



Научно-технический журнал  
Издается с 2003 года.  
Выходит шесть раз в год.

**№2 (64) 2016**  
**(март-апрель)**

# СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

Учредитель – федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»  
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)

## 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:

Данилевич Д.В. к.т.н., доц.  
Колесникова Т.Н. д. арх., проф.  
Коробко В.И. д.т.н., проф.

## Редакция:

Бок Т. д.т.н., проф. (Германия)  
Бондаренко В.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.  
Гордон В.А. д.т.н., проф.  
Емельянов С.Г. советник РААСН, д.т.н., проф.  
Карпенко Н.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.  
Клюева Н.В. советник РААСН, д.т.н., проф.  
Коробко А.В. д.т.н., проф.  
Король Е.А. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.  
Римшин В.И. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.  
Сергейчук О.В. д.т.н., проф. (Украина)  
Серпик И.Н. д.т.н., проф.  
Тамразян А.Г. д.т.н., проф.  
Тур В.В. д.т.н., проф. (Белоруссия)  
Турков А.В. д.т.н., проф.  
Федоров В.С. акад. РААСН, д.т.н., проф.  
Чернышов Е.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.  
Шах Р. д.т.н., проф. (Германия)

## Ответственный за выпуск:

Савин С.Ю. к.т.н.

## Адрес редакции:

302006, Россия, г. Орел,  
ул. Московская, 77  
Тел.: +7 (4862) 73-43-49  
[www.gu-unpk.ru](http://www.gu-unpk.ru)  
E-mail: [str\\_and\\_rek@mail.ru](mailto:str_and_rek@mail.ru)

Зарегистрировано в Федеральной службе  
по надзору в сфере связи, информационных  
технологий и массовых коммуникаций.  
Свидетельство:  
ПИ № ФС77-47354 от 03 ноября 2011 г.

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

© ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2016

## Содержание

### Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

- Бондаренко В.М., Мигаль Р.Е., Ягунов Б.А.** Конструктивная безопасность железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в агрессивной среде ..... 3
- Бандурин Н.Г., Калашников С.Ю., Голиков А.В., Чураков А.А.** Численный метод и программа для исследования напряженно-деформированного состояния многопролетного упругого сжато-изогнутого стержня и определения критических нагрузок ..... 12
- Калафатов Д.А.** Методика проведения экспериментальных исследований моделей конструкций двухслойных железобетонных плитных фундаментов ..... 23
- Покусеев А.А., Шавыкина М.В., Колчунов В.И.** Вторая стадия напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций при кручении с изгибом (случай 2) ..... 30
- Прокуров М.Ю.** Новый интерполяционный метод определения максимальных значений прогибов тонких упругих пластинок с произвольным выпуклым контуром ..... 39
- Тиратуриян А.Н.** Выделение характерных секций участков эксплуатируемых автомобильных дорог на основе результатов оценки их прочности ..... 47

### Безопасность зданий и сооружений

- Аверченков А.В., Фисун А.П.** Модель многоуровневой идентификации персонала в системе контроля и управления доступом на предприятиях строительной индустрии ..... 56
- Лысанов И.Ю.** Методика идентификации кадров-вставок в мультимедийном потоке видеоданных для системы контроля и управления доступом на предприятиях строительной индустрии ..... 64

### Архитектура и градостроительство

- Яскорская Е.А.** Собор во имя чудотворной Грузинской иконы Божьей Матери Красногорского Богородицкого мужского монастыря ..... 71

### Строительные материалы и технологии

- Моисеенко А.М., Лысак О.Г.** Моделирование температурно-влажностного режима в зданиях картофеле-овощехранилищ ..... 77
- Румянцева В.Е., Грузинцева Н.А., Пестерева Л.А., Москвитина Т.В., Гусев Б.Н.** Построение методики оценки качества укладки геотекстильного материала в земляное полотно ..... 85



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

**№2 (64) 2016  
(March-April)**

# BUILDING AND RECONSTRUCTION

The founder – federal state budgetary educational institution of the higher vocational training  
«State University – Educational-Science-Production Complex»  
(State University ESPC)

*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.*

**Kirichuk 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:*

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

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

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

*Editorial committee*

**Bock T.** *Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)*

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

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

**Emelyanov S.G.** *Doc. Sc. Tech., Prof.*

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

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

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

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

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

**Sergeychuk O.V.** *Doc. Sc. Tech., Prof. (Ukraine)*

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

**Tamrazyan A.G.** *Doc. Sc. Tech., Prof.*

**Tur V.V.** *Doc. Sc. Tech., Prof. (Belorussia)*

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

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

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

**Schach R.** *Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)*

*Responsible for edition:*

**Savin S.Yu.** *Candidat Sc. Tech*

*The edition address:* 302006, Orel,

Street Moscow, 77

+7 (4862) 73-43-49

[www.gu-unpk.ru](http://www.gu-unpk.ru)

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

Journal is registered in Russian federal service for monitoring communications, information technology and mass communications

The certificate of registration:

III № ФС77-47354 from 03.04.11 г.

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

© State University ESPC, 2014

## Contents

### *Theory of engineering structures.*

#### *Building units*

<b>Bondarenko V., Migal R., Yagupov B.</b> Constructive safety of reinforced concrete structures, operating in a corrosive environment .....	3
<b>Bandurin N., Kalashnikov S., Golikov A., Churakov A.</b> Numerical method and program for research the stress-strain state of multi-span elastic compressed-bent rod and determine critical loads .....	12
<b>Kalafatov D.</b> Methods of experimental studies bilayer structure model concrete slab foundation .....	23
<b>Pokusaev A., Shavykina M., Kolchunov V.I.</b> The second stage of the stress-strain state of reinforced concrete structures in torsion with bending (case 2).....	30
<b>Prokurov M.</b> A new interpolational method of estimating maximum deflection values for thin elastic plates with arbitrary convex contour .....	39
<b>Tiraturyan A.</b> Sectioning characteristic sites of highways based on evaluation their strength .....	47

#### *Building and structure safety*

<b>Averchenkov A., Fisun A.</b> Model multi-level identification of personnel in the access control system at construction industry enterprises .....	56
<b>Lysanov I.</b> Methodology identifying the insert frame in the multi-media stream of viewdatas to the access control system at construction industry enterprises.....	64

#### *Architecture and town-planning*

<b>Yaskorskaya E.</b> The miraculous Georgian Mother of God icon Cathedral of the Krasnogorsky Bogoroditsky monastery.....	71
--	----

#### *Construction materials and technologies*

<b>Moiseenko A., Lysak O.</b> Modeling of temperature and humidity mode in the potato-vegetable stores .....	77
<b>Rumyantseva V., Gruzintseva N., Pestereva L., Moskvitina T., Gusev B.</b> The construction methods for the assessment of placement quality geotextile material in the roadbed .....	85

## **КОНСТРУКТИВНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В АГРЕССИВНОЙ СРЕДЕ**

*Дан анализ современных подходов к оценке конструктивной безопасности зданий и сооружений. Показано, что в общем случае задача сводится к учету энергетических несовершенств силового сопротивления материалов теория накопления повреждений и выявлению ключевых элементов системы, ответственных за геометрическую неизменяемость, кинематическую устойчивость и живучесть. Рассмотрены конкретные случаи оценки резерва и экспозиции конструктивной безопасности железобетонных конструкций. Приводятся предложения, позволяющие выполнить количественную оценку резервов и экспозиции конструктивной безопасности, а также снижение силового сопротивления поврежденных коррозией железобетонных конструкций.*

**Ключевые слова:** железобетон, экспозиция живучести, конструктивная безопасность, агрессивная среда

Конструктивная безопасность зданий – это такое инженерное состояние работоспособности конструкций, оснований, особенностей их совместного силового сопротивления ожидаемым нагрузкам и воздействиям с учетом возможных сочетаний по направлению, интенсивности и режиму, которое с заданной надежностью обеспечивает целостное их функциональное использование.

Конструктивная безопасность зданий зависит от проектно-композиционных и конструктивных решений, экологических мер при возведении и эксплуатации, которые должны быть обеспеченными на всех этапах жизненного цикла объекта (строительство, эксплуатация, ремонт, реконструкция, разборка и демонтаж).

Интересы конструктивной безопасности зданий, требуют обеспечения:

а) геометрической неизменяемости конструктивной схемы на всех перечисленных этапах их существования (при реконструкции и демонтаже достигается с помощью дополнительных связей) [1,2];

б) устойчивости напряженно-деформированного состояния и положения в пространстве и во времени всех несущих конструкциях здания [3];

в) живучесть статически неопределимых систем (согласно И.М. Рабиновичу [2]).

Однако, несмотря на различное назначение перечисленных условий, общим является обеспечение прочности и устойчивости отдельных несущих элементов систем и так называемых "неизбыточных" связей.

Вместе с тем, оценка конструктивной безопасности является обязательной стадией процедуры принятия решений по вопросам продолжения эксплуатации или технологического переустройства производства, реконструкции и т.п., и осуществляется только по итогам натурного обследования.

Однако существующий регламентированный подход к решению задач конструктивной безопасности почти всегда ограничивается равновесной или псевдоравновесной постановкой, а другие варианты анализа заменяются набором так называемых коэффициентов условий работы и не дают ответ на вопрос об изменении силового сопротивления (включая вопрос от экспозиции конструктивной безопасности), связанный с диссипацией энергии при

деформировании и воздействии коррозионных повреждений материалов конструкций, обусловленных агрессивным воздействием среды.

В целом, задача сводится к учету энергетических несовершенств силового сопротивления материалов с точки зрения теории накопления повреждений, к выявлению ключевых элементов системы, ответственных за геометрическую неизменяемость, кинематическую устойчивость и живучесть.

Анализ силового сопротивления и прогноз его изменения в расчетный период - главные вопросы о потенциале и экспозиции конструктивной безопасности.

В привязке к неравновесным процессам диссипации силового сопротивления бетона и железобетона в качестве исходной посылки принимается известный энтропийный признак, согласно которому скорость изменения исследуемых фактора пропорциональна относительному дефициту этого фактора отношению к некоторой критической величине  $L_{np}$ :

$$\frac{d\Delta L}{dt} = \alpha \Delta L, \quad (1)$$

где  $l = \frac{L_{np} - L}{L_{np}} = 1 - \frac{L}{L_{np}}$ .

Здесь  $\alpha$  и  $L_{np}$  - некоторые эмпирические коэффициенты.

Решение (1) имеет заведомо энтропийный характер:

$$L(t) = [1 - \Delta \cdot L(t_0, t) \cdot e^{-2 \cdot (t-t_0)}] \cdot L_{np} \quad (2)$$

На ранних стадиях развития теории неравновесных процессов выражение (2) часто использовалось для описания функции старения [4], функций простой ползучести [5], функций повреждений [12]. Однако, несмотря на кажущуюся и очевидную простоту соотношений (1), (2), они редко используются и заменяются эмпирическими зависимостями. Причина этого заключается в том, что под влиянием фактора нагружения меняется не только структура материала (бетона) и характеристики силового сопротивления, но изменяется кинетика самого неравновесного процесса деформирования во времени (ползучести) [7], но и процесса коррозионного деформирования бетона [8].

В частности, применительно к процессу коррозионного повреждения бетона при сжатии вначале при малых уровнях действующего напряжения (примерно  $\sigma/R_{дл} \leq 0,5$ ) бетон уплотняется и, соответственно, сдерживается (тормозится) продвижения коррозионного фронта; одновременно, химсоставляющая агрессивной среды и составляющие цементного камня бетона, взаимодействуя, образуют нерастворимые вторичные продукты коррозии. Эти продукты коррозии кольматируют поры бетона; продвижение коррозионного фронта прекращается и физико-химическое структурное состояния бетона стабилизируется.

При дальнейшем догрузении обжатый бетон разуплотняется, поры объединяются, появляются сначала локальные, а затем и магистральные трещины, процесс кольматации замедляется, однако, его кинетические признаки сохраняются до уровня обжатия  $\sigma/R < 1$ , но кольматационные признаки сохраняются включительно до уровня обжатия  $\sigma/R \cong 1$ , процесс энтропийного затухания продолжается, а глубина проникновения коррозионных повреждений в поры бетона стабилизируется. При этом численные значения параметров  $d$  и  $L_{np}$  для каждого конечного фиксируемого уровня обжатия, физико-химических характеристик агрессивной среды и температуры определяются эмпирически. Предусматривается практически целесообразным для основных сочетаний уровня повреждения, класса бетона и химических характеристик агрессивной среды разработать официальные регламенты.

При этом соотношение (1) применимо только для энтропийно затухающих кольматационных форм развития коррозионных повреждений бетона.

В действительности, как это было выявлено экспериментально на примере такого материала как древесина Ю.М. Ивановым [9], композиционно и структурно неоднородным материалам, в частности бетону, свойственно под нагрузкой менять кинетические характеристики неравновесных процессов силового сопротивления [7].

При напряжении  $R \geq \sigma \geq R_{\text{дл}}$  структура материала разрушается [7]. Кинематическое развитие повреждений (и других неравновесных процессов силового сопротивления) выходит за рамки энтропийно затухающего развития (2). В связи с этим, помехи продвижения коррозионно агрессивной среды резко уменьшаются, энтропийно затухающий процесс заменяется фильтрационным, при котором продукты коррозии не локализируются в теле бетона, а вымываются. Однако полное разрушение бетона происходит на следующем этапе развития неравновесного процесса коррозионных повреждений – имеет место лавинное продвижение агрессивной среды. Кинетический тип развития повреждений называется лавинообразным.

Базовые кинетические зависимости типа (1) не в состоянии описать все кинематические стадии развития повреждений по мере роста напряжений и разрушений структуры материала, вызванных этим ростом. Поэтому потребовалось нелинейное обобщение, которое принципиально расширяет область его применений [10-12].

Итоговая запись полученного уравнения имеет вид:

$$d \frac{(\delta)}{dt} = \alpha \cdot (\Delta\delta)^m, \quad (3)$$

где  $\delta$  – глубина фронта продвижения коррозии;  $m$  – параметр, зависящий от уровня действующих напряжений [8].

Приведенный степенной параметр  $m$  определяет кинематические особенности развития коррозионных повреждений [12-15]:

- при  $m \geq 1$  имеет место энтропийно затухающая кинетика (для коррозионных повреждений процесс сопровождается кольматацией пор);
- при  $0 \leq m \leq 1$  происходит незатухающее развитие фронта коррозионных повреждений, т.е. так называемый фильтрационный процесс;
- при  $m < 0$  развивается лавинообразное продвижение коррозионных повреждений с полным разрушением бетона (рис.1).

Решение уравнения (3) приведено в [13]. С позиции конструктивной безопасности появляются благоприятные случаи в форме кольматационного развития:

при  $m = 1$

$$\delta(t) = [1 - \Delta\delta \cdot (t_0, t) \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}] \cdot \delta_{np}, \quad (4)$$

и в форме фильтрационного развития:

при  $m = 0$

$$\delta(t) = [\Delta - \delta(t_0, t) + \alpha(t - t_0)] \cdot \delta_{np}. \quad (5)$$

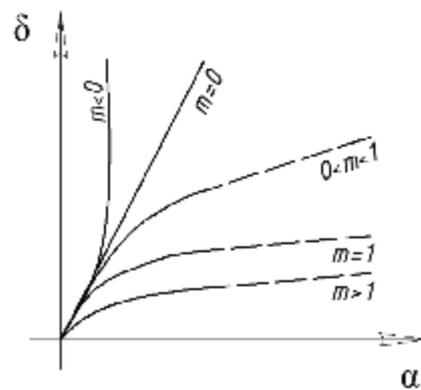


Рисунок 1 - Схема кинетики развития и коррозионных повреждений бетона во времени в зависимости от значений параметра  $m$

Однако информация о продвижении фронта агрессии в глубину бетонного тела не исчерпывает вопрос о распространении коррозионных повреждений материалов по координатам пространства. Очевидно, наибольшие повреждения располагаются на поверхности соприкосновения с агрессором, а по мере удаления от него степень коррозионного повреждения уменьшается. Другими словами, степень сохранения исходных характеристик бетона возрастает по мере удаления от границы контакта агрессора с бетоном.

В [16] предложена соответствующая функция сохранения исходных характеристик бетона (рис. 2)

$$K^*(z) = \sum_{i=0}^{i=2} a_i \cdot z^i, \quad (6)$$

где  $z$  – ордината, отсчитываемая от оси силовых напряжений поврежденного коррозией бетонного элемента;  $a_i$  – коэффициенты степенного ряда, которые находят при фиксированных значениях  $K_i$ .

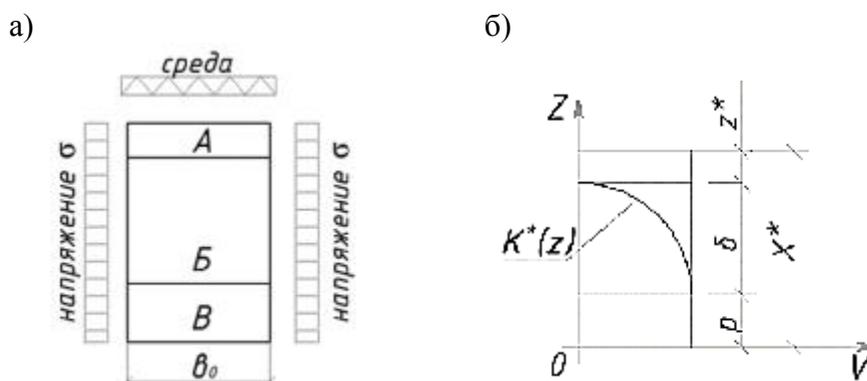


Рисунок 2 - Распределение зон поражения коррозией бетонного образца:

- а) схема поперечного сечения образца;
- б) схема зависимости глубины коррозионного поражения от силовых напряжений;
- А - зона полного разрушения материала толщиной  $z^*$ ;
- Б - переходная зона частичного поражения бетона толщиной  $\delta$ ;
- В - зона неповрежденного коррозией бетона толщиной  $p$

Учитывая сопряженность функции  $K$  на границе зон, выписываем условия для определения параметров  $a_i$

при  $z = p$  будет 
$$K^*(p) = 1 \quad \left. \frac{dk^*}{dz} \right|_{z=p} = 0; \quad (7)$$

при  $z > p$  будет 
$$K^*(p + \delta) = K_1. \quad (8)$$

Замечаем, в большинстве случаев  $K_1 = 0$ . Решение системы (6), с учетом граничных условий (7), (8) дает следующие значения параметров  $a_i$ :

$$a_0 = 1 - (1 - K_1^*) \cdot \left(\frac{p}{\delta}\right)^2; \quad a_1 = \frac{2 \cdot (1 - K_1^*)}{\delta^2}; \quad a_2 = -\frac{1 - K_1^*}{\delta^2} \quad (9)$$

Функция (6) и граничные условия (7) и (8) строятся чисто геометрически и одинаково приемлемыми для всех физико-механических характеристик материала. Это позволяет принять

$$K^* = \frac{R^*(z)}{R_0} = \frac{E^*(z)}{E_0} = \frac{C_0}{C^*(z)} = \frac{dK^*}{K_{об.}} \quad (10)$$

и применить признак эквивалентности, который состоит в условном приведении к неповрежденному бетону путем уменьшения соответствующих частей сечения.

Рассчитанная величина напряжений, требуемая для вычисления параметра  $m$ , определяется при однородном напряженном состоянии:

$$\sigma = \frac{N}{A}, \quad (11)$$

где  $N$  – значение силы, обжимающей бетонный образец;  $A$  – площадь сечения элемента.

При неоднородном напряженном состоянии (например, при поперечном изгибе) расчет выполняется с использованием схем, приведенных на рисунке 3.

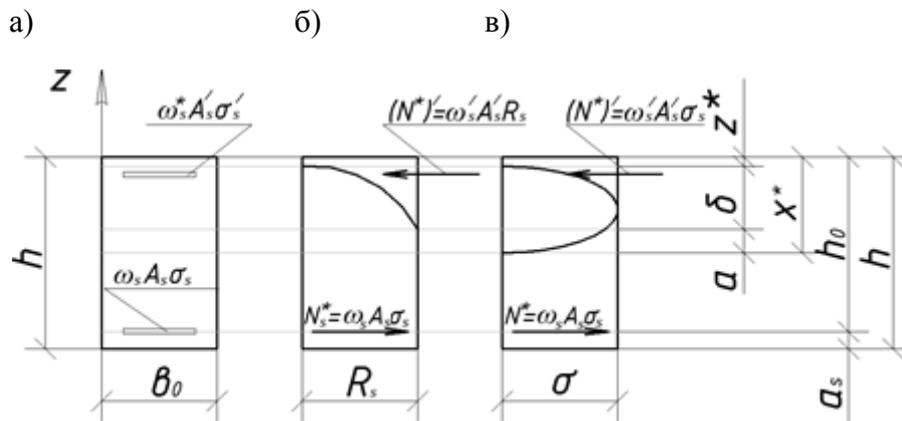


Рисунок 3- Схема поперечных сечений и напряженное состояние изгибаемого железобетонного бруса, поврежденного коррозией: а) поперечное сечение бруса; б) распределение предельных усилий в арматуре и предельных характеристик прочности бетона, используемое для вычислений предельного момента силового сопротивления  $M_{np}^*$ ; в) распределение усилий в арматуре и напряжений в бетоне сжатой зоны сечения, соответствующих действующему изгибающему моменту  $M$

Как показано в [11], действующие в сжатой зоне бетона напряжения с учетом коррозионных повреждений описываются зависимостью:

$$\sigma^*(x, t, t_0, z_0) = \left[ \frac{M(x)}{M_{np}^*(x)} \right]^{1/c} \cdot R \cdot K^*(x, z) \cdot \left[ \frac{z}{x^* \cdot (1 - z^*)} \right]^\eta, \quad (12)$$

где

$$\eta = 1 - (1 - f_0) \cdot \frac{M(x)}{M_{np}^*(x)} \quad (13)$$

В связи с малым значением  $f_0$  ( $f_0 = E_K^*/E_0^*$ ) далее принимаем

$$\eta = 1 - \frac{M(x)}{M_{np}^*(x)}, \quad (14)$$

где  $M$  – действующий в сечении изгибающий момент;  $M_{np}^*$  – предельный момент (несущая способность) для того же сечения с учетом повреждения коррозией;  $E_K^*$  – касательный модуль в момент разрушения бетона;  $E_0^*$  – начальный модуль при нулевом напряженном состоянии.

Выражение (10) приводит эпюру действующих в сечении нормальных напряжений согласно схеме «в» (рис. 3) к расчетному значению

$$\sigma_{cp}^* = \int_0^{x^*-z^*} \sigma^*(z) dz. \quad (15)$$

В качестве основы оценки резерва и экспозиции конструктивной безопасности принимаются схемы «б» и «в» (рис. 3). При этом в качестве внешнего условия должно выполняться  $x^* \geq \delta + z^*$ . Это условие мотивируется тем, что поступающая коррозионная среда (коррозионные повреждения) не должна распространяться на бетон растянутой части сечения, которая при расчете прочности вообще не учитывается. Кроме того, пересечение линии фронта коррозионного повреждения напряжениями разных знаков может перевести кольматационный процесс в фильтрационный, что для конструкций зданий неприемлемо.

1. В случае, когда  $\delta_{np} + z^x = x^2$ , предельный момент отсчитываемый от центра тяжести растянутой арматуры с учетом (4), (5), (6) будет равен

$$M_{кр}^* = w_s' \cdot A_s' \cdot \sigma_s' \cdot (h_0 - a_s) + \frac{3}{5} \cdot b_0 \cdot R \cdot (x^* - z^*), \quad (16)$$

где

$$x^* = \frac{3}{2} \cdot \frac{(w_s \cdot A_s \cdot \sigma_s - w_s' \cdot A_s' \cdot \sigma_s')}{b_0 \cdot R} + z^*. \quad (17)$$

В большинстве случаев напряжение в арматуре можно считать равным пределу прочности.

