.
5. Foster 40. 2 volumes. – Munich-London-New York : Prestel Publishing. – 2007. – 564 p.
6. Широков, Е.И. Опыт и потенциальные возможности строительства экономичного энергоэффективного экологически чистого жилья из местных возобновляемых материалов в Беларуси [Текст] / Е.И. Широков [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.reenergy.by](http://www.reenergy.by).
7. Ecofys VII – U-values for Better Energy Performance of Buildings. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.eurima.org](http://www.eurima.org).
8. Строительство домов из глины и земли. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://stroitelstvodomov.com/stroitelstvo-domov-iz-gliny-i-zemli>.
9. Сергейчук, О.В. Европейские нормы и нормы стран СНГ по строительной физике с точки зрения биосферной совместимости [Текст] / О.В. Сергейчук // Строительство и реконструкция. Материалы Международ. научн.-практич. семинара «Человек и развитие биосферно-совместимых городов». – Орел: ОрелГТУ. – 2009. – С. 56-61.
10. Санитарные нормы и правила обеспечения инсоляцией жилых и общественных зданий и территорий жилой застройки [Текст]: СН 2605-82. – [Введены в действие со 2 июля 1982 г.]. – М.: Минздрав СССР, 1982. – 3 с.
11. Естественное и искусственное освещение [Текст]: ДБН В.2.5-28-2006. [Введены в действие с 2006-10-01] / Госстрой Украины. – К.: Укрархбудінформ, 2006. – 76 с.
12. Тепловая изоляция зданий [Текст]: ДБН В.2.6-31:2006. – [Введены в действие с 2007-04-01] / Госстрой Украины. – К.: Укрархбудінформ, 2006. – 65 с.

#### Сергейчук Олег Васильевич

Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина

Доктор технических наук, профессор кафедры архитектурных конструкций

Тел.: +3 (067) 985-02-91

E-mail: [ovsergeich@mail.ru](mailto:ovsergeich@mail.ru)

## 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 и сверху – 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.

---

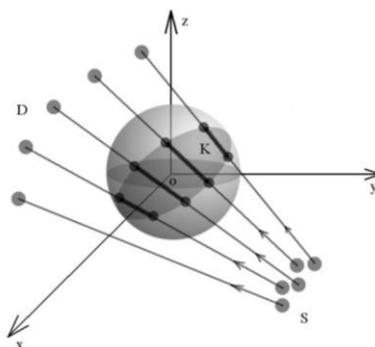
• Рисунки и другие иллюстрации (чертежи, графики, схемы, диаграммы, фотоснимки) следует располагать непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые.

• 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.



*Адрес учредителя журнала:*

Государственное образовательное учреждение профессионального образования  
«Орловский государственный технический университет»  
302020, г. Орел, ул. Наугорское шоссе, 29  
+7 (4862) 73-43-48  
www.ostu.ru  
E-mail: admin@ostu.ru

*Адрес редакции:*

Государственное образовательное учреждение 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. 3,92.  
Тираж 300 экз.  
Заказ № \_\_\_\_\_

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической базе ОрелГТУ  
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.