2. В случае, когда  $m > 1$  и  $\delta_{np} < x^* - z^*$  и  $p > 0$  развитие силовых повреждений носит кольматационный характер

$$M_{np}^* = w_s' \cdot A_s' \cdot \sigma_s' \cdot (h_0 - a_s) + \frac{3}{5} \cdot b_0 \cdot \delta_{np} \cdot \left( h_0 - z^* - \frac{5}{8} \cdot \delta_{np} \right) \cdot R + b_0 \cdot R \cdot \left( x^* - z^* - \frac{5}{8} \cdot \delta_{кр} \right) \cdot \left[ h_0 - x + \frac{1}{2} \cdot (x^* - z^* - \delta_{np}) \right], \quad (18)$$

$$\text{где } x^* = \frac{3}{2} \cdot \frac{w_s \cdot A_s \cdot \sigma_s - w_s' \cdot A_s' \cdot \sigma_s'}{b_0 \cdot R} + z^* - \frac{1}{2} \cdot p. \quad (19)$$

Здесь предусмотрено возможное уменьшение зоны  $B$  ( $p$ ).

Для обоих случаев (16) и (18) зона конструктивной безопасности оценивается соотношением:

$$K_{кб} = \frac{M_{пр}^*}{M}, \quad (20)$$

где  $M$  - действующий изгибающий момент.

Экспозиция конструктивной безопасности оценивается также в двух случаях:

$$\delta_{кр} > x^* \text{ и } \delta_{кр} < x^*, \quad (21)$$

которая равна времени, необходимому для преодоления расстояния  $x^* - \delta = \bar{\delta}$ , рассчитываемому по формулам (4) и (5) при экспозиция конструктивной безопасности  $(t - t_0)$  [14]:

1. В случае, когда  $\delta_{кр} > x^*$  при коррозионных повреждениях кольматационного типа, экспозиция конструктивной безопасности равна времени  $t - t_0$ , необходимому для преодоления расстояния  $\bar{\delta} = x^* - \delta(\alpha)$ , где  $\delta(\alpha)$  - глубина повреждений к моменту начала наблюдения при  $m = 1$

$$\bar{\delta} = [1 - \Delta\delta(t_0, t) \cdot e^{-\alpha \cdot (t-t_0)}] \cdot x^* \quad (22)$$

$$\text{откуда } t - \alpha = \frac{1}{\alpha} \cdot \left[ \ln \Delta\delta(t_0, t) - \ln \left( 1 - \frac{\bar{\delta}}{x^*} \right) \right]. \quad (23)$$

2. В случае, когда  $\delta_{кр} < x^*$  при коррозионных повреждениях фильтрационного типа, экспозиция конструктивной безопасности равна времени  $t - t_0$ , необходимому для преодоления расстояния  $\bar{\delta} = x^* - \delta(\alpha)$  при  $m = 0$

$$\bar{\delta} = [\Delta\delta(t_0, t) + \alpha \cdot (t - t_0)] \cdot x^*, \quad (24)$$

$$\text{откуда } t - \alpha_0 = \frac{1}{\alpha} \cdot \left[ \frac{\bar{\delta}}{x^*} - \Delta\delta(t_0, t) \right]. \quad (23)$$

Приведенные предложения позволяют количественно оценить резервы и экспозицию конструктивной безопасности железобетонных конструкций, получивших коррозионные повреждения и, соответственно, снижение силового сопротивления поврежденных коррозией железобетонных конструкций, необходимые при решении задач реконструкции зданий и сооружений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соболев, Д.Н. Основы строительной механики стержневых систем [Текст] / Н.Н. Леонтьев, Д.Н. Соболев, А.А. Амосов. – М.: Из-во АСВ, 1996. – 541 с.
2. Рабинович, И.М. Основы строительной механики стержневых систем [Текст] / И.М. Рабинович. – М.: Стройиздат, 1960. – 516 с.
3. Бондаренко, В.М. Концепция и направления развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при силовых и средовых воздействиях [Текст] / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов // Промышленное и гражданское строительство. - 2013.- № 2. – С. 28-31.

4. Бондаренко, В.М. Инженерные методы нелинейной теории железобетона [Текст] / В.М. Бондаренко, С.В. Бондаренко. – М.: Стройиздат, 1982. – 287 с.
5. Арутюнян, Н.Х. Некоторые вопросы теории ползучести [Текст] / Н.Х. Арутюнян. – М.: Гостехиздат, 1952. – 327 с.
6. Попеско, А.И. Работоспособность железобетонных конструкций, подверженных коррозии [Текст] / А.И. Попеско. – СПб.: Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т., 1996. – 181 с.
7. Бондаренко, В.М., Уровни напряженного состояния как фактор структурных изменений реологического силового сопротивления бетона [Текст] / В.М. Бондаренко // Академия. Архитектура и строительство. – 2007.- №1. - С. 14-17.
8. Бондаренко, В.М. К вопросу об устойчивом и неустойчивом сопротивлении железобетонных конструкций, поврежденных коррозией [Текст] / В.М. Бондаренко // Строительство и транспорт. – 2009. – №1/2.
9. Иванов, Ю.М. Основные вопросы изучения ползучести древесины [Текст] / Ю.М. Иванов // Исследования прочности, ползучести, пластичности строительных материалов. - М., 1955. - С. 100-115.
10. Бондаренко В.М. Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона [Текст] / В.М. Бондаренко. – Харьков: Изд-во Харьковского Университета, 1968. - 323 с.
11. Бондаренко, В.М. Элементы диссипативной теории силового сопротивления железобетона/ Строительная механика строительных конструкций и сооружений. – 2014. – №2. – С. 47-57.
12. Бондаренко, В.М. К расчету сооружений, меняющих расчетную схему вследствие коррозионных повреждений/ В.М. Бондаренко, Н.В. Ключева // Известия высших учебных заведений. Строительство. - 2008. - №1. – С. 4-12.
13. Бондаренко, В.М. Феноменология кинетики повреждений бетона железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в агрессивной среде [Текст] / В.М. Бондаренко // Бетон и железобетон. - 2008. - №2. - С. 25-28.
14. Бондаренко, В.М. Экспозиция живучести железобетона./ В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов // Известия вузов. Строительство. – 2007.- №5. – С. 4-8.
15. Ключева, Н.В. Предложения к расчету живучести коррозионно повреждаемых железобетонных конструкций [Текст] / Н.В. Ключева // Бетон и железобетон. – 2008 – №3. – С. 22–26.
16. Бондаренко, В.М. Некоторые фундаментальные вопросы развития теории железобетона [Текст] / В.М. Бондаренко // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2010.- №2. – С. 5-14.

**В.М. Бондаренко**

НИИСФ РААСН, Научно-исследовательский институт строительной физики, г. Москва  
Академик РААСН, доктор технических наук, профессор

**Р.Е. Мигаль**

Московский государственный строительный университет, г. Москва  
Кандидат технических наук  
E-mail: [str\\_and\\_rek@mail.ru](mailto:str_and_rek@mail.ru)

**Б.А. Ягунов**

Московский государственный строительный университет, г. Москва  
Кандидат технических наук  
E-mail: [str\\_and\\_rek@mail.ru](mailto:str_and_rek@mail.ru)

---

V. BONDARENKO, R. MIGAL, B. YAGUPOV

**CONSTRUCTIVE SAFETY OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES,  
OPERATING IN A CORROSIVE ENVIRONMENT**

*The analysis of modern approaches to the assessment of the structural safety of buildings and structures. It is shown that, in general - the problem is reduced to the integration of energy imperfections of the power of resistance of materials and the theory of the accumulation of damage, and identification of key elements of the system, responsible for the immutability of the geometric, kinematic stability and vitality. The concrete cases of reserve estimation and structural safety of reinforced concrete structures exposure. Contains suggestions that allow you to perform a quantitative evaluation of reserves and exposure of safe design, and reduced power of resistance of corroded reinforced concrete structures.*

**Keywords:** reinforced concrete, survivability exposure, safety aggressive environment

## BIBLIOGRAPHY

1. Sobolev, D.N. Osnovy stroitel'noy mekhaniki sterzhnevnykh sistem [Tekst] / N.N. Leont'yev, D.N. Sobolev, A.A. Amosov. –M.: Iz-vo ASV, 1996. – 541 s.
2. Rabinovich, I.M. Osnovy stroitel'noy mekhaniki sterzhnevnykh sistem [Tekst] / I.M. Rabinovich. – M.: Stroyizdat, 1960. – 516 s.
3. Bondarenko, V.M. Kontsepsiya i napravleniya razvitiya teorii konstruktivnoy bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy pri silovykh i sredovykh vozdeystviyakh [Tekst] / V.M. Bondarenko, V.I. Kolchunov // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. - 2013.- № 2. – S. 28-31.
4. Bondarenko, V.M. Inzhenernyye metody nelineynoy teorii zhelezobetona [Tekst] / V.M. Bondarenko, S.V. Bondarenko. – M.: Stroyizdat, 1982. – 287 s.
5. Arutyunyan, N.KH. Nekotoryye voprosy teorii polzuchesti [Tekst] / N.KH. Arutyunyan. – M.: Gostekhizdat, 1952. – 327 s.
6. Popesko, A.I. Rabotosposobnost' zhelezobetonnykh konstruksiy, podverzhennykh korrozii [Tekst] / A.I. Popesko. – SPb.:Peterb. gos. arkhitektur.-stroit. un-t., 1996. – 181 s.
7. Bondarenko, V.M., Urovni napryazhennogo sostoyaniya kak faktor strukturnykh izmeneniy reologicheskogo silovogo soprotivleniya betona [Tekst] / V.M. Bondarenko // Akademiya. Arkhitektura i stroitel'stvo. – 2007.- №1. - S. 14-17.
8. Bondarenko, V.M. K voprosu ob ustoychivom i neustoychivom soprotivlenii zhelezobetonnykh konstruksiy, povrezhdennykh korroziyey [Tekst] / V.M. Bondarenko // Stroitel'stvo i transport. – 2009. – №1/2.
9. Ivanov, YU.M. Osnovnyye voprosy izucheniya polzuchesti drevesiny [Tekst] / YU.M. Ivanov // Issledovaniya prochnosti, polzuchesti, plastichnosti stroitel'nykh materialov. - M., 1955. - S. 100-115.
10. Bondarenko V.M. Nekotoryye voprosy nelineynoy teorii zhelezobetona [Tekst] / V.M. Bondarenko. – Khar'kov: Izd-vo Khar'kovskogo Universiteta, 1968. - 323 s.
11. Bondarenko, V.M. Elementy dissipativnoy teorii silovogo soprotivleniya zhelezobetona/ Stroitel'naya mekhanika stroitel'nykh konstruksiy i sooruzheniy. – 2014. – №2. – S. 47-57.
12. Bondarenko, V.M. K raschetu sooruzheniy, menyayushchikh raschetnyuyu skhemu vsledstviye korroziyonnykh povrezhdeniy/ V.M. Bondarenko, N.V. Klyuyeva // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo. - 2008. - №1. – S. 4-12.
13. Bondarenko, V.M. Fenomenologiya kinetiki povrezhdeniy betona zhelezobetonnykh konstruksiy, ekspluatiruyushchikhsya v agressivnoy srede [Tekst] / V.M. Bondarenko // Beton i zhelezobeton. - 2008. - №2. - S. 25-28.
14. Bondarenko, V.M. Ekspozitsiya zhivuchesti zhelezobetona./ V.M. Bondarenko, V.I. Kolchunov // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. – 2007.- №5. – S. 4-8.
15. Klyuyeva, N.V. Predlozheniya k raschetu zhivuchesti korroziionno povrezhdayemykh zhelezobetonnykh konstruksiy [Tekst] / N.V. Klyuyeva // Beton i zhelezobeton. – 2008 – №3. – S. 22–26.
16. Bondarenko, V.M. Nekotoryye fundamental'nyye voprosy razvitiya teorii zhelezobetona [Tekst] / V.M. Bondarenko // Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy. – 2010.- №2. – S. 5-14.

### **V. Bondarenko**

NIISF RAASN, Research Institute for Building Physics, Moscow  
RAASN Academician, doctor of technical sciences, professor

### **R. Migal**

Moscow state construction university, Moscow  
Candidate of technical sciences  
E-mail: [str\\_and\\_rek@mail.ru](mailto:str_and_rek@mail.ru)

### **B. Yagupov**

Moscow state construction university, Moscow  
Candidate of technical sciences  
E-mail: [str\\_and\\_rek@mail.ru](mailto:str_and_rek@mail.ru)

УДК 6075.224

БАНДУРИН Н.Г., КАЛАШНИКОВ С.Ю., ГОЛИКОВ А.В. ЧУРАКОВ А.А.

## ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД И ПРОГРАММА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОПРОЛЕТНОГО УПРУГОГО СЖАТО-ИЗОГНУТОГО СТЕРЖНЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

*Описывается метод определения критического состояния и исследования напряженно-деформированного состояния многопролетного упругого сжато-изогнутого прямого стержня в линейной постановке, нагруженного распределенными и сосредоточенными силами. Метод основан на численном решении соответствующей системы дифференциальных уравнений 4-го порядка и реализован с помощью разработанной авторами компьютерной программы 8-го порядка точности. В качестве тестового примера приводятся результаты вычисления критической нагрузки и внутренних усилий в двухпролетном стержне.*

**Ключевые слова:** *устойчивость многопролетного стержня, внутренние усилия в сжато-изогнутом стержне, потеря устойчивости, численные методы.*

Стержень – самый простой и широко применяемый элемент различных конструкций и сооружений, поэтому проблемам определения его критического состояния и напряженно-деформированного состояния посвящены многочисленные исследования, начиная с оригинальных работ Эйлера [1-14]. Известны работы, посвященные исследованию критического и напряженно-деформированного состояния стержней с неклассическими условиями закрепления в опорах [15], при больших перемещениях [16-18], а также с учетом закритического состояния стержня и пластических свойств материала [19-25]. Подробный обзор методов решения задач о продольно-поперечном изгибе стержня содержится, например, в монографии В.Г.Зубчанинова [26].

В настоящей работе на основе численного решения системы дифференциальных уравнений 4-го порядка впервые предлагается метод для определения критической нагрузки и вычисления внутренних усилий в упругих сжато-изогнутых стержнях, которые имеют более чем один пролет. Принципиальная особенность метода заключается в том, что для получения гладкого решения при наличии скачков в производных функции перемещений в исходной расчетной схеме (вторая производная в сечениях, где приложены сосредоточенные внешние моменты, и третья производная, где приложены внешние поперечные силы) эти внешние идеализированные нагрузки заменяются на малом участке оси стержня статически эквивалентными распределенными силами, а упругие опорные связи - малыми отрезками оси стержня на жестком упругом основании. В результате многопролетный стержень представляется в виде системы пролетов заданной длины и дополнительных участков малой длины, нагруженных эквивалентными силами. Используемый в программе численный метод решения дифференциальных уравнений имеет 8-й порядок точности [27,28], поэтому позволяет получить достаточно точное решение при длине малых дополнительных участков оси стержня, составляющих тысячные доли длины обычных пролетов. Процедура численного решения позволяет оперативно выполнять контроль точности вычисляемых изгибающих моментов и поперечных сил в стержне (сжимающие нагрузки считаются известными), который заключается в следующем. В результате работы программы внутренние силы в любом сечении могут быть вычислены двумя способами: через вторую и третью производные функции перемещения и из условий равновесия ограниченной этим сечением части стержня. Величина расхождения между величинами усилий, вычисленных этими двумя способами, может быть принята за критерий точности расчета.

На рисунке 1 изображена упруго податливая опора стержня с коэффициентом жесткости  $K_0$ . В сечении действуют внешняя сосредоточенная поперечная сила  $F_0$  и изгибающий момент  $M_0$ .

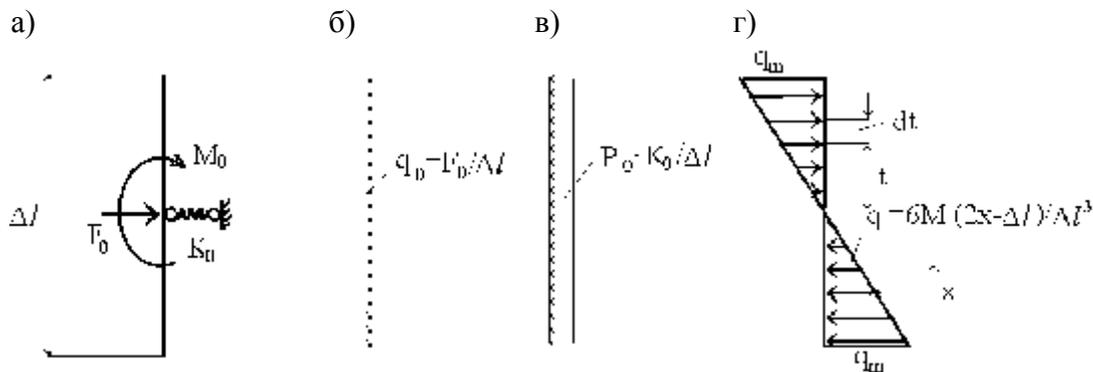


Рисунок 1 – Схема упруго податливой опоры стержня:  
а) расчетная схема; б) 1-ый случай; в) 2-ой случай; г) 3-ий случай замены

Рассмотрим три наиболее важных случая упомянутой выше замены.

1. В случае действия силы  $F_0$  для получения корректного решения на малом отрезке  $Dl$  оси стержня эта сила должна быть заменена статически эквивалентной этой силе распределенной нагрузкой интенсивности  $q_0 = F_0 / Dl$  (рисунок 1, б). В сущности, в расчетную схему стержня добавляется еще один пролет малой длины  $Dl$ , в результате чего между полученными пролетами исчезает разрыв в третьей производной функции перемещений.

2. В сечении имеется сосредоточенная линейная упругая связь, причем

$$R_0 = K_0 w,$$

где  $R_0$  - реакция связи от перемещения  $w$ ,  $K_0$  - коэффициент жесткости сосредоточенной связи. Очевидно, что коэффициент жесткости эквивалентного упругого основания на отрезке длины стержня  $Dl$  будет (рисунок 1, в)

$$p_0 = K_0 / Dl.$$

Как показано в приведенных ниже числовых примерах упругие связи при высоких значениях коэффициента жесткости  $K_0$  вполне могут адекватно имитировать наличие абсолютно жестких опор.

3. В сечении приложен внешний сосредоточенный изгибающий момент  $M_0$ . Для получения эквивалентного значения изгибающего момента от действия распределенной нагрузки  $q_0(x)$  на отрезке длиной  $Dl$  можно принять изменение этой нагрузки по линейному закону (рисунок 1, г).

Должно выполняться равенство

$$M_0 = \int_{-Dl/2}^{Dl/2} q_0(x) t dt.$$

Из рисунка 1 видно, что

$$q_0(t) = 2q_m t / Dl.$$

После интегрирования получим

$$M_0 = q_m Dl^2 / 6.$$

В результате указанной замены закон изменения нагрузки  $q_0(x)$  в пределах отрезка  $Dl$  примет вид

$$q_0(x) = 6M_0(2x - Dl) / Dl^3,$$

и разрыв во второй производной функции перемещений исчезает.

Примем обозначения:  $l_i$  - длина  $i$ -го пролета стержня,  $I_i$  - осевой момент инерции его поперечного сечения,  $E$  - модуль упругости материала,  $q(x)$  - интенсивность поперечной распределенной нагрузки,  $n_0$  - интенсивность продольной распределенной нагрузки,  $p(x)$  - коэффициент жесткости постели упругой среды. В приведенных ниже формулах и числовых примерах величины, относящиеся к пролету (участку) с номером  $i$ , помечаются соответствующим индексом.

**Дифференциальное уравнение.** Запишем уравнение равновесия для сечения стержня с абсциссой  $x$  [26]:

$$EI(x)(w''(x) - w_0''(x)) = -M_x, \tag{1}$$

где  $w_0(x)$  начальная погибь оси стержня,  $-M_x$  — изгибающий момент в сечении с абсциссой  $x$  от внешних сил.

Для его определения рассмотрим условия равновесия малого элемента оси стержня (рисунок 2).

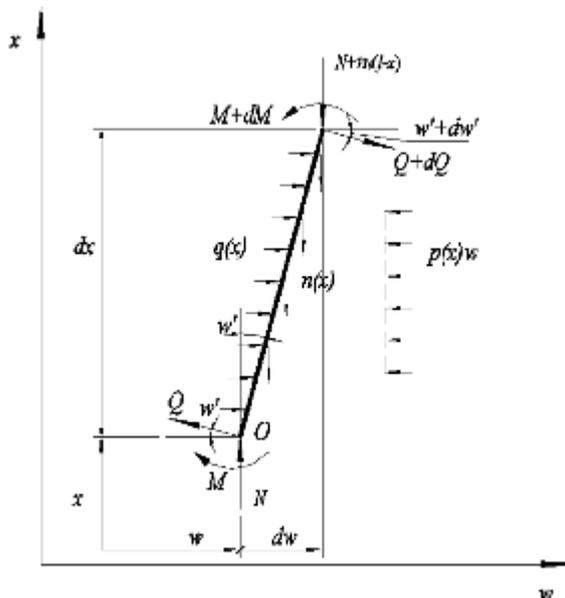


Рисунок 2 – Равновесие элемента оси стержня

Запишем сумму проекций всех действующих на элемент сил на направление, перпендикулярное касательной к оси стержня

$$- Q + (Q + dQ) - [N + n_0(l - x)]dw' + q(x)dx - p(x)wdx = 0,$$

или после упрощения

$$Q' - [N + n_0(l - x)]w'' + q(x) - p(x)w = 0. \quad (2)$$

Из (1) и (2) с учетом равенства  $M' = Q$  получим разрешающее дифференциальное уравнение 4-го порядка

$$[EI(x)(w'''' - w''_0)] + [N + n_0(l - x)]w'' - q(x) + p(x)w = 0. \quad (3)$$

Для совместного решения системы дифференциальных уравнений необходимо, чтобы они имели единую область интегрирования, длину которой обозначим через  $l_0$ . Тогда в пролете (на участке) длиной  $l_i$  будем иметь выражения для производных:

$$d/dx_i = d/dx_0 a_i, \quad d^2/dx_i^2 = d^2/dx_0^2 a_i^2, \quad d^3/dx_i^3 = d^3/dx_0^3 a_i^3,$$

где  $a_i = l_0/l_i$ .

В приведенных ниже конкретных примерах размер этой области принят равным  $l_0 = 100$  единиц измерения длины.

С учетом принятых обозначений для  $i$ -го пролета уравнение (3) записывается в виде

$$EI_i(x)w'''' a_i^4 + N_i w'' a_i^2 - q_i(x) + p_i(x)w = 0.$$

а для  $i$ -го малого участка – в виде

$$EI_i(x)w'''' a_i^4 + N_i w'' a_i^2 - F_{0i}/Dl_i - 6M_{0i}(2x - Dl_i)/Dl_i^3 + K_{0i}w/Dl_i = 0.$$

Обозначим через  $w_{i,b}$  и  $w_{i,e}$  значения функции перемещения начальной (при  $x = 0$ ) и конечной (при  $x = l$ ) точки оси  $i$ -го пролета (участка) соответственно. Производные обозначаются как обычно штрихами. С учетом этих обозначений условия сопряжения  $i$ -го и  $(i+1)$ -го пролетов (участков) могут быть представлены в стандартной форме:

$$\begin{aligned} w_{i,e} - w_{i+1,b} &= 0, \\ w'_{i,e} - w'_{i+1,b} &= 0, \\ EI_i w''_{i,e} - EI_{i+1} w''_{i+1,b} &= 0, \\ EI_i w'''_{i,e} + N_i w'_{i,e} - EI_{i+1} w'''_{i+1,b} &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Для обеспечения корректности решения системы дифференциальных уравнений условия в нижнем или верхнем сечении стержня могут быть приняты или как жесткая заделка ( $w = 0, w' = 0$ ), или как свободный край ( $w' = 0, EIw'' + Nw' = 0$ ). Если край стержня имеет шарнирное опирание, то в этом месте необходимо добавить дополнительный малый участок на жестком упругом основании со свободным краем, поскольку в рассматриваемой задаче краевые условия ( $w = 0, w' = 0$ ) при решении системы дифференциальных уравнений не являются корректными ввиду их специфики.

Единая форма записи системы разрешающих дифференциальных уравнений (3) и условий сопряжения между пролетами (4) позволяет использовать один раз записанный текст исходных данных для разных задач, изменяя только числовые значения параметров.

В качестве тестового примера вычислим критическую силу и исследуем напряженно-деформированное состояние имеющего два одинаковых пролета стального стержня с поперечным сечением в виде трубы (рис. 3), сжатого силой  $N$ . Принимаем исходные параметры:  $l = 400 \text{ см}$  - длина одного пролета стержня;  $d = 20 \text{ см}$ ,  $d_0 = 18 \text{ см}$  - наружный и внутренний диаметры трубы; модуль упругости  $E = 20000 \text{ кН/см}^2$ . Для этого случая осевой момент инерции сечения  $I = 2704 \text{ см}^4$ , жесткость стержня на изгиб  $EI = 54020000 \text{ кНсм}^2$ .

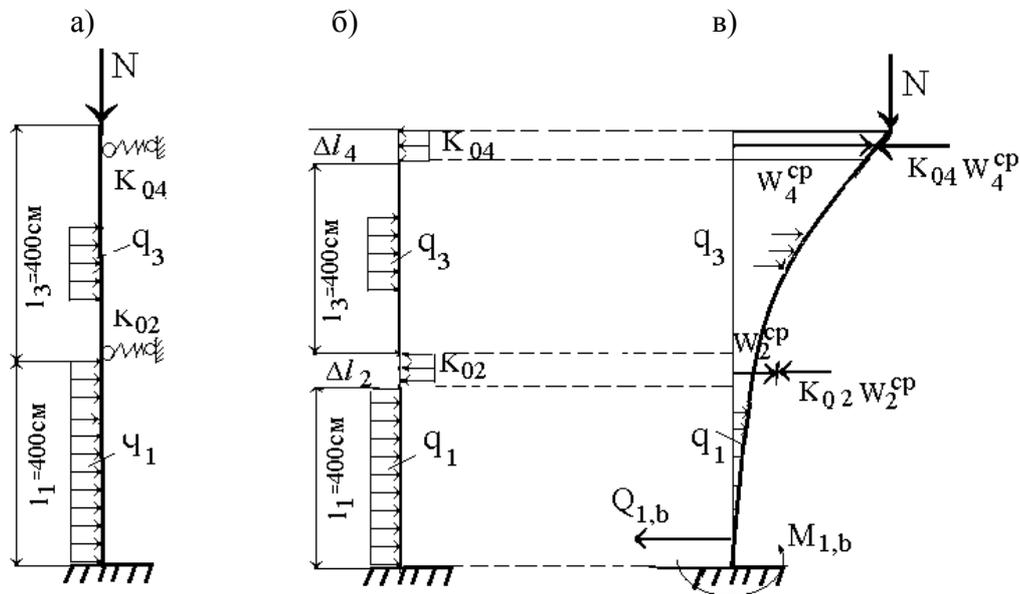


Рисунок 3 – К расчету критической силы и напряженно-деформированного состояния двухпролетного стального стержня: а) заданная система; б) расчетная схема; в) схема при потере устойчивости

Записываем разрешающую систему дифференциальных уравнений последовательно для каждого из четырех участков стержня:

$$EI_1(x)w^{IV}a_1^4 + N_1w''a_1^2 - q_1(x) = 0,$$

$$EI_2(x)w^{IV}a_2^4 + N_2w''a_2^2 - q_2(x) + K_{02}w/Dl_2 = 0,$$

$$EI_3(x)w^{IV}a_3^4 - q_3(x) + N_3w''a_3^2 = 0,$$

$$EI_4(x)w^{IV}a_4^4 + N_4w''a_4^2 - q_4(x) + K_{04}w/Dl_4 = 0.$$

Условия сопряжения между пролетами и дополнительными участками стержня с учетом принятых обозначений могут быть представлены в следующей стандартной форме:

$$\begin{aligned}
 w_{1,e} - w_{2,b} &= 0, \\
 w_{1,e}^{\zeta} - w_{2,b}^{\zeta} &= 0, \\
 EI_1 w_{1,e}^{\zeta\zeta} - EI_2 w_{2,b}^{\zeta\zeta} &= 0, \\
 EI_1 w_{1,e}^{\zeta\zeta} + N_1 w_{1,e}^{\zeta} - EI_2 w_{2,b}^{\zeta\zeta} &= 0; \\
 w_{2,e} - w_{2,b} &= 0, \\
 w_{2,e}^{\zeta} - w_{3,b}^{\zeta} &= 0, \\
 EI_2 w_{2,e}^{\zeta\zeta} - EI_3 w_{3,b}^{\zeta\zeta} &= 0, \\
 EI_2 w_{2,e}^{\zeta\zeta} + N_2 w_{2,e}^{\zeta} - EI_3 w_{3,b}^{\zeta\zeta} &= 0. \\
 w_{3,e} - w_{4,b} &= 0, \\
 w_{3,e}^{\zeta} - w_{4,b}^{\zeta} &= 0, \\
 EI_3 w_{3,e}^{\zeta\zeta} - EI_4 w_{4,b}^{\zeta\zeta} &= 0, \\
 EI_3 w_{3,e}^{\zeta\zeta} + N_3 w_{3,e}^{\zeta} - EI_4 w_{4,b}^{\zeta\zeta} &= 0.
 \end{aligned}$$

Краевые условия в нижнем

$$w_{1,b} = 0, w_{1,b}^{\zeta} = 0,$$

и в верхнем

$$w_{4,e}^{\zeta} = 0, w_{4,e}^{\zeta\zeta} = 0,$$

сечениях стержня.

В этой задаче принимаем:  $EI_1 = EI_2 = EI_3 = EI_4 = 54020000 \text{ кНсм}^2$ ;  $DI_2 = DI_4 = DI$ ;  $a_2 = a_4 = 100/DI$ ;  $K_{02} = K_{04} = K$ ;  $a_1 = a_3 = 0.25$ ;  $N_1 = N_2 = N_3 = N$ . Анализ результатов расчета, получаемых при разных числовых значениях сжимающей силы  $N$ , длины дополнительных участков (пролетов)  $DI$  и коэффициентов жесткости упругих опор  $K$ , позволяет оценить эффективность предлагаемого метода расчета упругих сжато-изогнутых стержней.

Вычислим критическое значение сжимающей силы  $N_{кр}$  для стержня с двумя жесткими опорами, то есть при  $K_{02} = K_{04} = \infty$ . Точное значение этой силы определяем из решения уравнения [4]

$$2n \operatorname{tg}^2 n (\operatorname{tg} n / 2 - n / 2) + (\operatorname{tg} n - n)^2 = 0,$$

откуда получаем  $N_{кр} = (n/l)^2 EI = 4314.739 \text{ кН}$ .

Для оценки жесткости упругих опор удобно использовать коэффициент жесткости консольной балки  $K_0$ , длина которой  $l = 400 \text{ см}$  и жесткость на изгиб  $EI = 54020000 \text{ кНсм}^2$ .

$$K_0 = 3EI/l^3 = 2.532 \text{ кН/см}.$$

Предложенный ранее в наших работах [29,30] метод вычисления критической силы отдельного стержня, основанный на численном решении неоднородного дифференциального уравнения 4-го порядка, характеризуется тем, что вблизи точки критической нагрузки наблюдается известный эффект резкого увеличения перемещений с переменной их знака после прохождения этой точки. Имеются основания заключить, что этот эффект имеет место при определении критической нагрузки также в многопролетных стержнях с упругоподатливыми опорами.

В таблице 1 представлены результаты вычисления критической силы  $N_{кр}$  для стержня (рисунок 3) при различных значениях параметров  $Dl$  и  $K$ . Видно, что погрешность вычисления этой силы  $d$  не превышает 4.5 % при изменении параметров в достаточно широких пределах, что вполне приемлемо для практических расчетов

Таблица 1 –Результаты вычисления критической силы при различных значениях параметров  $Dl$  и  $K$

$\Delta l, \text{ см}$	$K_2=K_4=10^6, \text{ кН/см}$			$K_2=K_4=10^3, \text{ кН/см}$		
	0.01	0.1	1.0	0.01	0.1	1.0
$N_{кр}, \text{ кН}$	4315	4316	4510	4301	4298	4271
$\Delta, \%$	+0.006	+0.032	+4.5	-0.3	-0.4	-1.0

Для оценки точности вычисления внутренних усилий (изгибающего момента и поперечной силы) в стержне при действии внешних сжимающей и поперечной нагрузок вычислим эти величины, например, в нижней заделке (Рис. 3) двумя способами.

1-й способ заключается в использовании известных соотношений между этими усилиями и второй и третьей производными функции перемещения, которые получаются в результате решения системы дифференциальных уравнений. С учетом принятых обозначений можно записать

$$M_{1,b}^{внутр.} = EI_1 w_{1,b}^{ca}{}^2,$$

$$Q_{1,b}^{внутр.} = EI_1 w_{1,b}^{ca}{}^3.$$

2-й способ заключается в использовании условий равновесия внешних заданных сил и реактивных сил со стороны упругих связей, линейно зависящих от вычисленных перемещений. В соответствии с рисунке 3 имеем

$$M_{1,b}^{внешн.} = Nw_4^{cp} - K_{02}w_2^{cp}(l_1 + Dl_2/2) - K_{04}w_4^{cp}(l_1 + Dl_2 + l_3 + Dl_4/2),$$

$$q_1l_1^2/2 + q_2l_2(l_1 + l_2/2) + q_3l_3(l_1 + l_2 + l_3/2) + q_4l_4(l_1 + l_2 + l_3 + l_4/2);$$

$$Q_{1,b}^{внешн.} = q_1l_1 + q_2l_2 + q_3l_3 + q_4l_4 - K_{02}w_2^{cp} - K_{04}w_4^{cp}.$$

В таблице 2 представлены результаты вычисления внутренних усилий в нижней заделке стержня при различных значениях сжимающей силы  $N$ .

Принято:  $q_1 = 0.01 \text{ кН/см}$ ,  $q_2 = q_3 = q_4 = 0.1 \text{ кН/см}$ ;  $K_{02} = K_{04} = 1000 \text{ кН/см}$ ;

$Dl = 0.1 \text{ см}$ ,  $EI = 54020000 \text{ кНсм}^2$ ,  $N_{кр} = 4314.739 \text{ кН}$ .

Таблица 2 – результаты вычисления внутренних усилий в нижней заделке стержня при различных значениях сжимающей силы  $N$

	$N=0.00$	$N=1000 \text{ кН}$	$N=2000 \text{ кН}$	$N=3000 \text{ кН}$
$M^{\text{внеш.}}, \text{ кН см}$	-139.40107021	-183.12025634	-218.66029284	-70.745189263
$M^{\text{внутр.}}, \text{ кН см}$	-139.40107021	-183.12025634	-218.66029253	-70.745189258
$Q^{\text{внеш.}}, \text{ кН}$	0.099375699929	0.24660728247	0.27306119926	-0.73016798358
$Q^{\text{внутр.}}, \text{ кН}$	0.099375699925	0.24660728247	0.27306119926	-0.73016798360

### Выводы

Содержание таблиц 1 и 2 подтверждает высокую точность вычисления предлагаемым методом критической силы и определения внутренних усилий в сжато-изогнутом упругом стержне, имеющем более чем один пролет. Заметим, что погрешность при вычислении изгибающего момента и поперечной силы обусловлена главным образом ограниченными возможностями арифметического устройства компьютера.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Euler. L. Sur la force des colonnes. – Berlin : Mem. de l'Acad., 1757. – P. 251-282.
2. Николаи, С.Л. О работах Эйлера по теории продольного изгиба [Текст] / С.Л. Николаи // Труды по механике. – М.: Гостеориздат, 1953.
3. Бубнов, И.Г. Строительная механика корабля. Ч. 1 [Текст] / И.Г. Бубнов. – СПб., 1912.
4. Тимошенко, С.П. Устойчивость упругих систем [Текст] / С.П. Тимошенко. – М.: ОГИЗ, 1946. – 532 с.
5. Вольмир, А.С. Устойчивость упругих систем [Текст] / А.С. Вольмир. – М.: Физматгиз, 1963. – 880 с.
6. Динник, А.Н. Продольный изгиб [Текст] / А.Н. Динник. – М.: ГОНТИ, 1939. – 238 с.
7. Chajes, A. Principles of Structural Stability Theory [Text] / A. Chajes. – Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1974. – 336 p.
8. Йосс, Ж. Элементарная теория устойчивости и бифуркаций [Текст] / Ж. Йосс, Д. Джозеф. – М.: Мир, 1983. – 300 с.
9. Лейтес, С.Д. Устойчивость сжатых стальных стержней [Текст] / С.Д. Лейтес. – М.: Госстройиздат, 1954. – 312 с.
10. Крылов, А.Н. О формах равновесия вертикально нагруженных элементов [Текст] / А.Н. Крылов. – М.: Изв. АН СССР, 1931.
11. Коллатц, Л. Задачи на собственные значения [Текст] / Л. Коллатц. – М.: Наука, 1968. – 504 с.
12. Алфутов, Н.Г. Основы расчета на устойчивость упругих систем [Текст] / Н.Г. Алфутов. – М.: Машиностроение, 1978. – 312 с.
13. Качо, М. Точная постановка задачи об устойчивости стержневых систем и прямой метод численного решения [Текст] / М. Качо, П.М. Лопес-Рейс, А. Лоренцана // Изв. РАН. Механика твердого тела. – 2014. – № 3. – С. 114-123.
14. Горбачев, В.И. Устойчивость прямого стержня с переменной жесткостью [Текст] / В.И. Горбачев, О.Б. Москаленко // Изв. РАН. Механика твердого тела. – 2011. – № 4. – С.181-192.
15. Дорогов, Ю.Н. Устойчивость стержня с жесткими окончаниями [Текст] / Ю.Н. Дорогов // Строительная механика и расчет сооружений. – 2013. – №3. – С. 16-20.
16. Тарабрин, Г.Т. Петля на упругом стержне // Строительная механика и расчет сооружений. – 2012. – №3. – С.34-39.
17. Покровский, А.А. К задаче о сближении концов гибкого стержня [Текст] / А.А. Покровский // Строительная механика и расчет сооружений. – 2012. – № 4. – С.21-25.
18. Кузнецов, В.В. Эластика эйлера стержня с защемленными концами [Текст] / В.В. Кузнецов, С.В. Левяков // ПМТФ. 2000. – Т.41. – № 3. – С.184-186.
19. Астапов, Н.С. Закритическое поведение стержня [Текст] / Н.С. Астапов // АН СССР. Сиб. Отд. Институт гидродинамики. – 1989.
20. Бондарь, Т.А. Устойчивость вращающегося сжатого стержня [Текст] / Т.А. Бондарь // ПМТФ. – 2000. –Т.41. – № 4. – С.190-197.
21. Астапов, Н.С. Анализ выпучивания гибкого стержня методом Бубнова-Галеркина [Текст] / Н.С. Астапов // ПМТФ. – 2008. – Т.49. – № 1.

22. Акуленко, С.Д. Эффективное решение задачи о продольном изгибе неоднородного стержня [Текст] / С.Д. Акуленко, С.В. Нестеров // Изв. РАН. Механика твердого тела. – 1998. – № 2. – С.191-198.
23. Романов, К.И. Продольно-поперечный изгиб реономных стержней [Текст] / К.И. Романов // Изв. РАН. Механика твердого тела. – 2007. – № 1. – С.160-164.
24. Деревянкин, Л.В. О двух моделях стержня с учетом деформаций сдвига в задачах устойчивости равновесия [Текст] / Л.В. Деревянкин, В.И. Сливкер // Строительная механика и расчет сооружений. – 2009. – №5. – С.65-70.
25. Шацкий, И.П. Распространение ударной волны в упругом стержне с вязкопластическим внешним сопротивлением [Текст] / И.П. Шацкий, В.В. Переличка // ПМТФ. – 2013. – № 6. – С.175-180.
26. Зубчанинов, В.Г. Механика сплошных деформируемых сред [Текст] / В.Г. Зубчанинов. – Тверь: ТГТУ, 2000. – 703 с.
27. Бандурин, Н.Г. Новый численный метод порядка  $n$  для решения интегро-дифференциальных уравнений общего вида [Текст] / Н.Г. Бандурин // Вычислительные технологии. – 2002. – Т.7. – № 2. – С. 3-10.
28. Бандурин, Н.Г. Метод и пакет программ для численного решения систем существенно нелинейных интегро-дифференциально-алгебраических уравнений (корректные по Адамару двумерные и трёхмерные краевые задачи) [Текст] / Н.Г. Бандурин, С.Ю. Калашников // Вычислительные технологии. – 2014. – Т.19. – № 5. – С.3-11.
29. Бандурин, Н.Г. Исследование НДС сжато-изогнутого стержня на основе решения дифференциального уравнения четвертого порядка [Текст] / Н.Г. Бандурин, С.Ю. Калашников, А.В. Михальчук // Вестник ВолгГАСУ. Сер. Стр-во иarchit. – 2014. – Вып. 26. – С.78-85.
30. Бандурин, Н.Г. Численный метод и программа для определения критического состояния упругого стержня переменной жесткости в общем случае закрепления его концов [Текст] / Н.Г. Бандурин, С.Ю. Калашников // Строительство и реконструкция. – 2015. – № 2 (58). – С.4-11.

**Н.Г. Бандурин**

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, г. Волгоград.  
Доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций,  
оснований и надежности сооружений  
E-mail: [bandurin\\_ng@mail.ru](mailto:bandurin_ng@mail.ru)

**С.Ю. Калашников**

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, г. Волгоград  
Доктор технических наук, профессор, ректор  
E-mail: [kalashnikovsu@mail.ru](mailto:kalashnikovsu@mail.ru)

**А.В. Голиков**

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, г. Волгоград  
Кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций,  
оснований и надежности сооружений

**А.А. Чураков**

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, г. Волгоград  
Кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций,  
оснований и надежности сооружений

---

N. BANDURIN, S. KALASHNIKOV, A. GOLIKOV, A. CHURAKOV

**NUMERICAL METHOD AND PROGRAM FOR RESEARCH THE  
STRESS-STRAIN STATE OF MULTI-SPAN ELASTIC COMPRESSED-BENT  
ROD AND DETERMINE CRITICAL LOADS**

*The article describes the method of determining the critical state and the study of stress-strain state of multi-span elastic compressed-bent rod in a direct linear statement, loaded with the distributed and concentrated forces. The method is based on numerical solution of the corresponding system of differential equations the 4th order and is implemented with using of the author's computer program of the 8th order of exact. As a test example, the results of calculating critical loads and the internal forces in two-span rod are shown.*

**Keywords:** stability of multi-span rods, efforts in compressed-bent rod, buckling, numerical methods.

## BIBLIOGRAPHY

1. Euler, L. Sur la force des colonnes. – Berlin : Mem. de l'Acad., 1757. – P. 251-282.
2. Nikolai, S.L. O rabotakh Eylera po teorii prodol'nogo izgiba [Tekst] / S.L. Nikolai // Trudy po mekhanike. – M.: Gosteorizdat, 1953.
3. Bubnov, I.G. Stroitel'naya mekhanika korablya. CH. 1 [Tekst] / I.G. Bubnov. – SPb., 1912.
4. Timoshenko, S.P. Ustoychivost' uprugikh sistem [Tekst] / S.P. Timoshenko. – M.: OGIZ, 1946. – 532 s.
5. Vol'mir, A.S. Ustoychivost' uprugikh sistem [Tekst] / A.S. Vol'mir. – M.: Fizmatgiz, 1963. – 880 s.
6. Dinnik, A.N. Prodol'nyy izgib [Tekst] / A.N. Dinnik. – M.: GONTI, 1939. – 238 s.
7. Chajes, A. Principles of Structural Stability Theory [Text] / A. Chajes. – Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1974. – 336 p.
8. Yoss, ZH. Elementarnaya teoriya ustoychivosti i bifurkatsiy [Tekst] / ZH. Yoss, D. Dzhozef. – M.: Mir, 1983. – 300 s.
9. Leytes, S.D. Ustoychivost' szhatykh stal'nykh sterzhney [Tekst] / S.D. Leytes. – M.: Gosstroyizdat, 1954. – 312 s.
10. Krylov, A.N. O formakh ravnesiya vertikal'no nagruzhennykh elementov [Tekst] / A.N. Krylov. – M.: Izv. AN SSSR, 1931.
11. Kollatts, L. Zadachi na sobstvennyye znacheniya [Tekst] / L. Kollatts. – M.: Nauka, 1968. – 504 s.
12. Alfutov, N.G. Osnovy rascheta na ustoychivost' uprugikh sistem [Tekst] / N.G. Alfutov. – M.: Mashinostroyeniye, 1978. – 312 s.
13. Kacho, M. Tochnaya postanovka zadachi ob ustoychivosti sterzhnevnykh sistem i pryamoy metod chislenno-go resheniya [Tekst] / M. Kacho, P.M. Lopes-Reys, A. Lorentsana // Izv. RAN. Mekhanika tverdogo tela. – 2014. – № 3. – S. 114-123.
14. Gorbachev, V.I. Ustoychivost' pryamogo sterzhnya s peremennoy zhestkost'yu [Tekst] / V.I. Gorbachev, O.B. Moskalenko // Izv. RAN. Mekhanika tverdogo tela. – 2011. – № 4. – S.181-192.
15. Dorogov, YU.N. Ustoychivost' sterzhnya s zhestkimi okonchaniyami [Tekst] / YU.N. Dorogov // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. – 2013. – №3. – S. 16-20.
16. Tarabrin, G.T. Petlya na uprugom sterzhne // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. – 2012. – №3. – S.34-39.
17. Pokrovskiy, A.A. K zadache o sblizhenii kontsov gibkogo sterzhnya [Tekst] / A.A. Pokrovskiy // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. – 2012. – № 4. – S.21-25.
18. Kuznetsov, V.V. Elastika eylerova sterzhnya s zashchemlennymi kotsami [Tekst] / V.V. Kuznetsov, S.V. Levyakov // PMTF. 2000. – T.41. – № 3. – S.184-186.
19. Astapov, N.S. Zakriticheskoye povedeniye sterzhnya [Tekst] / N.S. Astapov // AN SSSR. Sib. Otd. Institut gidrodinamiki. – 1989.
20. Bondar', T.A. Ustoychivost' vrashchayushchegosya szhatogo sterzhnya [Tekst] / T.A. Bondar' // PMTF. – 2000. – T.41. – № 4. – S.190-197.
21. Astapov, N.S. Analiz vypuchivaniya gibkogo sterzhnya metodom Bubnova-Galerkina [Tekst] / N.S. Astapov // PMTF. – 2008. – T.49. – № 1.
22. Akulenko, S.D. Effektivnoye resheniye zadachi o prodol'nom izgibe neodnorodnogo sterzhnya [Tekst] / S.D. Akulenko, S.V. Nesterov // Izv. RAN. Mekhanika tverdogo tela. – 1998. – № 2. – S.191-198.
23. Romanov, K.I. Prodol'no-poperechnyy izgib reonomnykh sterzhney [Tekst] / K.I. Romanov // Izv. RAN. Mekhanika tverdogo tela. – 2007. – № 1. – S.160-164.
24. Derevyankin, L.V. O dvukh modelyakh sterzhnya s uchetom deformatsiy sdviga v zadachakh ustoychivosti ravnesiya [Tekst] / L.V. Derevyankin, V.I. Slivker // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. – 2009. – №5. – S.65-70.
25. Shatskiy, I.P. Rasprostraneniye udarnoy volny v uprugom sterzhne s vyazkoplasticheskim vneshnim soprotivleniyem [Tekst] / I.P. Shatskiy, V.V. Perelichka // PMTF. – 2013. – № 6. – S.175-180.
26. Zubchaninov, V.G. Mekhanika sploshnykh deformiruyemykh sred [Tekst] / V.G. Zubchaninov. – Tver': TGTU, 2000. – 703 s.

27. Bandurin, N.G. Novyy chislennyy metod poryadka n dlya resheniya integro-differentsial'nykh uravneniy obshchego vida [Tekst] / N.G. Bandurin // Vychislitel'nyye tekhnologii. – 2002. – T.7. – № 2. – S. 3-10.
28. Bandurin, N.G. Metod i paket programm dlya chislennogo resheniya sistem sushchestvenno nelineynykh integro-differentsial'no-algebraicheskikh uravneniy (korrektnyye po Adamaru dvumernyye i trokhmernyye kraye-vyye zadachi) [Tekst] / N.G. Bandurin, S.YU. Kalashnikov // Vychislitel'nyye tekhnologii. – 2014. – T.19. – № 5. – S.3-11.
29. Bandurin, N.G. Issledovaniye NDS szhato-izognutogo sterzhnya na osnove resheniya differentsial'nogo uravneniya chetvertogo poryadka [Tekst] / N.G. Bandurin, S.YU. Kalashnikov, A.V. Mikhal'chuk // Vestnik VolgGASU. Ser. Str-vo i arkhitekt. – 2014. – Vyp. 26. – S.78-85.
30. Bandurin, N.G. Chislennyy metod i programma dlya opredeleniya kriticheskogo sostoyaniya uprugogo sterzhnya peremennoy zhestkosti v obshchem sluchaye zakrepleniya yego kontsov [Tekst] / N.G. Bandurin, S.YU. Kalashnikov // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. – 2015. – № 2 (58). – S.4-11.

**N. Bandurin**

Volgograd state university of building and architecture, Volgograd.

Doctor of technical sciences, professor of the structural constructions, foundations and safety of structures department.

E-mail: [bandurin\\_ng@mail.ru](mailto:bandurin_ng@mail.ru)

**S. Kalashnikov**

Volgograd state university of building and architecture, Volgograd.

Doctor of technical sciences, professor, rector

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

**A. Golikov**

Volgograd state university of building and architecture, Volgograd.

Candidate of technical sciences, associated professor of the structural constructions, foundations and safety of structures department.

**A. Churakov**

Volgograd state university of building and architecture, Volgograd.

Candidate of technical sciences, associated professor of the structural constructions, foundations and safety of structures department.

УДК 624.151.5

КАЛАФАТОВ Д.А.

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МОДЕЛЕЙ КОНСТРУКЦИЙ ДВУХСЛОЙНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

*Представлена методика экспериментального определения фактических значений разрушающей нагрузки, контролируемых параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) позволяющая выявить закономерности деформирования, перераспределения напряжений моделей конструкций двухслойных железобетонных плитных фундаментов и грунтового основания. Описаны основные характеристики экспериментальных моделей двухслойных железобетонных плитных фундаментов, экспериментальной установки, силового и измерительного оборудования. Показаны схемы размещения регистрирующей аппаратуры.*

**Ключевые слова:** плитный фундамент, испытание, деформации, нагрузка, грунт.

### Постановка проблемы

Снижение стоимости строительства при одновременном обеспечении надежности, оптимизации материалоемкости подземных конструкций и времени на их возведение имеют большое значение для повышения эффективности использования капитальных вложений, экономии материально-технических средств и повышения качества строительства. Решение этих задач и дальнейшее совершенствование технического прогресса в фундаментостроении в значительной мере обеспечиваются развитием исследований напряженно-деформированного состояния фундаментов как элемента системы «основание – фундамент», разработкой новых конструкций фундаментов и совершенствованием методов их расчета.

Широкие возможности для создания новых оптимальных конструкций фундаментов открываются в связи с использованием двухслойных конструкций, в которых наряду с высокопрочными тяжелыми бетонами применяются менее прочные бетоны, причем слой высокопрочного бетона обеспечивает высокую несущую способность, а слой менее прочного, увеличивая плечо внутренней пары сил, надежно защищает рабочую арматуру от коррозии [1, 2, 3].

### Анализ достижений и публикаций

Экспериментальными и теоретическими исследованиями фундаментных плит на натуральных объектах строительства занимались, в основном, Лазебник Г.Е. и др. [4], Криворотов А.П. [5], Тепляков А.А. [6], Политов С.И. [7] и др. На моделях Б.Г. Коренева и М.Н. Ручимский [8], Мурзенко Ю.Н. и Цесарский А.А. [9], Залесов А.С., Тетиор А.Н., Родин С.В., Лехно А.М. [10] и др. Исследования, проведенные этими учеными, позволили накопить значительный опыт для анализа деформирования и разрушения плитных фундаментов. Конструкция двухслойных железобетонных плитных фундаментов каркасных зданий была впервые предложена Тетиором А.Н. и упомянута в работе [11]. Значимый вклад в области исследования напряженно-деформированного состояния конструкций двухслойных отдельно стоящих фундаментов внесли [12,13].

Анализируя теоретические и экспериментальные исследования видно, что использование двухслойного бетона в плитных фундаментах, не нашло пока своего практического применения, что объясняется наличием малоизученных специфических особенностей их работы под нагрузкой.

### Исследовательская часть

Учитывая сложность решения таких задач, необходимо опираться на физические представления о сопротивлении железобетонных конструкций фундаментов на грунтовом основании, основанные на экспериментальных данных. С этой целью для исследования характера разрушения была разработана методика экспериментального определения фактических значений разрушающей нагрузки, контролируемых параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) моделей конструкций двухслойных железобетонных плитных фундаментов и грунтового основания. Анализируя НДС моделей конструкций двухслойных железобетонных плитных фундаментов и грунтового основания следует особое внимание уделить характеру разрушения и изучению перераспределения напряжений грунтового основания.

### Обоснование полученных результатов

С целью экспериментального изучения параметров НДС конструкций двухслойных железобетонных плитных фундаментов, формы пирамиды продавливания, влияния наличия в конструкции контактного шва, а также характера силового взаимодействия элементов системы «грунтовое основание – фундамент» было изготовлено 2 серии моделей плитных фундаментов.

К первой серии ФПс1-N относятся две модели железобетонных плитных фундаментов под четыре колонны (рис. 1). Модели были выполнены в виде прямоугольной в плане плиты с размерами 1,4 м × 1,0 м высотой 0,06 м. Первая модель серии ФПс1-1 выполнена однослойной конструкции из бетона класса В15. Вторая модель ФПс1-2 выполнена двухслойной конструкции: зона 1 – из бетона класса В15, зона 2 – из бетона класса В25. Форма зоны 2 – прямоугольная с размерами в плане 0,27 м × 0,27 м (вылет  $l_{m1} = 1,5h_0$ ), высотой – 0,023 м.

Для второй серии экспериментов ФПс2-N было подготовлено 9 моделей двухслойных плитных фундаментов, представляющих собой фрагмент (¼ часть) модели серии ФПс1-N, т.е. фундамент под одну колонну. Модели высотой 0,15 м имели прямоугольную форму в плане с размерами 0,7 м × 0,7 м. Привязка колонны (сечением 0,1 м × 0,1 м) к грани плитной части составляла 0,2 м. Зона 1 моделей была выполнена из бетона класса В15. Высота зоны 2 принята 0,06 м.

Сочетания варьируемых характеристик принято по комбинационному квадрату [14]. Также в данной серии было предусмотрено две модели однослойных плитных фундаментов ФПс2-10 и ФПс2-11, имеющих геометрические характеристики моделей ФПс2-N, выполненные из бетона класса В15.

Экспериментальные исследования НДС моделей конструкций двухслойных железобетонных плитных фундаментов проводили в лаборатории кафедры «Строительных конструкций» Академии строительства и архитектуры ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» (г. Симферополь).

Экспериментальная установка (рис.1) состояла из стального прямоугольного лотка жесткой конструкции и силовой рамы. Размеры лотка 3,0 м × 1,9 м × 1,3 м. Грунтом основания для испытываемых моделей конструкций плитных фундаментов служил мелкий речной кварцевый песок средней плотности, малой степени влажности. Высота грунтового массива – 1,1 м.

Установке модели конструкции плитного фундамента в экспериментальное положение предшествовала разметка на выровненном основании границ размещения модели и установка электротензометрических месдоз. Они использовались для определения нормальных контактных напряжений под подошвой.

На подготовленное грунтовое основание – поз. 2 устанавливали в проектное положение модель плитного фундамента – поз. 1. Для испытаний моделей серии ФПс2-N на колонну модели укладывали стальную пластину – поз. 6, на которую устанавливался гидравличе-

ский домкрат 3. Для набора необходимой высоты до упорной балки – поз. 5 (рис.2) на домкрат устанавливались железобетонные цилиндры 4 (диаметром 130 мм). Для исключения смятия торцевых граней железобетонных цилиндров были установлены стальные пластины – поз. 7 и 8.

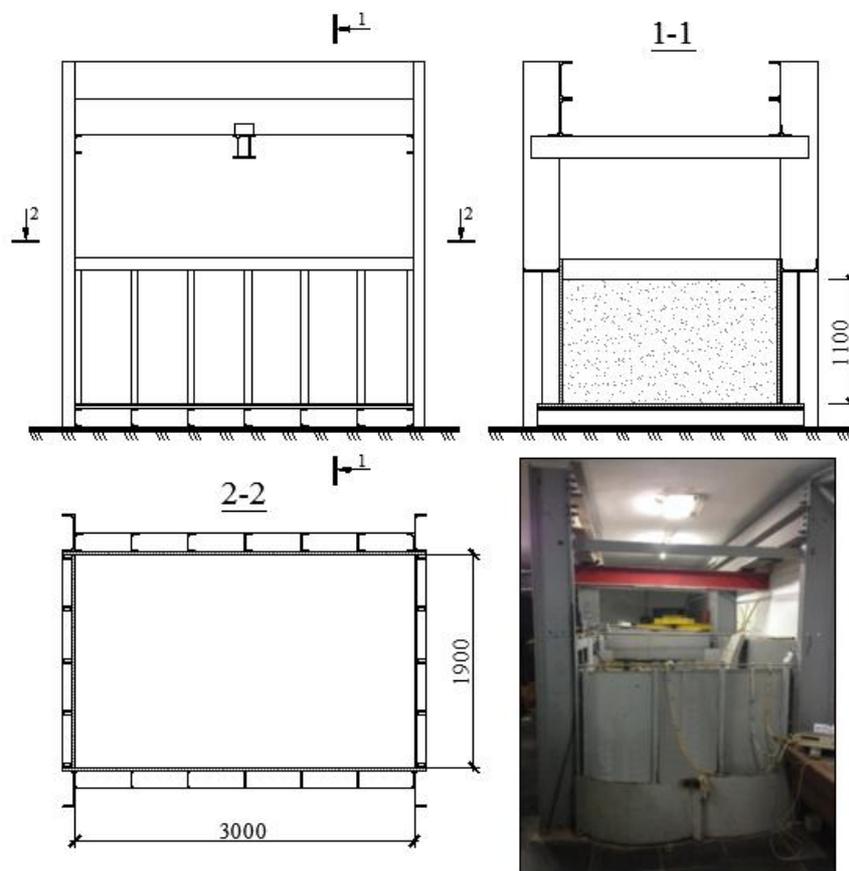


Рисунок 1 – Экспериментальная установка (схема и фото)

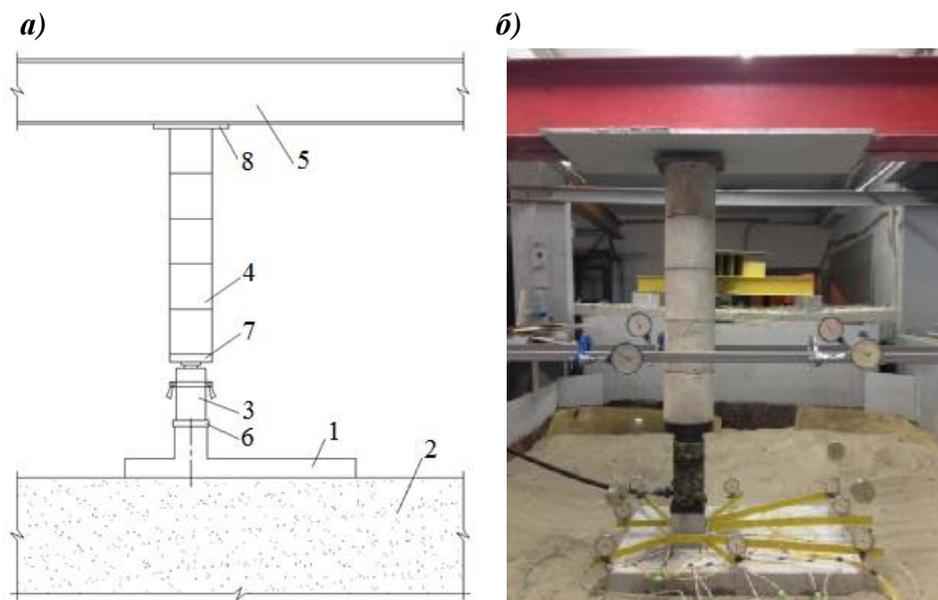
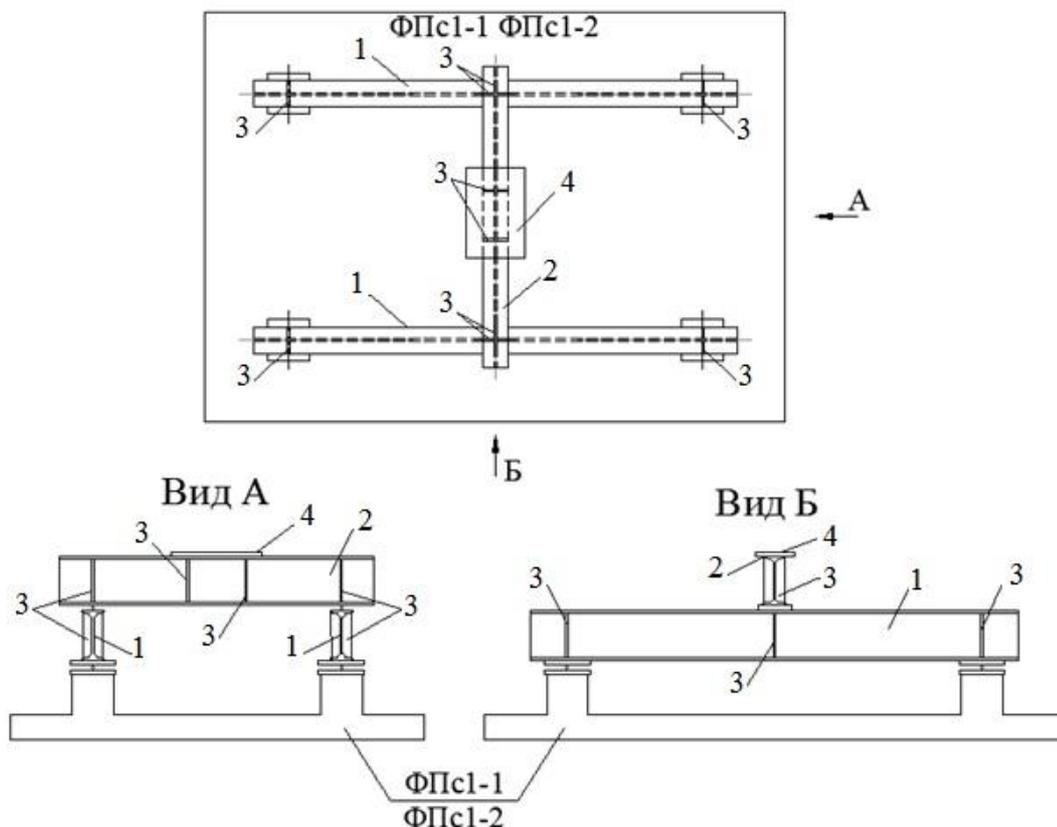


Рисунок 2 – Модель плитного фундамента серии ФПС2-N в испытательной установке:  
а) схема; б) фото

Для загрузки моделей под 4 колонны серии ФПс1-N дополнительно была изготовлена пространственная распределительная рама (рис. 3), состоящая из балок – поз. 1, поз. 2, выполненные из прокатных двутавров №12. Для усиления балки в зонах передачи нагрузки были предусмотрены вертикальные ребра – поз. 3, обеспечивающие местную устойчивость стенки балки. К балке поз. 2 была приварена распределительная пластина – поз. 4, на которую устанавливался гидравлический домкрат.



**Рисунок 3 – Распределительная рама для загрузки моделей серии ФПс1-N (схема):**  
 1, 2 – балки из прокатных двутавров №12; 3 – вертикальные ребра; 4 – распределительная пластина

Следующий этап подготовки заключался в проверке работы регистрирующей аппаратуры, после чего фиксировали нулевые отсчеты всех применяемых измерительных приборов (рисунок 4).

Статическую нагрузку создавали облегченными гидравлическими домкратами грузоподъемностью 50 кН и 100 кН (выбиралась в зависимости от расчетной несущей способности модели конструкции фундамента), обладающие плавностью хода и свойством самоторможения. Нагружение испытываемой модели конструкции фундамента производили равными ступенями, каждая из которых составляла не более 10% от расчетной нагрузки, вплоть до разрушения. После приложения каждой ступени нагрузки конструкцию выдерживали под нагрузкой не менее 10 мин.

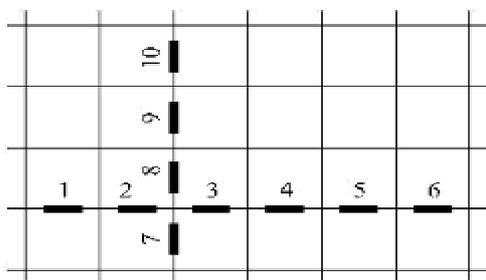
В процессе экспериментальных исследований с помощью измерительных приборов на каждой ступени нагружения фиксировали следующие параметры:

- деформации в арматурной сетке;
- деформации по верхнему основанию модели;
- прогиб конструкции;
- осадку конструкции;

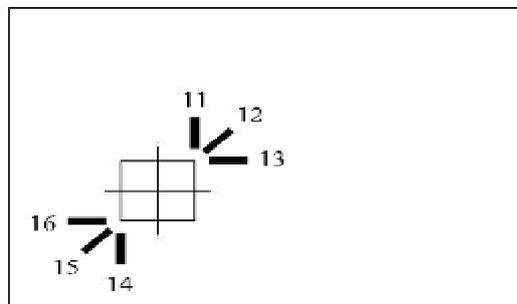
- нормальные контактные напряжения в грунтовом основании под подошвой модели конструкции плитного фундамента.

Деформации стержней арматурной сетки определяли с помощью петлевых проволочных тензорезисторов на бумажной основе с длиной базы 20 мм, номинальным сопротивлением 200 Ом, деформации бетона в сжатой зоне, примыкающей к подколоннику – с длиной базы 50 мм, номинальным сопротивлением 400 Ом.

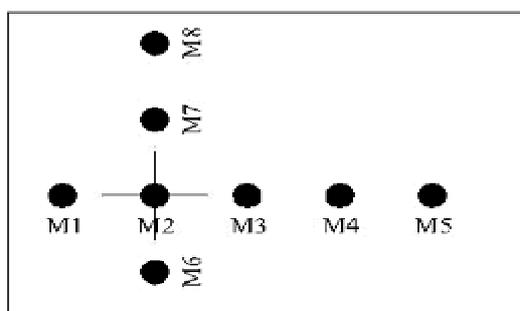
а)



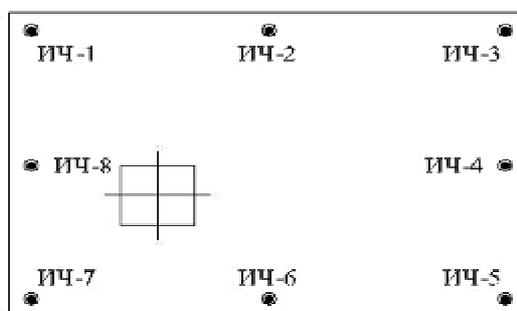
б)



в)



г)



д)

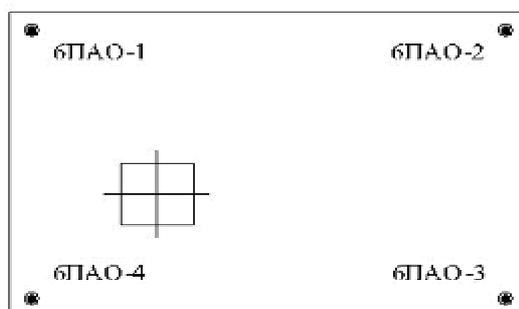


Рисунок 4 – Схемы размещения регистрирующей аппаратуры на моделях серии ФПс2-N:  
 а – тензорезисторов на арматурной сетке; б – тензорезисторов на верхнем основании;  
 в – месдоз; г – прогибомеров ИЧ; д – прогибомеров 6ПАО

Для регистрации показаний месдоз и тензорезисторов использовали измеритель деформаций цифрового типа ИДЦ-1. Прогибы конечных участков моделей фундаментов измеряли с помощью восьми индикаторов часового типа с ценой делений 0,01 мм. Величину осадок регистрировали по показаниям четырех прогибомеров марки 6ПАО, установленных независимо от испытываемой конструкции на отдельно размещенной горизонтальной раме.

В момент, когда при подаче масла в гидравлическую систему, стрелка образцового манометра останавливалась, но осадка модели конструкции фундамента продолжалась, наступало некоторое условное равновесие системы «грунтовое основание-фундамент», про-

должающееся в течение нескольких минут, после чего начинался процесс разрушения основания или конструкции фундамента, сопровождающийся падением уровня нагрузки и резким ростом осадки модели. Регистрация предельных значений всех измеряемых величин производилась в момент условного равновесия системы «грунтовое основание-фундамент».

После наступления предельного равновесия испытываемой конструкции, фиксировали схему трещинообразования и измеряли ширину раскрытия трещин с помощью электронного штангенциркуля, набора щупов и микроскопа МПБ-2 с ценой деления шкалы 0,05 мм.

### Выводы

Представленная методика экспериментального определения фактических значений разрушающей нагрузки, контролируемых параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) моделей конструкций двухслойных железобетонных плитных фундаментов и грунтового основания позволяет выявить закономерности деформирования, трещинообразования и разрушения рассматриваемой системы «фундамент-грунтовое основание».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 857360 СССР, М.Кл.3 Е 02 D 27/42 . Фундамент под колонну / С.В. Родин, А.Н. Тетиор, В.И. Редькин (СССР). - № 2849580/29-33; заявл. 10.12.79; опубл. 23.08.81, Бюл. №31.
2. Тетиор, А.Н. Прочность фундаментов: уч. пособие [Текст] / А.Н. Тетиор. - К.: ИСДО, 1993. - 144 с
3. Перминова, Е.Г. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния отдельно стоящих двухслойных фундаментов [Текст] / Е.Г. Перминова // Ресурсоэкономные материалы, конструкции, здания и сооружения. — Ровно: НУВГП, 2011. — Вып. 22. — С. 692—699.
4. Лазебник, Г.Е. Определение напряжений и деформаций под фундаментами в основаниях из различных грунтов [Текст] / Г.Е. Лазебник, А.А. Смирнов // Исследования по основаниям, фундаментам и механике грунтов. Сб. тр. — К.: Издательство Будивельник, 1969. — С. 100-111.
5. Криворотов, А.П. О распределении касательных напряжений в зоне формирования грунтового ядра [Текст] / А.П. Криворотов // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 1975. — №1. — С.28-31.
6. Тепляков, А.А. Экспериментальные исследования взаимодействия фундамента и песчаного основания [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Тепляков А.А. — М., 1972. — 140 с
7. Политов, С.И. Работа железобетонных плит на грунтовом основании [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02/ Политов Сергей Иванович. — Новочеркасск, 1983. — 178 с.
8. Корнев, Б.Г. Экспериментальное исследование работы моделей плит на упругом основании [Текст] / Б.Г. Корнев, М.Н. Ручимский // Вопросы расчета плит на упругом основании. Сб. тр. — М.: Госстройиздат. — 1958. — С. 5-40.
9. Мурзенко, Ю.Н. Анализ напряженно-деформированного состояния железобетонной фундаментной плиты и ее совместной работы с песчаным основанием. [Текст] / Ю.Н. Мурзенко, А.А. Цесарский // Исследования напряженно-деформированного состояния оснований и фундаментов. Тр. НПИ. — Новочеркасск, изд. НПИ, 1971. - С. 35-41.
10. Залесов, А.С. Прочность плитных фундаментов по наклонным сечениям [Текст] / А.С. Залесов, А.Н. Тетиор, С.В. Родин, А.М. Лехно // Бетон и железобетон. - 1987. - № 11. - С. 45-46.
11. Тетиор, А.Н. Проектирование и сооружение экономичных конструкций фундаментов [Текст] / А.Н. Тетиор. — К.: Будівельник, 1975. — 204 с.
12. Родин, С.В. Особенности силового взаимодействия железобетонных столбчатых фундаментов с песчаным основанием [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02/ Родин Станислав Владимирович. — Днепропетровск, 1983. — 212 с.
13. Перминова, Е.Г. Напряженное состояние конструкций двухслойных отдельно стоящих фундаментов [Текст] / Е.Г. Перминова // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. — Симферополь : НАПКС, 2011. — Вып. 39. — С. 60—66.
14. Калафатов, Д.А. Планирование экспериментальных исследований работы двухслойных железобетонных плитных фундаментов [Текст] / Д.А. Калафатов // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. — Симферополь : НАПКС, 2014. — Вып. 50. — С. 60—66.

### Д.А. Калафатов

ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», г. Симферополь  
аспирант кафедры строительных конструкций  
E-mail: [jafer90@mail.ru](mailto:jafer90@mail.ru)

D. KALAFATOV

## METHODS OF EXPERIMENTAL STUDIES BILAYER STRUCTURE MODEL CONCRETE SLAB FOUNDATION

*The technique of the experimental determination of the actual values of the breaking load, controlled parameters of the stress-strain state (SSS) allows to reveal deformation patterns, stress redistribution designs models of two-layer reinforced concrete slab foundation and subgrade. The basic characteristics of the experimental model of two-layer reinforced concrete slab foundation, the experimental setup, power and instrumentation. Showing scheme placement of the recording equipment.*

**Keywords:** slab foundation, test, deformation, load, ground.

### BIBLIOGRAPHY

1. A.s. 857360 SSSR, M.Kl.3 Ye 02 D 27/42 . Fundament pod kolonnu / S.V. Rodin, A.N. Tetior, V.I. Red'kin (SSSR). - № 2849580/29-33; zayavl. 10.12.79; opubl. 23.08.81, Byul. №31.
2. Tetior, A.N. Prochnost' fundamentov: uch. posobiye [Tekst] / A.N. Tetior. - K.: ISDO, 1993. - 144 s
3. Perminova, Ye.G. Eksperimental'nyye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya ot-del'no stoyashchikh dvukhsloynnykh fundamentov [Tekst] / Ye.G. Perminova // Resursoekonomnyye materialy, kon-struktsii, zdaniya i sooruzheniya. — Rovno: NUVGP, 2011. — Vyp. 22. — S. 692—699.
4. Lazebnik, G.Ye. Opredeleniye napryazheniy i deformatsiy pod fundamentami v osnovaniyakh iz razlichnykh gruntov [Tekst] / G.Ye. Lazebnik, A.A. Smirnov // Issledovaniya po osnovaniyam, fundamentam i mekhanike gruntov. Sb. tr. — K.: Izdatel'stvo Budivel'nik, 1969. — S. 100-111.
5. Krivorotov, A.P. O raspredelenii kasatel'nykh napryazheniy v zone formirovaniya gruntovogo yadra [Tekst] / A.P. Krivorotov // Osnovaniya, fundamente i mekhanika gruntov. — 1975. — №1. — S.28-31.
6. Teplyakov, A.A. Eksperimental'nyye issledovaniya vzaimodeystviya fundamenta i peschanogo osnova-niya [Tekst]: dis. ... kand. tekhn. nauk / Teplyakov A.A. — M., 1972. — 140 s
7. Politov, S.I. Rabota zhelezobetonnykh plit na gruntovom osnovanii [Tekst]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.02/ Politov Sergey Ivanovich. — Novocherkassk, 1983. — 178 s.
8. Korenev, B.G. Eksperimental'noye issledovaniye raboty modeley plit na uprugom osnovanii [Tekst] / B.G. Korenev, M.N. Ruchimskiy // Voprosy rascheta plit na uprugom osnovanii. Sb. tr. — M.: Gosstroyizdat. — 1958. — S. 5-40.
9. Murzenko, YU.N. Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zhelezobetonnoy fundamentnoy plity i yeye sovmestnoy raboty s peschanyim osnovaniyem. [Tekst] / YU.N. Murzenko, A.A. Tsesarskiy // Issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya osnovaniy i fundamentov. Tr. NPI. — Novocherkassk, izd. NPI, 1971. - S. 35-41.
10. Zalesov, A.S. Prochnost' plitnykh fundamentov po naklonnym secheniyam [Tekst] / A.S. Zalesov, A.N. Tetior, S.V. Rodin, A.M. Lekhno // Beton i zhelezobeton. - 1987. - № 11. - S. 45-46.
11. Tetior, A.N. Proyektirovaniye i sooruzheniye ekonomichnykh konstruktsiy fundamentov [Tekst] / A.N. Tetior. — K.: Budivel'nik, 1975. — 204 s.
12. Rodin, S.V. Osobennosti silovogo vzaimodeystviya zhelezobetonnykh stolbchatykh fundamentov s peschanyim osnovaniyem [Tekst]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.02/ Rodin Stanislav Vladimirovich. — Dnepropetrovsk, 1983. — 212 s.
13. Perminova, Ye.G. Napryazhennoye sostoyaniye konstruktsiy dvukhsloynnykh otdel'no stoyashchikh fundamentov [Tekst] / Ye.G. Perminova // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. Sb. nauch. trudov. — Simferopol' : NAPKS, 2011. — Vyp. 39. — S. 60—66.
14. Kalafatov, D.A. Planirovaniye eksperimental'nykh issledovaniy raboty dvukhsloynnykh zhelezobetonnykh plitnykh fundamentov [Tekst] / D.A. Kalafatov // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. Sb. nauch. trudov. — Simferopol' : NAPKS, 2014. — Vyp. 50. — S. 60—66.

#### D. Kalafatov

V.I.Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol  
Postgraduate student of the department of building structures  
E-mail: [jafer90@mail.ru](mailto:jafer90@mail.ru)

УДК 624.012.045

ПОКУСАЕВ А.А., ШАВЫКИНА М.В., КОЛЧУНОВ Вл.И.

## ВТОРАЯ СТАДИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ КРУЧЕНИИ С ИЗГИБОМ (СЛУЧАЙ 2)

*Рассмотрен способ расчета сопротивления железобетонных конструкций при совместном действии изгибающего момента, крутящего момента и поперечной силы для второй стадии напряженно-деформированного состояния (случай 2 – при появлении пространственных трещин первого типа на боковой грани конструкции).*

*Сформулированы рабочие предпосылки, положенные в основу предлагаемой методики расчета. Записаны разрешающие уравнения из которых отыскиваются следующие расчетные параметры: предельная опорная реакция; высота сжатой зоны в поперечном сечении, проходящем через вершину пространственной трещины; напряжения в продольной арматуре в месте пересечения её пространственной трещиной; высота сжатой зоны бетона в вертикальной плоскости, проходящей через конец фронта пространственной трещины; погонное усилие в поперечной арматуре, расположенной у боковых граней пространственного сечения, вызываемое поперечной силой; погонное усилие в поперечной арматуре, расположенной у боковых граней пространственного сечения, вызываемое крутящим моментом; погонное усилие в поперечной арматуре, расположенной у нижней грани пространственного сечения, вызываемое крутящим моментом.*

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, кручение с изгибом, сопротивление, напряженно-деформированное состояние, пространственная трещина, внутренние усилия, сечение, предпосылки расчета.

Сопротивление железобетонных конструкций по пространственным сечениям рассматривается как сложное в том случае, если на конструкцию помимо изгибающих моментов, поперечных сил, действуют крутящие моменты. При действии крутящих моментов в железобетонной конструкции образуется спиральная трещина, которая в пределах трех граней элемента вместе с замыкающей ее сжатой зоной по четвертой грани образует пространственное сечение.

Действующие нормы [1, 2] не учитывают влияния сложного напряжённого состояния на величину напряжений в сжатом бетоне, при определении проекции опасной пространственной трещины не используется условие минимума функции многих переменных и т.п., что безусловно оказывает влияние на точность расчета.

Ниже приводится способ расчета, лишенный отмеченных недостатков.

В основу предлагаемого расчета, положены следующие **предпосылки**:

– образование пространственной трещины на нижней грани железобетонного элемента происходит перпендикулярно к направлению главных деформаций удлинения бетона, а расположение конца фронта пространственной трещины у сжатой грани железобетонного элемента совпадает с направлением главных деформаций укорочения бетона – таким образом, пространственная трещина имеет спиралеобразную форму с тремя возможными схемами расположения сжатой зоны – рис. 1;

– в качестве расчетной принимается схема, состоящая из приопорного блока (образуемого пространственной трещиной и вертикальным сечением, проходящим через конец

фронта этой трещины в сжатом бетоне) и второго блока, образуемого вертикальным сечением, проходящим перпендикулярно продольной оси железобетонного элемента по краю пространственной трещины – рис. 2;

– в качестве расчетных усилий в пространственном сечении учитываются: нормальные и касательные усилия в бетоне сжатой зоны; составляющие осевых усилий в арматуре, расположенной у грани, противоположной той, у которой находится сжатая зона; составляющие осевых усилий в поперечной арматуре, расположенной у боковых граней железобетонного элемента;

– для средних фибровых деформаций сжатого бетона и растянутой арматуры в сечении  $I-I$  считается справедливой гипотеза их пропорциональности высотам сжатой и растянутой зон сечения;

– связь между интенсивностью деформаций  $\varepsilon_i$  и интенсивностью напряжений  $\sigma_i$  бетона принимается в виде диаграммы, приведенной на рис. 3 (для практических расчетов криволинейная эпюра сжимающих напряжений заменяется на прямоугольную над пространственной трещиной в сечении  $k$  – см. рис. 4, а в сечении  $I-I$  на участке  $x_b$  – прямоугольной, на участке  $x-x_b$  – треугольной).

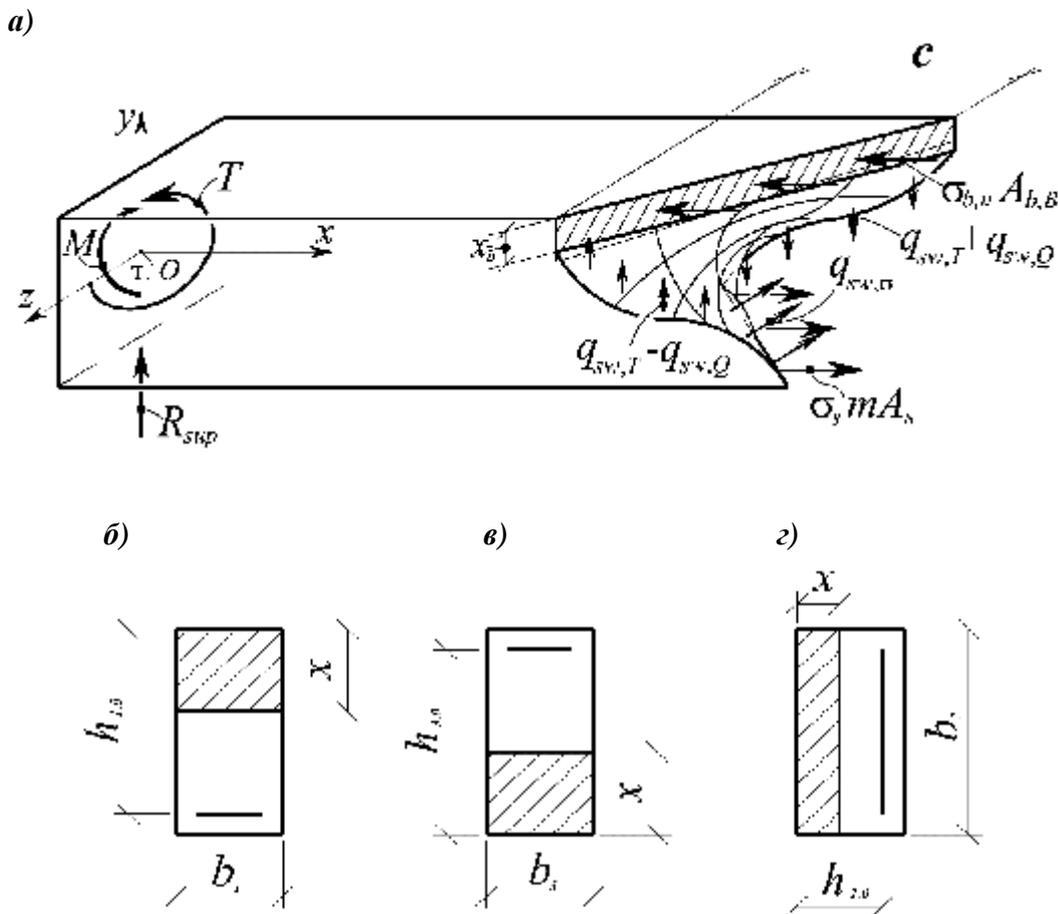


Рисунок 1 – Усилия в пространственном сечении (а) и схемы (I,II,III) расположения сжатой зоны (б-г) в железобетонном элементе при изгибе с кручением

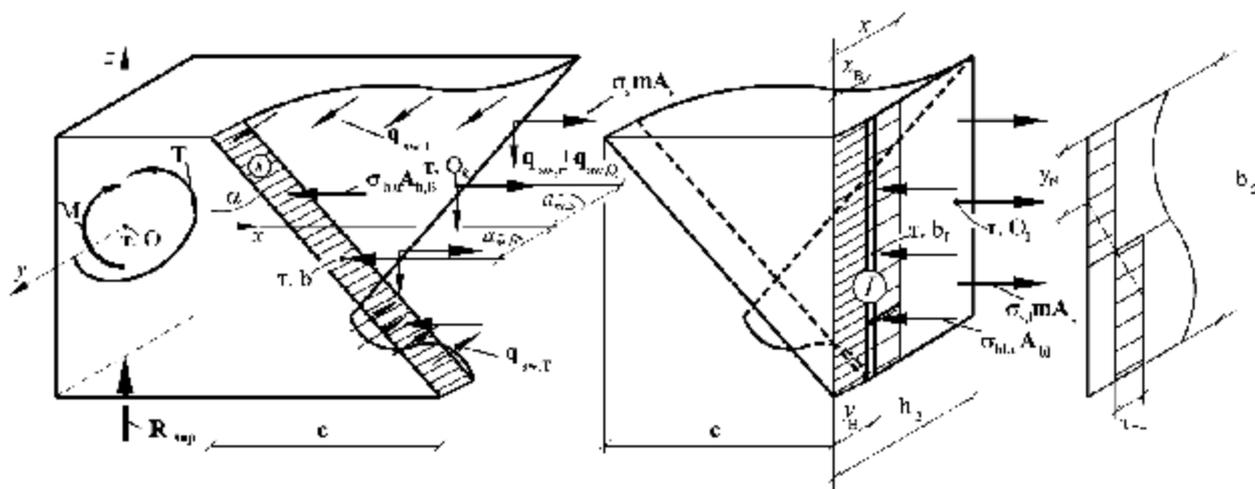


Рисунок 2 – Расчетная схема сопротивления железобетонной конструкции при совместном действии изгибающего момента, крутящего момента и поперечной силы (случай 2):

⊗ – сжатая зона пространственного сечения; ⊙ – сжатая зона сечения I-I

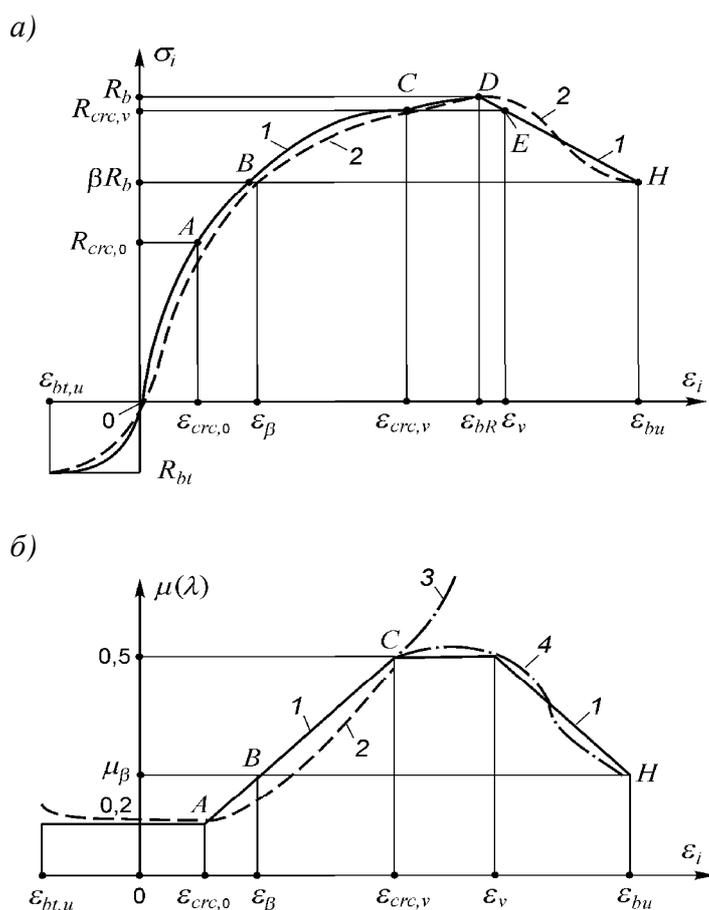
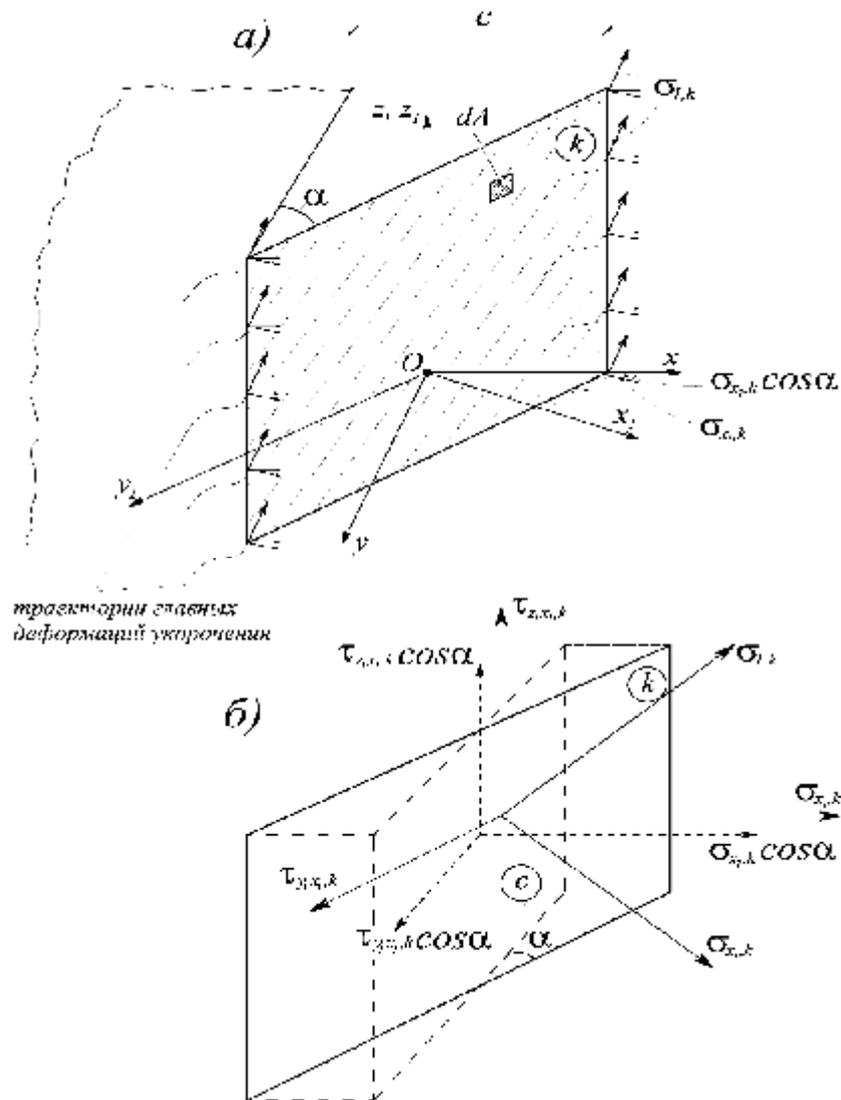


Рисунок 3 – Диаграммы связи «Напряжения – деформации» (а) и «Коэффициент поперечных деформаций» (б) для бетона:

1 – расчетные; 2 – построенные по опытным данным; 3 – то же с учетом магистральных трещин между столбами; 4 – то же с замером деформаций лишь в пределах столбов



**Рисунок 4 – Напряжения в вертикальном сечении  $k$ , проходящем через конец фронта пространственной трещины:**

***a* – схема сечения; *б* – составляющие напряжений на элементарной площадке сечения  $k$  приложенных к блоку со стороны опоры, и внутренних усилий, возникающих в месте проведения сечения**

При решении прямой инженерной задачи между внешними воздействиями всегда задано их соотношение ( $Q:M:T$ ). Таким образом, определив одно из них, например, опорную реакцию  $R_{sup}$ , легко отыскиваются остальные воздействия, например,  $M$  и  $T$ . Здесь не следует упускать из виду то, что если какое-то из внешних воздействий явно превосходит остальные, то именно оно должно приниматься в качестве неизвестного. В противном случае может оказаться, что из заданного соотношения это усилие будет больше чем предельно допустимое для обеспечения равновесия с внутренними усилиями. Отмеченное становится особенно актуальным при переходе от первой схемы разрушения ко второй – для второй схемы вместо  $R_{sup}$  в качестве неизвестного следует принимать  $T_u$ .

Из условий равновесия в сечении  $I-I$  и в пространственном сечении отыскиваются следующие расчетные параметры (рис. 2): предельная опорная реакция  $R_{sup}$ ; высота сжатой зоны  $x$  в сечении  $I-I$ ; напряжения в продольной арматуре  $\sigma_s$  в месте пересечения её пространственной трещиной; высота сжатой зоны бетона  $x_b$  в вертикальной плоскости, проходящей через конец фронта пространственной трещины; погонное усилие в поперечной арматуре, расположенной у боковых граней пространственного сечения  $q_{sw,Q}$ , вызываемое поперечной

силой; погонное усилие в поперечной арматуре, расположенной у боковых граней пространственного сечения  $q_{sw,T}$ , вызываемое крутящим моментом; погонное усилие в поперечной арматуре, расположенной у нижней грани пространственного сечения  $q_{sw,\sigma}$ , вызываемое крутящим моментом.

Касательное напряжение  $t_Q$  и касательное напряжение кручения в сжатом бетоне  $t_T$ , определяются путем проецирования диаграммы  $\sigma_i - \varepsilon_i$  на плоскость  $t - g$  (с учетом распределения пропорционально отношению  $Q:T$ ) и на плоскость  $I-I$  и проецированием составляющих напряжений плоскости  $k$  на плоскость перпендикулярную продольной оси железобетонного элемента.

Для построения расчётных уравнений отделим от железобетонного элемента с помощью метода сечений два блока (рис. 2). Первый блок отделяем поперечным сечением  $I-I$ , проходящим в конце пространственной трещины. Этот блок находится в равновесии под действием внешних усилий.

**Вторая схема** реализуется при сопротивлении железобетонных элементов, подверженных совместному воздействию крутящих моментов и поперечных сил.

Для построения расчётных уравнений отделим от железобетонного элемента с помощью метода сечений два блока (рис. 2). Первый блок отделяем поперечным сечением  $I-I$ , проходящим в конце пространственной трещины. Этот блок находится в равновесии под действием внешних усилий, приложенных к блоку со стороны опоры, и внутренних усилий, возникающих в месте проведения сечения.

Из уравнения равновесия моментов внутренних и внешних сил в этом сечении  $I-I$  относительно точки  $O_1$ , проходящей через точку приложения равнодействующей усилий в растянутой арматуре ( $\sum M_{O_1}=0$ ), получим:

$$\sigma_{b,1} A_b [h_0 - j_{y,2}(x_b, x) \times x] - M - R_{sup} a_{m,S} = 0. \quad (1)$$

Здесь  $a_{m,S}$  – расстояние по горизонтали от опоры по направлению оси  $y$  до центра тяжести рабочей продольной арматуры в сечении  $I-I$  (точка  $O_1$ ). При этом, необходимо сделать акцент на том, что момент, создаваемый  $R_{sup} > a_{m,S}$  будет крутящим по отношению к оси  $x$  и относительно т.  $O_1$ ; момент  $M$  будет изгибающим по отношению к оси  $y$  и относительно точки  $O_1$ ; момент, создаваемый  $\sigma_{b,1} A_b [h_0 - j_{y,2}(x_b, x) \times x]$  будет изгибающим по отношению к оси  $z$  и относительно точки  $O_1$ . Здесь  $j_{y,2}(x_b, x)$  – статико-геометрический параметр, учитывающий расположение центра тяжести сжатой зоны бетона в сечении  $I-I$  (на участке  $x_b$  эпюра сжимающих напряжений прямоугольная на участке  $x-x_b$  – треугольная);  $R_{sup}$  – опорная реакция в первом блоке (рис. 2), – для второй группы предельных состояний этот параметр известен. Из этого уравнения отыскивается неизвестное  $\sigma_{b,1}$ .

Из уравнения равновесия проекций всех сил, действующих в сечении  $I-I$  на ось  $x$  находим высоту сжатой зоны бетона  $x$  в этом сечении. Уравнение принимает вид

$$s_b \times j_{np}(s_i, e_i) \times j_a(c) \times j_{y,2}(x_b, x) \times b \times x - s_{s,1} m A_{s,1} = 0. \quad (2)$$

в которое вместо  $j_{y,1}(x_b, x)$  следует вставить  $j_{y,2}(x_b, x)$ , которое с точностью до числового коэффициента совпадает с  $j_{y,1}(x_b, x)$ .

Здесь  $j_{np}(s_i, e_i)$  – параметр, учитывающий проецирование диаграммы  $\sigma_i - \varepsilon_i$  на направление перпендикулярное плоскости  $k$  (рис. 4);  $j_a$  – параметр, учитывающий проеци-

рование составляющих напряжений в плоскости  $k$  на плоскость  $I-I$  перпендикулярную продольной оси железобетонного элемента;  $j_{y,2}(x_b, x)$  – параметр, равный с точностью до числового коэффициента параметру  $j_y(x_b, x)$ .

Из уравнения равновесия моментов внутренних и внешних сил, действующих в сечении  $I-I$  относительно оси, перпендикулярной к этому сечению и проходящей через точку приложения равнодействующей усилий в сжатой зоне ( $T_{b,f}=0$ ), получим:

$$2 \cdot 0,5t_T \times \frac{b}{2} \times \frac{2}{3} \times \frac{b}{2} \times x - T = 0. \quad (3)$$

Из этого уравнения определяем неизвестное  $T$  (для первой группы предельных состояний), а если  $T$  задано через соотношение  $R_{sup}:T$  и при рассмотрении второй группы предельных состояний, это уравнение используется для определения  $t_T$ .

Это уравнение совпадает с уравнением (3). При этом проверяется условие (4).

$$t_T \leq t_{T,pl}. \quad (4)$$

Если условие (4) не выполняется, тогда  $t_T$  полагается равным  $t_{T,pl}$ , а из преобразованного уравнения (3) отыскивается параметр  $y_{pl}$  (см. уравнение (5) и рис.2).

$$2 \cdot [t_{T,pl} \cdot y_{pl} (b/2 - 0.5y_{pl}) + 0,5t_{T,pl} (b/2 - y_{pl})^2 / 3 (b/2 - y_{pl})] \cdot x - T = 0. \quad (5)$$

Следует заметить, что для схемы  $II$  эпюра  $\tau_T$ , как правило, близка к прямоугольной.

Из гипотезы пропорциональности продольных деформаций (уравнение аналогично (6) находим  $s_{s,I}$ .

$$s_{s,I} = \frac{s_b \times E_s(l)}{E_b(l)} \times \frac{h_0 - x}{x} + s_0. \quad (6)$$

При этом необходима проверка условия (7). Если условие (7) не выполняется, то  $s_{s,I}$  полагается равным  $R_s$ .

$$s_{s,I} \leq R_s. \quad (7)$$

Второй приопорной блок отделяем от железобетонного элемента пространственным сечением, образуемым спиралеобразной трещиной и вертикальным сечением, проходящим по сжатой зоне бетона через конец фронта пространственной трещины.

Равновесие этого блока обеспечивается выполнением следующих условий.

Сумма моментов всех внутренних и внешних сил, действующих в вертикальной продольной плоскости, по отношению к оси  $z$  относительно точки приложения равнодействующей усилий в сжатой зоне равна нулю ( $\sum M_b=0$ , блок  $II$ ).

$$s_{s,I} m A_s (h_0 - 0,5x_b) - M - R_{sup} \cdot a_{m,b} = 0. \quad (8)$$

Здесь  $a_{m,b}$  – расстояние по горизонтали от опоры по направлению оси  $y$  до центра тяжести сжатой зоны бетона в сечении  $k$  (точки  $b$ ). При этом, необходимо сделать акцент на том, что момент, создаваемый  $R_{sup} \cdot a_{m,b}$  будет крутящим по отношению к оси  $x$  и относительно т.  $b$ ; момент  $M$  будет изгибающим по отношению к оси  $y$  и относительно точки  $b$ ; момент, со-

№2 (64) 2016 (март-апрель)

здаваемый  $s_s mA_s (h_0 - 0,5x_b)$  будет изгибающим по отношению к оси  $z$  и относительно точки  $b$ .

Следует заметить, что в этом уравнении моменты  $q_{sw,T}c^2/8$ , возникающие на боковых гранях от продольных усилий в поперечной арматуре взаимно уравновешиваются относительно точки  $B$ .

Это же следует отнести и к моментам, вызываемым "нагельными" составляющими в продольной арматуре. Из уравнения (8) определяется неизвестное  $\sigma_s$ .

Здесь необходимо также сделать оговорку по поводу параметра  $\sigma_b$  (напряжения в сжатом бетоне сечения  $k$ , рис. 2). Этот параметр определяется из уравнения равновесия моментов внутренних и внешних сил в пространственном сечении по отношению к оси  $z$  относительно точки  $O_K$  приложения равнодействующей усилий (сечение  $k$ , рис. 2) в сжатом бетоне ( $\sum M_{O,K}=0$ ), получим:

$$s_b A_b (h_0 - 0,5x_b) - M - R_{sup} a_{m,S} = 0. \quad (9)$$

Здесь  $a_{m,S}$  – расстояние по горизонтали от опоры до центра тяжести всей продольной арматуры в сечении  $k$ . Из уравнения (9) определяется неизвестное  $s_b$ .

Сумма проекций всех сил, действующих в пространственном сечении на ось  $x$  равна нулю ( $\sum X=0$ , блок II).

$$s_b j_{np} (s_i, e_i) \times a_1(c) \times x_b \times \sqrt{c^2 + b^2} - s_s mA_s - 2q_{2sw} \times \sqrt{(h_0 - x_b)^2 + c^2} = 0. \quad (10)$$

Из этого уравнения отыскивается неизвестное  $x_b$ .

Сумма моментов внутренних и внешних сил в вертикальной поперечной плоскости относительно оси  $x$ , проходящей через точку приложения равнодействующей усилий в сжатой зоне равна нулю ( $\sum T_b=0$ , блок II):

$$(q_{sw,S} + q_{sw,Q}) \sqrt{c^2 + b^2} \times (h_0 - 0,5x_b) - 2q_{sw,T} \sqrt{(h_0 - x_b)^2 + c^2} - 2t_T w \times x_b - T = 0. \quad (11)$$

Из уравнения (11) отыскивается неизвестное  $q_{sw,T}$ .

Сумма проекций всех сил, действующих в пространственном сечении на ось  $z$  равна нулю ( $\sum Z=0$ , блок II):

$$(q_{sw,S} + q_{sw,Q}) \sqrt{c^2 + b^2} + s_b j_{np} (s_i, e_i) \times a_1(c) \times x_b \times \sqrt{c^2 + b^2} - t_T x_b (\sqrt{c^2 + b^2}) = 0. \quad (12)$$

Из уравнения (12) отыскивается неизвестное  $q_{sw,Q}$ .

Неизвестное  $q_{sw,S}$  отыскивается из следующих соображений. Это погонное усилие возникает на боковой грани от действия  $T + R_{sup} e_Q$  также, как и погонное усилие  $q_{sw,T}$ , возникающее на верхней и нижней гранях, поэтому отличие его от последнего будет состоять в том, чтобы учесть соотношение  $b_2 : h_2$  и характеристики используемой арматуры. Тогда

$$\frac{q_{sw,S}}{q_{sw,Q}} = \frac{h_2}{b_2} \frac{R_{sw,S} A_{sw,S}}{R_{sw,T} A_{sw,T}} = n_T. \quad (13)$$

Отсюда следует, что

$$q_{sw,s} = q_{sw,T} n_T. \quad (14)$$

“Нагельные усилия” в продольной  $Q_s$  и поперечной арматуре  $q_{sw,2}$  определяются из специальной модели “нагельного эффекта”, рассмотренной в работе [6].

### Выводы

Таким образом, рассмотренный способ расчета сопротивления железобетонных конструкций при совместном действии изгибающего момента, крутящего момента и поперечной силы для второй стадии напряженно-деформированного состояния (случай 2) можно использовать при раскрытии пространственных трещин первого типа на боковой грани конструкции. На основе предпосылок, положенных в основу предлагаемого способа расчета, получены аналитические зависимости, которые позволяют выявить действительное напряженно-деформированное состояние железобетонных конструкций при действии кручения с изгибом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бетонные и железобетонные конструкции: СНиП 2.03.01–84\*. – [Введены в действие с 1986–01–01]. – М.: ЦТИП Госстроя СССР, 1989. – 88 с. – (Строительные нормы и правила).
2. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения : СП 63.13330.2012. – [Введены в действие с 2013–01–01]. – М. : Министерство регионального развития РФ, 2012. – 156 с. – (Свод правил. Актуализированная редакция СНиП 52–01–2003).
3. Сальников, А. С. Расчетная модель образования пространственных трещин первого вида при кручении с изгибом / А. С. Сальников, Вл. И. Колчунов, И. А. Яковенко // Промышленное и гражданское строительство. – 2015. – №3. – С. 35–40.
4. Salnikov A., Kolchunov Vl., Yakovenko I. The computational model of spatial formation of cracks in reinforced concrete constructions in torsion with bending // Applied Mechanics and Materials. Vols. 725–726 (2015), pp 784–789.
5. Колчунов, В.И. Построение расчета железобетонных конструкций на кручение с изгибом / В.И. Колчунов, А. Г. Сафонов // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. – 2008. – № 4. – С. 7–13.
6. Колчунов, В.И. Расчетная модель "нагельного эффекта" в железобетонном элементе / В. И. Колчунов, Э.И. Заздравных // Известия вузов. Сер. Строительство. – 1996. – №10. – С. 18–24.

#### А.А. Покусаев

Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), г. Москва.  
Аспирант, Институт пути, строительства и сооружений.  
E-mail: [fvs\\_Aleksej456@yandex.ru](mailto:fvs_Aleksej456@yandex.ru)

#### М.В. Шавыкина

Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), г. Москва.  
Кандидат технических наук, доцент; Институт пути, строительства и сооружений  
E-mail: [fvs\\_skzs@mail.ru](mailto:fvs_skzs@mail.ru)

#### Вл.И. Колчунов

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск.  
Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство».  
E-mail: [vlik52@mail.ru](mailto:vlik52@mail.ru)

A. POKUSAEV, M. SHAVYKINA, VL. KOLCHUNOV

## THE SECOND STAGE OF THE STRESS-STRAIN STATE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN TORSION WITH BENDING (CASE 2)

*It is reviewed the method for calculating the resistance of reinforced concrete constructions under the combined action of bending moment, torque and shear force for the second stage of the stress-strain state (first case – the appearance of the first type of spatial cracks on the side of the construction).*

*It was formulated working premises underlying the proposed calculation method. The resolving equations have written, their design results are such parameters: maximum support reaction; the compressed zone height of a cross-section at the top of the spatial cracks; the stresses in the longitudinal armature at the intersection of its spatial crack; the compressed zone height of the concrete in a vertical plane, passing through the front end of the spatial cracks; force per unit length in the transverse armature, located at the side faces of the spatial section, caused by a lateral force; force per unit length in the transverse armature, located at the side faces of the spatial cross-section caused by torque; force per unit length in the transverse armature situated at the bottom face of the spatial section caused by torque.*

**Keywords:** reinforced concrete construction, torsion with bending, resistance, stress-strain state, spatial crack, internal forces, cross-section, prerequisites of calculation.

### BIBLIOGRAPHY

1. Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii: SNiP 2.03.01–84\*. – [Vvedeny v deystviye s 1986–01–01]. – M.: TSTIP Gosstroya SSSR, 1989. – 88 s. – (Stroitel'nyye normy i pravila).
2. Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii. Osnovnyye polozheniya : SP 63.13330.2012. – [Vvedeny v deystviye s 2013–01–01]. – M. : Ministerstvo regional'nogo razvitiya RF, 2012. – 156 s. – (Svod pravil. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 52–01–2003).
3. Sal'nikov, A. S. Raschetnaya model' obrazovaniya prostranstvennykh treshchin pervogo vida pri kru-chenii s izgibom / A. S. Sal'nikov, Vl. I. Kolchunov, I. A. Yakovenko // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'-stvo. – 2015. – №3. – S. 35–40.
4. Salnikov A., Kolchunov Vl., Yakovenko I. The computational model of spatial formation of cracks in reinforced concrete constructions in torsion with bending // Applied Mechanics and Materials. Vols. 725–726 (2015), pp 784–789.
5. Kolchunov, V.I. Postroyeniye rascheta zhelezobetonnykh konstruksiy na krucheniye s izgibom / V.I. Kolchunov, A. G. Safonov // Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i transport. – 2008. – № 4. – S. 7–13.
6. Kolchunov, V.I. Raschetnaya model' "nagel'nogo effekta" v zhelezobetonnom elemente / V. I. Kolchunov, E.I. Zazdravnykh // Izvestiya vuzov. Ser. Stroitel'stvo. – 1996. – №10. – S. 18–24.

#### A. Pokusaev

Moscow state university of railway engineering, Moscow.  
Postgraduate student, Institute of railways, building and structures.  
E-mail: [fvs\\_Aleksej456@yandex.ru](mailto:fvs_Aleksej456@yandex.ru)

#### M. Shavykina

Moscow state university of railway engineering, Moscow.  
Candidate of technical sciences, associated professor, Institute of railway, building and structures.  
E-mail: [fvs\\_skzs@mail.ru](mailto:fvs_skzs@mail.ru)

#### Vl. Kolchunov

South-West state university, Kursk.  
Doctor of technical sciences, professor, professor of the Civil engineering department.  
E-mail: [vlik52@mail.ru](mailto:vlik52@mail.ru)

УДК 624.04

ПРОКУРОВ М.Ю.

## НОВЫЙ ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПРОГИБОВ ТОНКИХ УПРУГИХ ПЛАСТИНОК С ПРОИЗВОЛЬНЫМ ВЫПУКЛЫМ КОНТУРОМ

*Предложен новый геометрический метод расчёта максимальных прогибов тонких пластинок – интерполяционный метод моделирования формой (ИММФ). Этот метод основан на использовании интегральных геометрических характеристик плоской области, очерченной внешним односвязным контуром. Проведены численные исследования возможности применения интерполяционного метода моделирования формой (ИММФ) для решения задачи определения прогибов шарнирно опёртых пластинок в виде треугольников произвольной формы. Предлагаемый подход может быть использован в рамках специализированной САПР расчёта пластинчатых конструкций.*

*Ключевые слова:* коэффициент формы, отношение конформных радиусов, тонкие пластинки, интерполяция, максимальный прогиб.

Пластинки находят широкое применение в строительстве, машиностроении, авиа- и кораблестроении. В строительной механике известен ряд расчётных методов, позволяющих оценить деформационное состояние пластинчатых конструкций. Указанным методам присущи отдельные недостатки и ограничения, создающие определённые трудности их практической реализации.

Использование прямых методов расчёта, имеющих исключительно важное теоретическое значение, сопряжено с математическими трудностями решения дифференциальных уравнений и ограничено частными решениями для пластинок простейших форм и условий закрепления.

Применение численных методов расчёта, например МКЭ, положенного в основу ряда универсальных программных комплексов, представляется достаточно громоздким при вариантном проектировании, поскольку изменение исходной геометрии пластинки требует пересмотра входной информации, необходимой для задания топологии сетки узлов и характеристик используемых элементов. При этом применение универсальных программных комплексов предполагает наличие у пользователя ЭВМ достаточного уровня квалификации и опыта проведения автоматизированных расчётов. Использование таких программных пакетов представляется оправданным на завершающей стадии проектирования при окончательном анализе работы конструкции, когда ряд её параметров определён предварительными исследованиями.

Недостатки практической реализации прямых и численных методов определяют перспективу развития геометрических методов расчёта, позволяющих выполнить оперативную оценку физических характеристик пластинок на основе свойства двусторонней ограниченности возможных решений при геометрическом моделировании формы пластинки. Реализация геометрических методов не требует решения дифференциальных уравнений, приводя к получению результата с точностью, достаточной для инженерных расчётов.

Построение ряда геометрических методов деформационного расчёта тонких пластинок основывается на использовании интегральных безразмерных характеристик плоской области ограниченной их внешним контуром. Этими характеристиками являются коэффициент

формы плоской выпуклой области  $K_f$  и отношение внутреннего и внешнего конформных радиусов  $\mathfrak{R}/\bar{r}$ , получаемых при отображении плоской области на внешнюю и внутреннюю часть окружности. С возможностью использования указанных геометрических характеристик для решения прикладных задач технической теории расчёта пластинчатых конструкций можно ознакомиться в работе [5].

Впервые к расчёту упругих пластинок указанные интегральные характеристики были применены профессором В.И. Коробко. Путём проведенных исследований была установлена пропорциональность значений максимальных прогибов тонких пластинок величинам указанных геометрических характеристик:

$$w_0 \sim 1/K_f; \quad w_0 \sim \mathfrak{R}/\bar{r}. \quad (1)$$

Одним из эффективных геометрических методов, применяющихся при деформационном анализе пластинок, является метод интерполяции по коэффициенту формы (МИКФ), предложенный профессором А.В. Коробко. Основным аргументом данного метода является коэффициент формы  $K_f$ , определяемый как минимальное значение замкнутого интеграла, взятого по выпуклому контуру рассматриваемой пластинки:

$$K_f = \oint \frac{ds}{Lh}, \quad (2)$$

где  $ds$  – линейный элемент контура  $L$ ,  $h$  – перпендикуляр, опущенный на него из некоторой точки, расположенной внутри рассматриваемой области (рисунок 1).

Подробные сведения о коэффициенте формы изложены в работе [1].

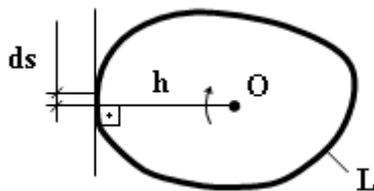


Рисунок 1 – Параметры области для определения  $K_f$

Максимальный прогиб линейно деформируемой пластинки, вызванный действием нагрузки  $q$ , равномерно распределённой по её площади  $A$ , может быть представлен выражением

$$w_0 = k_w \frac{q A^2}{D}, \quad (3)$$

где  $k_w = f(K_f)$  – значение некоторой функции, установленное аналитически или найденное путём интерполяции для принятых граничных условий рассматриваемой пластинки;  $D$  – её цилиндрическая жёсткость.

Аппроксимирующие функции приведенных прогибов пластинок типичных очертаний в виде равнобедренных и прямоугольных треугольников, ромбов, прямоугольников, правильных многоугольников и эллипсов при различных типах граничных условий были получены в виде следующих выражений [2]:

$$k_w = a + \frac{b}{K_f} + \frac{c}{K_f^2} + \frac{d}{K_f^3} + \frac{e}{K_f^4} + \frac{f}{K_f^5} + \frac{g}{K_f^6} + \frac{h}{K_f^7} + \frac{i}{K_f^8},$$

$$k_w = \frac{a + c K_f + e K_f^2 + g K_f^3 + i K_f^4}{1 + b K_f + d K_f^2 + f K_f^3 + h K_f^4 + j K_f^5}. \quad (4)$$

В выражениях (4) используются вариативные коэффициенты  $a, b, \dots, j$ , определённые с помощью пакета специализированного математического обеспечения Table Curve 2D.

Для фигур в виде произвольных треугольников, параллелограммов, равнобоких, прямоугольных и произвольных трапеций коэффициент  $k_w$ , используемый в выражении (3), может быть определён с помощью МИКФ в соответствии со значением коэффициента формы рассматриваемой пластинки.

Сущность МИКФ в рамках поставленной задачи заключается в следующем: Пусть для пластинки заданной формы  $X$  необходимо найти значение максимального прогиба, вызванного действием сплошной равномерно распределённой нагрузки. При этом существуют две различные по форме пластинки  $1$  и  $2$  с аналогичными граничными условиями, для которых искомые значения прогибов известны (опорные решения). Если форму рассматриваемой пластинки  $X$  можно получить в результате какого-либо непрерывного геометрического преобразования пластинок от  $1$  к  $2$ , то искомая величина максимального прогиба для пластинки формы  $X$  может быть найдена интерполяцией опорных решений по коэффициенту формы, значения которого зависят от геометрических параметров  $1$ ,  $2$  и  $X$ .

Интерполяция решений для аффинных геометрических преобразований, сохраняющих значение площади изменяемых фигур, выполняется на основе расчётных формул следующего вида:

$$w_0 = w_{01} \frac{\frac{\alpha K_f}{\epsilon} \frac{\ddot{\delta}}{\delta}}{\frac{\alpha K_{f1}}{\epsilon} \frac{\ddot{\delta}}{\delta}} \text{ при } n = \ln(w_{02}/w_{01}) / \ln \frac{\frac{\alpha K_{f2}}{\epsilon} \frac{\ddot{\delta}}{\delta}}{\frac{\alpha K_{f1}}{\epsilon} \frac{\ddot{\delta}}{\delta}}, \quad (5)$$

где  $w_{01}$ ,  $w_{02}$  – известные значения максимальных прогибов пластинок  $1$  и  $2$ , принимаемые в качестве опорных решений;  $K_{f1}$ ,  $K_{f2}$  – соответствующие значения коэффициентов формы базовых фигур;  $K_f$  – коэффициент формы рассчитываемой пластинки.

Аналогичным образом интерполяция решений проводится для аргумента, представляющего собой отношение внутреннего и внешнего конформных радиусов [6]:

$$w_0 = w_{01} \frac{\frac{\alpha(\bar{r})}{\epsilon(\bar{r})} \frac{\ddot{\delta}}{\delta}}{\frac{\alpha(\bar{r})_1}{\epsilon(\bar{r})_1} \frac{\ddot{\delta}}{\delta}} \text{ при } n = \ln(w_{02}/w_{01}) / \ln \frac{\frac{\alpha(\bar{r})_2}{\epsilon(\bar{r})_2} \frac{\ddot{\delta}}{\delta}}{\frac{\alpha(\bar{r})_1}{\epsilon(\bar{r})_1} \frac{\ddot{\delta}}{\delta}}. \quad (6)$$

Рассмотрим альтернативный способ интерполяции значений прогибов при использовании аналогичных вариантов базовых решений.

Учитывая выражение (1) для коэффициента формы, можно рассмотреть два подобных графика:

1) График некоторой функции, определяющей форму преобразуемых пластинок  $\Phi = f(\delta)$ , показанный на рисунке 2-а. Для аффинных преобразований, сохраняющих значение площади изменяемых фигур, это функция имеет вид  $\Phi = 1/K_f$ .

2) График изменения численного значения максимального прогиба преобразуемых пластинок  $w = f(\delta)$ , приведенный на рисунке 2-б.

Точки  $1$  и  $2$  на обоих графиках соответствуют принятым базовым решениям. Для них искомые значения прогибов определяются по подобранным аналитическим функциям (4) при соответствующих видах граничных условий.

Вводимый аргумент  $\delta$  представляет собой величину, определяющую изменение значения коэффициента формы в применяемых непрерывных геометрических преобразованиях. Соответственно оба графика построены на одной области определения  $[\delta_1; \delta_2]$ .

Таким образом, изначально известны следующие величины:  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ ,  $\Phi$  – значения функции формы базовых и рассчитываемой пластинки;  $w_1$  и  $w_2$  – базовые решения;  $\delta \in (\delta_1; \delta_2)$  – величина и интервал изменения текущего геометрического аргумента.

Ордината точки  $N$  на графике, представленном на рисунке 2-б, является искомым решением задачи.

На обоих графиках показана точка  $L$ , положение которой несложно определить путём линейной интерполяции, используя исходные данные задачи. В результате будут определены следующие величины:  $\Phi_{лин}$ ,  $\Delta\Phi = \Phi - \Phi_{лин}$  и  $w_{лин}$ .

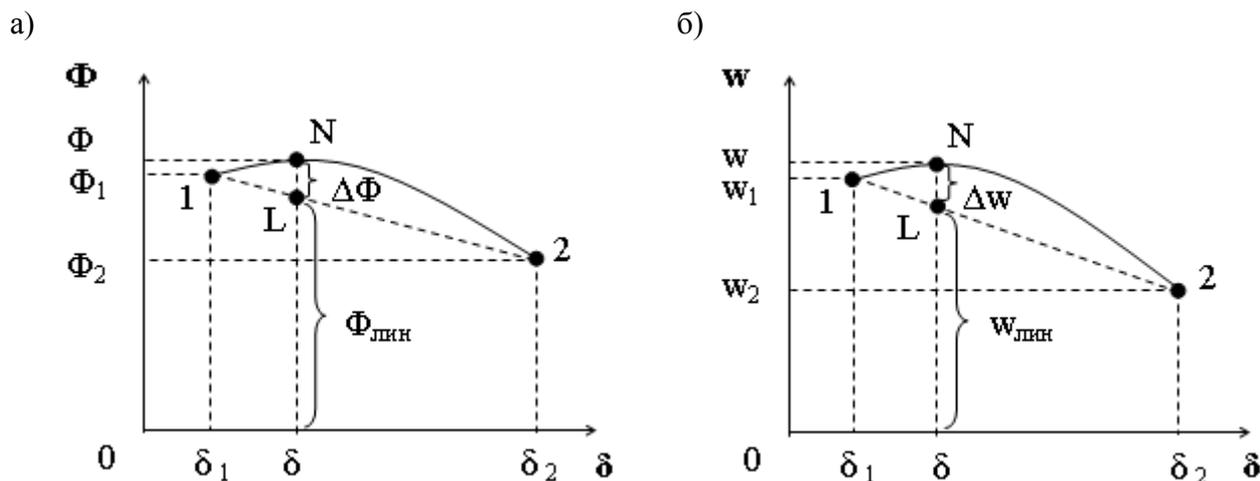


Рисунок 2 – Общий вид зависимостей, описывающих непрерывные геометрические преобразования пластинок при переходе от одной базовой формы пластинки к другой для:  
 а) функция формы; б) функция прогибов

Геометрическое подобие графиков, приведенных на рисунке 2, позволяет записать соотношение

$$\frac{DF}{F_{\text{лин}}} = \frac{Dw}{w_{\text{лин}}} \quad (7)$$

Таким образом, на основании (7), искомое решение может быть найдено в виде следующего выражения:

$$w = w_{\text{лин}} \pm Dw = w_{\text{лин}} \pm w_{\text{лин}} \frac{DF}{F_{\text{лин}}} = w_{\text{лин}} \left( 1 \pm \frac{DF}{F_{\text{лин}}} \right) \quad (8)$$

В выражении (8) используется знак «±» для общего случая расчёта, так как форма исследуемых графиков может быть не только выпуклой, но и вогнутой.

После выполнения ряда математических преобразований, окончательная запись интерполяционного выражения принимает следующий вид:

$$w = \frac{(1-h)w_1 + hw_2}{(1-h)F_1 + hF_2} F, \quad \text{где } h = \frac{d-d_1}{d_2-d_1} < 1. \quad (9)$$

Выражение (9) в совокупности с графиками, приведенными на рисунке 2, представляет собой новый геометрический метод расчёта тонких пластинок – Интерполяционный метод моделирования формой (ИММФ). Реализация данного метода при деформационном расчёте тонких пластинок рассмотрена в работах [7], [9].

С учётом выражения (1) для конформных радиусов, в выражении (9) аналогично может использоваться функция формы  $F = \frac{r}{\bar{r}}$ .

Рассмотрим примеры использования описанных геометрических методов для определения прогибов шарнирно опертых пластинок в форме произвольных треугольников, полученных путём непрерывного аффинного геометрического преобразования базовых пластинок, имеющих форму равнобедренных треугольников.

Рассматривались пластинки с основанием длиной 1 м и двумя меньшими углами, прилежащими к нему. Общими исходными данными для всех пластинок были приняты следующие: распределенная нагрузка  $q = 5 \text{ кН/м}^2$ ; толщина пластинок  $t = 15 \text{ мм}$ ; модуль Юнга  $E = 206000 \text{ МПа}$ ; коэффициент Пуассона  $\nu = 0,3$ .

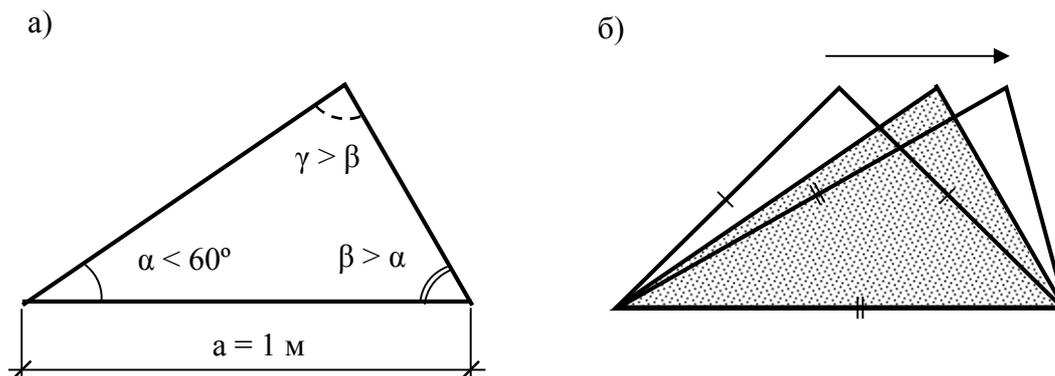


Рисунок 3 – Геометрия рассматриваемых треугольных пластинок:  
а) общая схема; б) используемое аффинное преобразование формы

Общая схема рассчитываемых пластинок и используемое геометрическое преобразование показаны на рисунке 3.

При реализации ИММФ в качестве изменяемого геометрического параметра, характеризующего используемое геометрическое преобразование базовых пластинок, принята абсцисса перемещаемой вершины при большем угле пластинки.

Значения коэффициентов формы рассматриваемых треугольных пластинок определялись с помощью специализированной программы KfGeometry\* [3]. Расчёт максимальных значения прогибов базовых пластинок в виде равнобедренных треугольников и реализация МИКФ на основе выражения (5) осуществлялись по программе KfDeflection† [8]. Численные значения отношений конформных радиусов определялись с помощью программы RRMaximalDeflectionPlateGraphic‡, реализующей расчёт максимальных прогибов тонких пластинок на основе выражения (6) и его модификаций. Принципы работы указанной программы для ЭВМ изложены в [4].

Реализация выражения (9) для обоих геометрических аргументов и расчёт необходимых геометрических параметров базовых пластинок проводились с помощью разработанных специализированных программных модулей. Контрольные решения определены с помощью МКЭ. Результаты расчётов приведены в таблице 1.

Решения в столбцах 4 и 5 приведенной таблицы получены при использовании в качестве основного геометрического аргумента  $K_f$ . Решения в столбцах 6 и 7 получены при использовании аргумента  $\bar{r}$ . При раздельном анализе по данным аргументам более близкие значения к тестовому решению, рассчитанному по МКЭ, подчёркнуты. Жирным шрифтом выделены значения прогибов наиболее близкие к тестовым решениям по всем столбцам 4-7.

Анализ решений, полученных при расчёте пластинок по МИКФ и ИММФ с использованием  $K_f$ , выявил несколько бóльшую точность определения максимальных прогибов при расчёте по ИММФ для всех 10-ти рассмотренных вариантов треугольных пластинок.

Анализ решений, полученных при расчёте пластинок с использованием аргумента  $\bar{r}$ , также выявил несколько бóльшую точность определения максимальных прогибов при расчёте по ИММФ для 8-и из 10-и рассмотренных вариантов.

\* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012610432 от 10.01.2012 г.

† Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013612545 от 05.03.2013 г.

‡ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013613173 от 27.03.2013 г.

Таблица 1 – Значения максимальных прогибов произвольных шарнирно опёртых треугольных пластинок, рассчитанные с помощью различных методов

№ варианта	Углы, °		Максимальный прогиб $w$ , рассчитанный различными методами, мм				
	$\alpha$	$\beta$	МИКФ (5)	ИММФ, (9) с аргументом $K_f$	Использование аргумента $\&f\bar{r}$ (6)	ИММФ, (9) с аргументом $\&f\bar{r}$	МКЭ (тестовый расчёт)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	55	60	0,037083 (1,15%)	<b>0,037063</b> (1,10%)	0,037497 (2,28%)	0,037324 (1,81%)	<b>0,036661</b>
2	50	60	0,029562 (1,49%)	<b>0,029505</b> (1,29%)	0,029806 (2,32%)	0,029634 (1,73%)	<b>0,029129</b>
3	45	55	0,019407 (1,93%)	<b>0,019314</b> (1,44%)	0,019516 (2,50%)	0,019347 (1,61%)	<b>0,01904</b>
4	40	60	0,017275 (1,92%)	0,017155 (1,21%)	0,017274 (1,91%)	<b>0,017117</b> (0,99%)	<b>0,01695</b>
5	35	45	0,007609 (0,87%)	<b>0,007544</b> (0,01%)	0,007572 (0,38%)	0,007509 (-0,45%)	<b>0,007543</b>
6	35	65	0,014096 (1,53%)	0,013996 (0,81%)	0,014041 (1,14%)	<b>0,013937</b> (0,39%)	<b>0,013883</b>
7	30	70	0,010388 (1,37%)	0,01033 (0,81%)	0,010336 (0,86%)	<b>0,010286</b> (0,37%)	<b>0,010248</b>
8	25	55	0,004596 (1,14%)	<b>0,004528</b> (-0,35%)	0,004576 (0,70%)	0,004503 (-0,90%)	<b>0,004544</b>
9	20	50	0,002284 (4,48%)	0,002245 (2,70%)	0,002283 (4,44%)	<b>0,002239</b> (2,42%)	<b>0,002186</b>
10	20	60	0,00279 (3,83%)	<b>0,00275</b> (2,34%)	0,002801 (4,24%)	<b>0,00275</b> (2,34%)	<b>0,002687</b>

Смешанный анализ по обем интегральным геометрическим характеристикам, выявил следующее:

- 1) Значения прогибов, наиболее близкие к тестовым решениям, найденным по МКЭ, получены при расчёте по ИММФ с использованием обоих геометрических аргументов;
- 2) При расчёте по ИММФ с аргументом  $K_f$  значения искомым прогибов оказались более близкими к тестовым решениям в 6-ти из 10-ти случаев;
- 3) При расчёте по ИММФ с аргументом  $\&f\bar{r}$  значения искомым прогибов оказались более близкими к тестовым решениям в 5-ти из 10-ти случаев.

Отметим, что для варианта № 10 при расчёте по ИММФ с использованием обоих геометрических аргументов решения совпали.

На основании проведенного анализа можно рекомендовать ИММФ для определения максимальных прогибов произвольных треугольных пластинок. По аналогии с МИКФ представляется возможным его использование для решения других задач технической теории расчёта пластинок.

Использование представленного метода при разработке специализированной САПР пластинчатых конструкций предполагается при принятии в качестве основного аргумента коэффициента формы  $K_f$ . Это связано с тем, что определение характеристики  $\&f\bar{r}$  представляется достаточно громоздким, а для отдельных форм пластинок, например трапециевидных, она может быть определена лишь косвенным путём.

### Выводы

- 1) Предложен новый геометрический метод расчёта максимальных значений прогибов тонких пластинок на основе безразмерных интегральных характеристик области, очерченной замкнутым контуром.

- 2) Численными исследованиями подтверждена адекватность ИММФ при определении прогибов шарнирно опертых тонких треугольных пластинок произвольного вида.
- 3) Определены перспективы развития предлагаемого подхода для практического применения в рамках специализированной САПР расчёта пластинчатых конструкций.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробко, А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости [Текст] / А.В. Коробко. – М.: Изд-во АСВ, 1999. – 320 с.
2. Коробко, А.В. Построение граничных аппроксимирующих функций максимального прогиба пластинок с комбинированными граничными условиями для использования в методе интерполяции по коэффициенту формы [Текст] / А.В. Коробко, М.Ю. Прокуров // Строительство и реконструкция. – 2013. – № 1. – С. 3 – 12.
3. Коробко, А.В. Программа определения значения коэффициента формы плоской замкнутой области, ограниченной выпуклым контуром различного очертания [Текст] / А.В. Коробко, М.Ю. Прокуров // Строительство и реконструкция. – 2013. – № 4. – С. 28 – 37.
4. Коробко, А.В. Программа определения максимального прогиба изгибаемых пластинок с использованием отношения конформных радиусов, отображённых на круг областей, ограничивающих их контуры [Текст] / А.В. Коробко, М.Ю. Прокуров, А.А. Черняев // Строительство и реконструкция. – 2012. – № 3. – С. 17 – 24.
5. Коробко, А.В. Развитие технической теории расчета пластинчатых конструкций на основе методов геометрического моделирования их формы [Текст] / А.В. Коробко, М.Ю. Прокуров, А.А. Черняев // Строительство и реконструкция. – 2015. – № 1. – С. 17 – 21.
6. Коробко, В.И. Решение задач поперечного изгиба пластинок с использованием конформных радиусов [Текст] / В.И. Коробко, А.А. Черняев // Строительная механика и расчет сооружений, 2011. № 6. С. 16 – 22.
7. Прокуров, М.Ю. Интерполяция значений максимальных прогибов тонких пластинок с использованием коэффициента формы области, очерченной их выпуклым контуром [Электронный ресурс] / М.Ю. Прокуров // Теория и практика расчета зданий, сооружений и элементов конструкций. Аналитические и численные методы: Сб. докладов междунар. научн.-практ. конф. / М-во обр. и науки РФ, Моск. гос. строит. ун-т. – Москва: МГСУ, 2014. – С. 291 – 298.
8. Прокуров, М.Ю. Программа определения максимального прогиба упругих пластинок с использованием метода интерполяции по коэффициенту формы [Текст] / М.Ю. Прокуров // Строительство и реконструкция. – 2014. – № 3. – С. 21 – 30.
9. Прокуров, М.Ю. Способ интерполяции для оценки максимальных прогибов тонких пластинок с использованием коэффициента формы [Текст] / М.Ю. Прокуров // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: мат. междунар. акад. чтений / Курск. гос. ун-т. – Курск, 2014. – С. 207 – 215.

#### **Прокуров Максим Юрьевич**

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции»  
E-mail: [m.prokuroff@mail.ru](mailto:m.prokuroff@mail.ru)

---

M. PROKUROV

### **A NEW INTERPOLATIONAL METHOD OF ESTIMATING MAXIMUM DEFLECTION VALUES FOR THIN ELASTIC PLATES WITH ARBITRARY CONVEX CONTOUR**

*The paper proposes a new computing method for estimating maximum deflection of thin plates – an interpolation form simulation method based on using integral geometrical characteristics of plane region delineated by their simply connected contour. Computational investigations have been done showing its application in solving the problem of estimating deflection in hingedly supported triangular plates of arbitrary shape. The proposed approach can be used in the specialized CAD systems to calculate of plates.*

*Keywords: shape factor, conformal radii relation, thin plates, interpolation, maximum deflection.*

## BIBLIOGRAPHY

1. Korobko, A.V. Geometricheskoe modelirovanie formy oblasti v dvumernykh zadachakh teorii uprugosti [Tekst] / A.V. Korobko. – M.: Izd-vo ASV, 1999. – 320 s.
2. Korobko A.V. Postroenie granichnykh approksimiruyusshikh funktsiy maksimal'nogo progiba plastinok s kombinirovannymi granichnymi usloviyami dlya ispol'zovaniya v metode interpolyatsii po koeffitsientu formy [Tekst] / A.V. Korobko, M.Yu. Prokurov // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. – 2013. – № 1. – S. 3 – 12.
3. Korobko, A.V. Programma opredeleniya znacheniya koeffitsienta formy ploskoy zamknutoy oblasti, ograni-chennoy vypuklym konturom razlichnogo ochertaniya [Tekst] / A.V. Korobko, M.Yu. Prokurov // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. – 2013. – № 4. – S. 28 – 37.
4. Korobko, A.V. Programma opredeleniya maksimal'nogo progiba izgibaemykh plastinok s ispol'zovaniem otnosheniya konformnykh radiusov, otobrazhennykh na krug oblastey, ogranichivayusshikh ikh kontury [Tekst] / A.V. Korobko, M.Yu. Prokurov, A.A. Chernyaev // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. – 2012. – № 3. – S. 17 – 24.
5. Korobko, A.V. Razvitie tekhnicheskoy teorii rascheta plastinchatykh konstruktsiy na osnove metodov geometricheskogo modelirovaniya ikh formy [Tekst] / A.V. Korobko, M.Yu. Prokurov, A.A. Chernyaev // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. – 2015. – № 1. – S. 17 – 21.
6. Korobko, V.I. Reshenie zadach poperechnogo izgiba plastinok s ispol'zovaniem konformnykh radiusov [Tekst] / V.I. Korobko, A.A. Chernyaev // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy, 2011. № 6. S. 16 – 22.
7. Prokurov, M.Yu. Interpolyatsiya znacheniy maksimal'nykh progibov tonkikh plastinok s ispol'zovaniem koeffitsienta formy oblasti, ocherchennoy ikh vypuklym konturom [Elektronnyy resurs] / M.Yu. Prokurov // Teoriya i praktika rascheta zdaniy, sooruzheniy i elementov konstruktsiy. Analiticheskie i chislennyye metody: Sb. dokladov mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. / M-vo obr. i nauki RF, Mosk. gos. stroit. un-t. – Moskva: MGSU, 2014. – S. 291 – 298.
8. Prokurov, M.Yu. Programma opredeleniya maksimal'nogo progiba uprugikh plastinok s ispol'zovaniem metoda interpolyatsii po koeffitsientu formy [Tekst] / M.Yu. Prokurov // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. – 2014. – № 3. – S. 21 – 30.
9. Prokurov, M.Yu. Sposob interpolyatsii dlya otsenki maksimal'nykh progibov tonkikh plastinok s ispol'zovaniem koeffitsienta formy [Tekst] / M.Yu. Prokurov // Bezopasnost' stroitel'nogo fonda Rossii. Problemy i resheniya: mat. mezhdunar. akad. chteniy / Kursk. gos. un-t. – Kursk, 2014. – S 207 – 215.

### **M. Prokurov**

Bryansk state engineering and technological university, Bryansk

Candidate of technical sciences, associate professor of the department «Building constructions»

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

ТИРАТУРЯН А.Н.

## ВЫДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ СЕКЦИЙ УЧАСТКОВ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ ИХ ПРОЧНОСТИ

*Внедрение в отечественную практику современного высокопроизводительного оборудования для оценки прочности эксплуатируемых нежестких дорожных одежд позволяет получать значительные массивы информации об упругих прогибах на всей протяженности обследованного участка. С использованием метода накопленных разностей (method of cumulative differences) приведен пример разделения эксплуатируемого участка автомобильной дороги на характерные секции. При этом в качестве дополнительного критерия рассматривается разность между значениями среднего модуля упругости и модуля упругости 95 %-ой обеспеченности между соседними характерными секциями. Применение данного подхода позволит дифференцировано подходить к назначению толщин слоев усиления дорожных одежд на участках капитального ремонта.*

**Ключевые слова:** нежесткие дорожные одежды, упругий прогиб, установка динамического нагружения, модуль упругости

### Введение

Постоянный рост интенсивности транспортных потоков и объемов грузоперевозок в комплексе с необходимостью оптимизации расходов и издержек ставит серьезные задачи по обеспечению надлежащего транспортно-эксплуатационного состояния на автомобильных дорогах Российской Федерации. Обеспечить и поддерживать удовлетворительное эксплуатационное состояние на участках автомобильных дорог возможно путем своевременного выполнения работ по ремонту, капитальному ремонту и содержанию. При этом назначаться данные мероприятия должны только на основе работ по диагностике состояния автомобильных дорог [1].

Одним из важнейших параметров, которые возможно оценить на стадии диагностики является фактический общий модуль упругости дорожной одежды ( $E_f$ ), рассчитываемый исходя из зарегистрированного в полевых условиях фактического упругого прогиба. Информация о значениях о фактическом общем модуле упругости дорожной одежды позволяет рассчитать ее фактический коэффициент прочности  $K_{np} = E_f/E_{mp}$  ( $E_{mp}$  – минимальный требуемый общий модуль упругости дорожной одежды, рассчитываемый на стадии инженерного проекта), и при  $K_{np} < 1$  (в соответствии с ОДМ «Методические рекомендации по ремонту и содержанию автомобильных дорог общего пользования» [2]) назначить усиление конструкции дорожной одежды.

Традиционно в практике Российской Федерации оценка прочности нежестких дорожных одежд выполняется по ОДН 218.1.052-2002 «Оценка прочности нежестких дорожных одежд», регламентирующей процедуру, объемы измерений, а также интерпретацию результатов оценки фактической прочности и методику назначения требуемой. В соответствии с данным документом допускается при проведении испытаний характерных участков автомобильных дорог длиной  $1 < L \leq 3$  км проводить испытания 30 равномерно расположенных точек на 600-метровом отрезке, находящемся в любом месте характерного участка. За характерный принимают участок, отличающийся от соседних хотя бы одним из следующих показателей: конструкцией дорожной одежды, грунтом земляного полотна и типом его поперечного профиля, типом местности по условиям увлажнения, технологией устройства одежды и характеристиками применявшихся при этом материалов, интенсивностью движения, приведенной к интенсивности движения расчетного автомобиля, состоянием покрытия по видам дефектов [3].

Внедрение в практику диагностики автомобильных дорог Российской Федерации современного высокопроизводительного оборудования для оценки прочности нежестких дорожных одежд – установок FWD, позволяют значительно увеличить объемы оценки прочно-

сти дорожных одежд [4-8]. Так при проведении измерений с регистрацией чаши прогибов поверхности нежестких дорожных одежд с шагом в 100 м, производительность данной установки составляет порядка 40 км в смену, что позволяет получать информацию о прочности нежесткой дорожной одежды на всем протяжении участка. Пример результатов регистрации упругого прогиба для эксплуатируемого участка автомобильной дороги протяженностью 10 км на котором планируется проведение капитального ремонта приведен на рисунке 1.

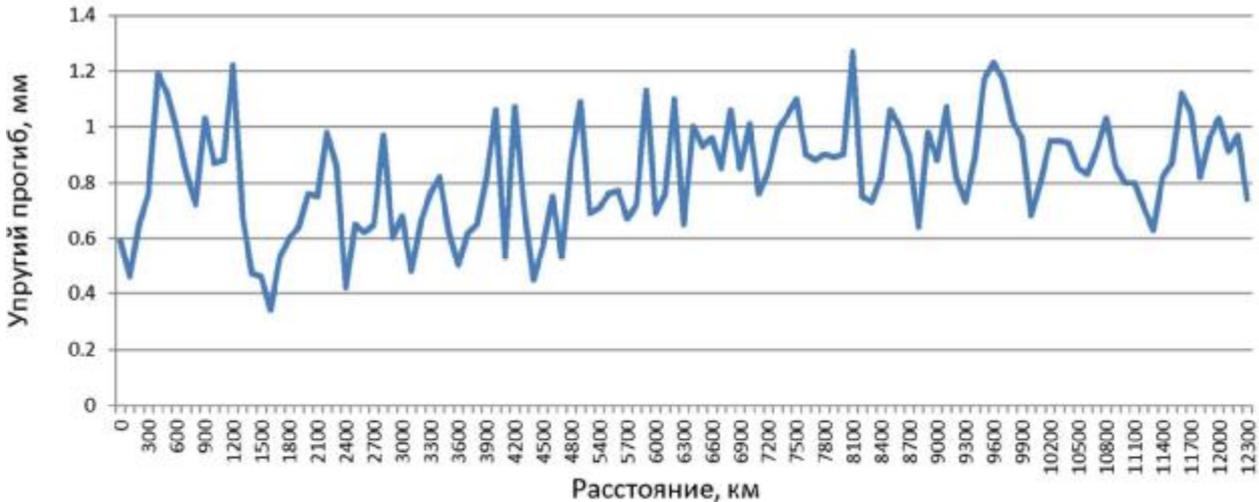


Рисунок 1 – Результаты регистрации упругого прогиба на эксплуатируемом участке автомобильной дороги

**Цель и методика исследования**

Как видно из представленного графика (рисунок 1) упругий прогиб нежесткой дорожной одежды на обследованном участке характеризуется значительной неоднородностью и изменяется в диапазоне от 0.45 мм до 1.3 мм. Этот факт безусловно необходимо учитывать при проработке мероприятий по капитальному ремонту нежесткой дорожной одежды. Таким образом актуальной является задача выделения характерных секций участков автомобильных дорог на основе результатов оценки их прочности, для дифференцированного назначения ремонтных работ на каждой из них.

Эффективным инструментом решения подобной задачи является метод накопленных разностей (method of cumulative differences) [9,10]. Данный метод достаточно прост и основывается на следующих рассуждениях. Пусть на обследованном участке автомобильной дороги зарегистрированы три участка с одинаковыми значениями упругого прогиба  $l$  на каждом из них (рисунок 2). Тогда площадь фигуры ограниченной значениями амплитуд зарегистрированного упругого прогиба может быть рассчитана, как:

$$S = \int_0^{x_1} l_1 dx + \int_{x_1}^{x_2} l_2 dx + \int_{x_2}^{x_3} l_3 dx .$$

Среднее значение  $\bar{l}$  рассчитывается как:

$$\bar{l} = \frac{\int_0^{x_1} l_1 dx + \int_{x_1}^{x_2} l_2 dx + \int_{x_2}^{x_3} l_3 dx}{L} = \frac{S}{L} ,$$

где  $L$  – общая протяженность обследованного участка.

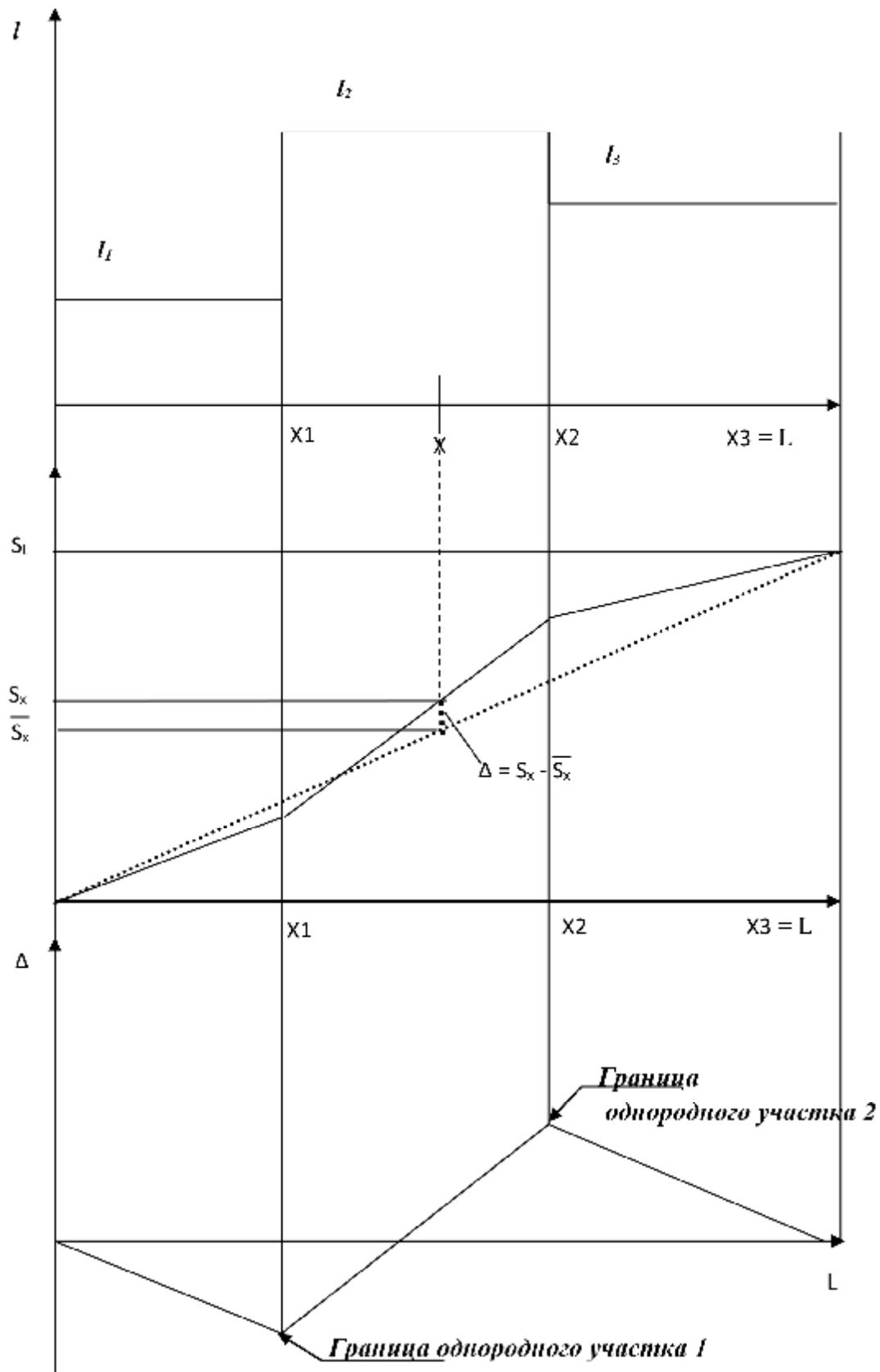


Рисунок 2 – Выделение границ характерных секций на основе метода накопленных разностей

Тогда накопленная область:

$$\bar{S} = \int_0^{x_3} \dot{S} dx = \bar{S}x.$$

А накопленная разность ( $D$ ) между значениями  $S$  и  $\bar{S}$  в точке  $x$  будет определяться как:

$$D = S_x - \bar{S}_x.$$

График изменения переменной  $\Delta$  по протяженности участка приведен на рисунке 2. Границей однородного участка при этом является координата точки экстремума, после которой осуществляется изменение направления графика с восходящего на нисходящее и наоборот.

### Проведение натурных исследований

В соответствии с описанным выше подходом было произведено секционирование трех эксплуатируемых участков автомобильных дорог М-4 «ДОН» и М-1 «Беларусь», на которых осуществлялась диагностика прочности с использованием установки FWD, характеризующихся различной протяженностью и транспортно-эксплуатационным состоянием. Значения упругого прогиба на каждом участке приводились к расчетной температуре  $t = 10^\circ\text{C}$ , в соответствии с методикой ОДН 218.1.052-2002. Результаты первичного выделения характерных секций на этих участках приведены на рисунках 3-5.

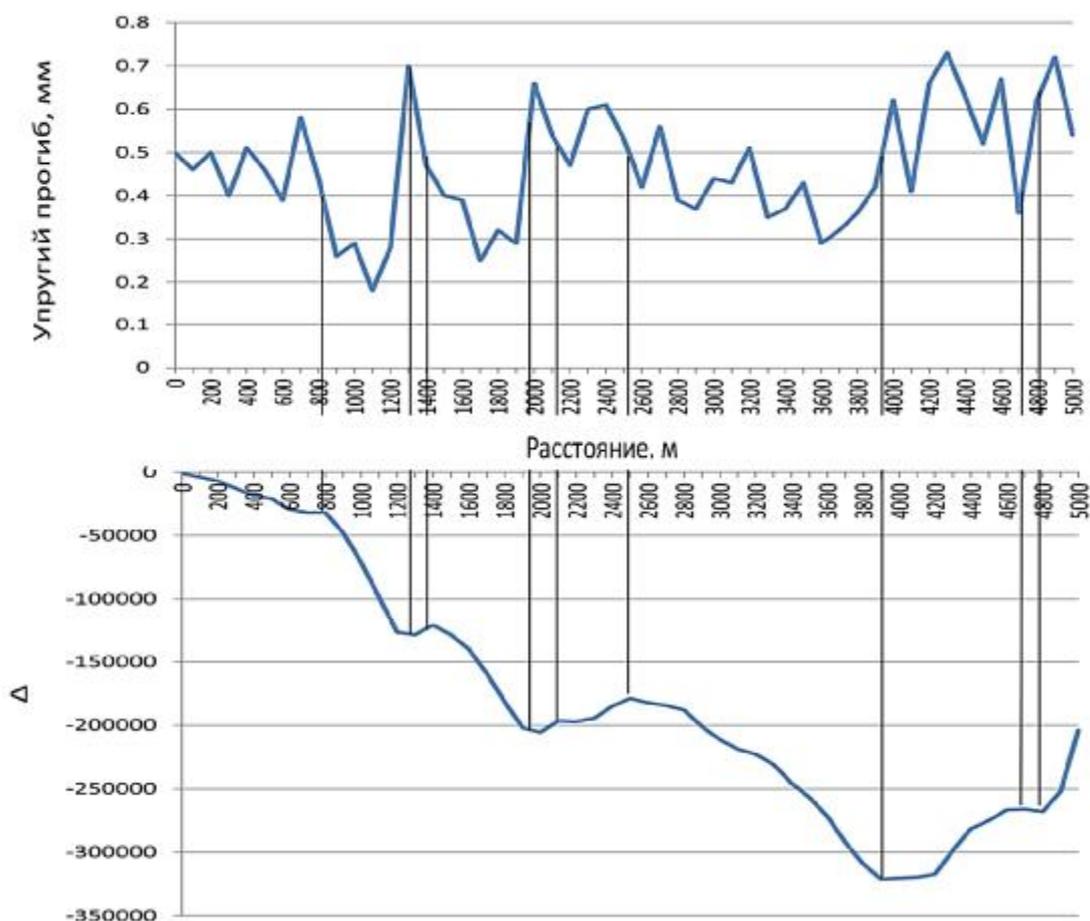


Рисунок 3- Первичное разделение эксплуатируемого участка автомобильной дороги № 1 на характерные секции

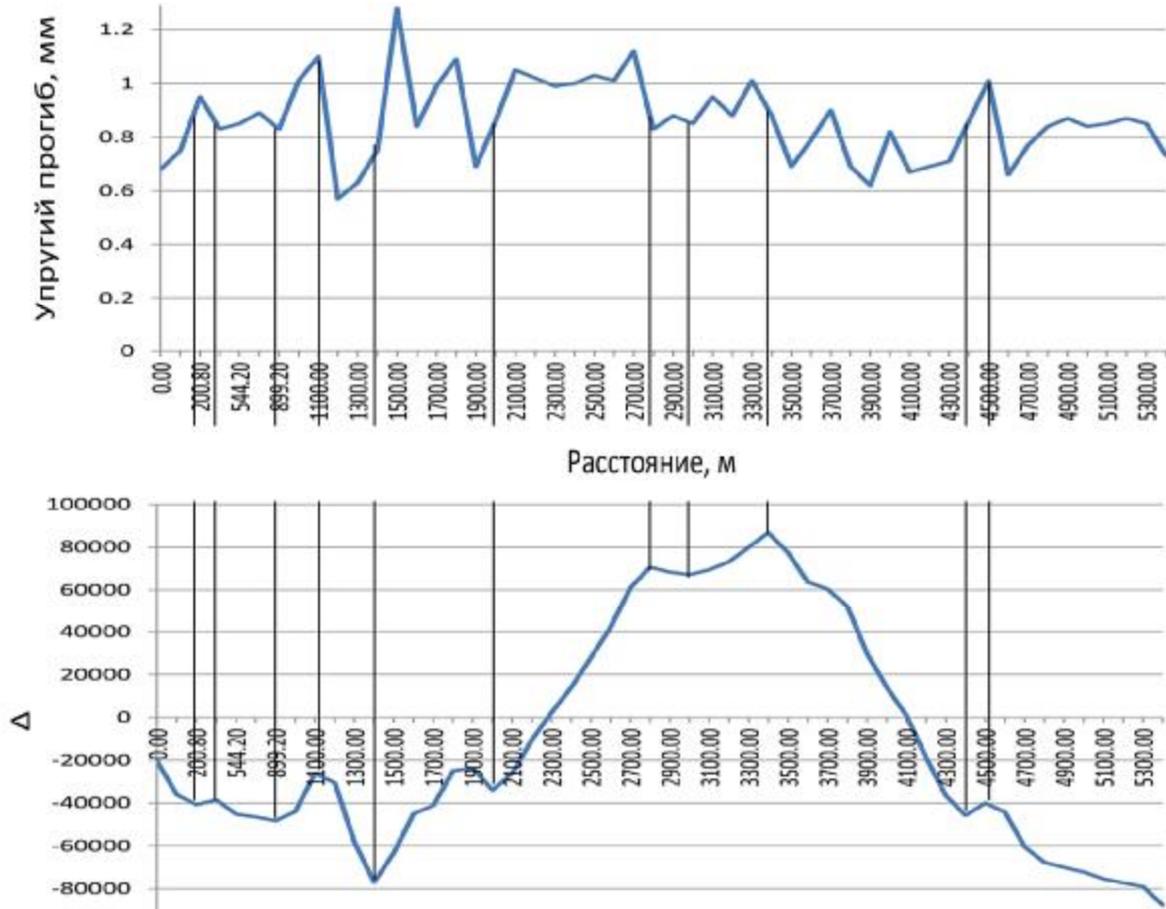


Рисунок 4 – Первичное разделение эксплуатируемого участка автомобильной дороги № 2 на характерные секции

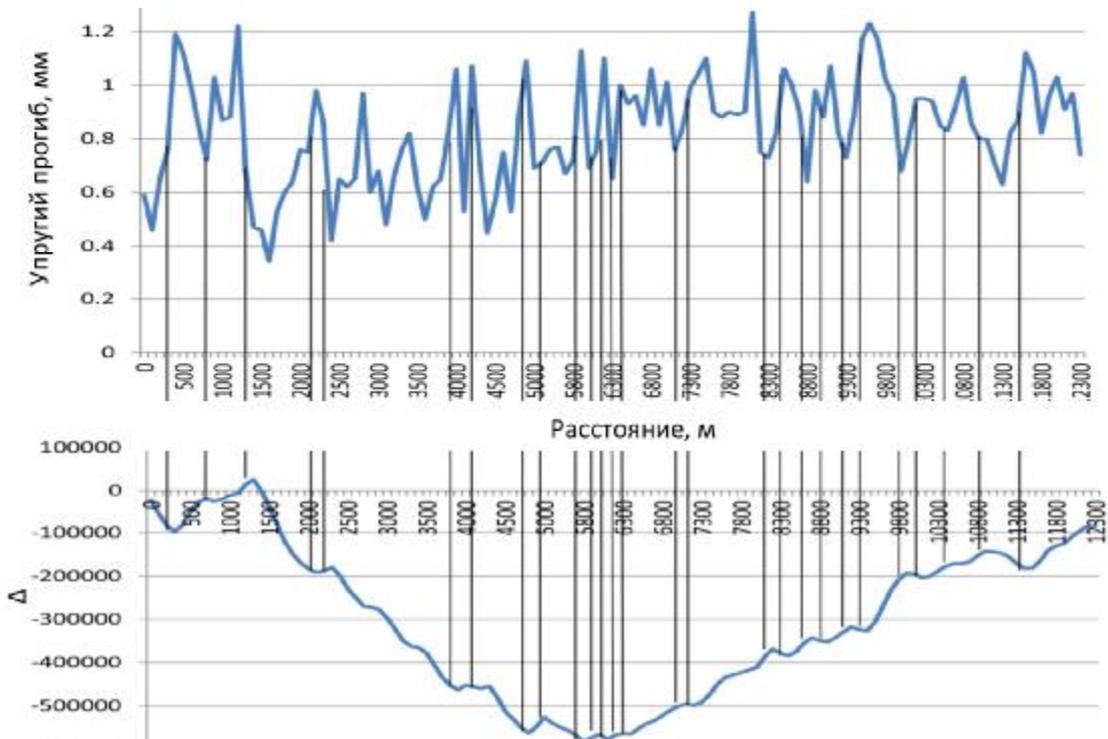


Рисунок 5 – Первичное разделение эксплуатируемого участка автомобильной дороги № 3 на характерные секции

На участке 1 выделено 11 характерных секций, на участках 2 и 3 выделено 11 и 28 характерных секций соответственно. Протяженность секций на участке 1 составляет – от 100 м до 1480 м, на участке 2 – от 100 м до 1 км, на участке 3 от 100 м до 1600 м. Учитывая тот факт, что измерения осуществлялись с шагом 100 метров, выделять в качестве характерных участки длиной менее 500 м не целесообразно. Таким образом в итоге для рассматриваемых участков 1, 2, 3 в качестве характерных выделены следующие участки (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты первичного разделения обследованного участка автомобильной дороги на характерные секции

№ участка	Протяженность характерных секций, м
1	0-800, 800-1300, 1300 – 2000, 2000 – 3800, 3800 - 5000
2	0 – 1100, 1100 – 2000, 2000 – 2800, 2800 – 3400, 3400 – 4400, 4400 - 5400
3	0 -800, 800- 1300, 1300 – 2100, 2100 – 3900, 3900 – 4800, 4800 – 5500, 5500- 7200, 7200 – 8200, 8200 – 8700, 8700 – 9200, 9200 – 9900, 9900 – 10900, 10900 – 11500, 11500 - 12300

На каждой характерной секции был осуществлен расчет среднего значения общего модуля упругости и общего модуля упругости 95% обеспеченности. Эти значения приведены в таблице 2.

Как видно из таблицы 2 на ряде выделенных смежных характерных секций обследованного участка № 3 общие модули упругости и модули упругости 95%-ой обеспеченности различаются менее чем на 10 %. Используем разность в 10 % между средним значением общего модуля упругости и общего модуля упругости 95%-ой обеспеченности на смежных секциях в качестве дополнительного критерия объединения в характерные секции. Таким образом окончательно график характерных секций для участка № 3 будет иметь следующий вид (рисунок 6).

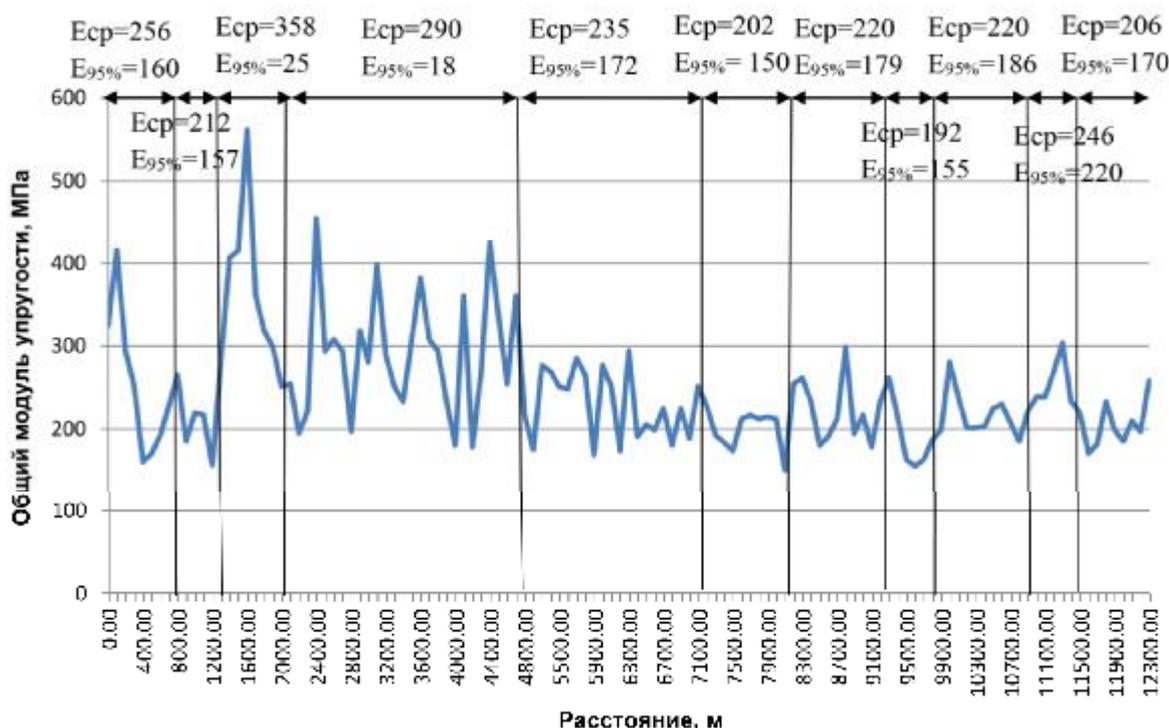


Рисунок 6 – Итоговое разделение эксплуатируемого участка автомобильной дороги № 3 на характерные секции

Таблица 2 – Значения общего модуля упругости и общего модуля упругости 95%-ой обеспеченности на обследованных эксплуатируемых участках.

Границы характерный секций, м	Общий модуль упругости дорожной одежды, МПа	Общий модуль упругости дорожной одежды 95 %-ой обеспеченности, МПа
Участок 1		
0-800	411	329
800-1300	641	273
1300 – 2000	495	290
2000 – 3800	442	313
3800 - 5000	364	261
Участок 2		
0-1100	222	189
1100-2000	237	149
2000 - 2800	191	170
2800 - 3400	231	189
3400 - 4400	260	212
4400 - 5400	233	189
Участок 3		
0 - 800	256	160
800 - 1300	212	157
1300 - 2100	358	251
2100 - 3900	292	195
3900 - 4800	287	179
4800 - 5500	243	175
5500 - 7200	227	169
7200 - 8200	202	150
8200 - 8700	216	180
8700 – 9200	224	178
9200 - 9900	192	155
9900 - 10900	220	186
10900 - 11500	246	220
11500 - 12300	206	170

### **Выводы**

В ходе проведенных исследований сформулирован подход к выделению границ характерных участков эксплуатируемых автомобильных дорог на основе оценки их прочности с использованием установки динамического нагружения, при этом в качестве дополнительного критерия для объединения смежных участков в характерные секции применяется разность между значениями среднего общего модуля упругости и общего модуля упругости 95 %-ой обеспеченности между смежными характерными секциями.

Предлагаемый подход к определению характерных секций предлагается использовать на стадии разработки проекта капитального ремонта или реконструкции нежестких дорожных одежд, после проведения на них оценки прочности с использованием установки ударного нагружения. Его экономический эффект напрямую связан с оптимизацией толщины слоев усиления нежестких дорожных конструкций в зависимости от фактического состояния участка автомобильной дороги, т.е. назначении меньшей толщины слоев усиления на участках с большей несущей способностью, и соответственно назначении большей толщины слоев усиления на участках с меньшей несущей способностью. Перспективы развития данного подхода напрямую связаны с вопросами управления состоянием автомобильных дорог, и рационализации стратегии ремонтно-восстановительных работ на сети автомобильных дорог Российской Федерации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочная энциклопедия дорожника. II том. Ремонт и содержание автомобильных дорог [Текст] / А.П. Васильев, В.К. Апестин, М.С. Коганзон, Ю.М. Яковлев и др.; под ред. Васильева А.П. – Информавтор, 2004. 870 с.
2. Отраслевой дорожный методический документ "Методические рекомендации по ремонту и содержанию автомобильных дорог общего пользования" от 17 марта 2004 года № ОС-28/1270. – М., 2004 г. – 94 с.
3. Отраслевые дорожные нормы "Оценка прочности нежестких дорожных одежд" от 19 ноября 2002 года № ОС-1040-р // Российская газета. – 2002 г. – 33 с.
4. Углова, Е.В. Исследование однородности и прочности нежесткой дорожной конструкции с использованием установки динамического нагружения FWD [Текст] / Е.В. Углова, А.Н. Тиратурян // Дороги и мосты. – 2015. – №33 – С. 163-173.
5. Углова, Е.В. Оценка прочности нежестких дорожных одежд [Текст] / Е.В. Углова, А.Н. Тиратурян // Дорожная держава. – 2014. – №57. – С.42-45.
6. Henderson G Long term pavement performance program manual for Falling Weight Deflectometer Measurements. Washington: Department of Transportation, Federal Highway Administration, 2006. 98 p.
7. Horak, E. Falling weight deflectometer bowl parameters as analysis tool for pavement structural evaluations / E. Horak— Pretoria: University of Pretoria, 2006. — 16 p.
8. Hurtgen, H. Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik.Zum viskoelastischen und viskoplastischem Verhalten von Asphalt. / H. Hurtgen. – Heft 361 — 1982.
9. 1993 AASHTO Flexible Pavement Structural Design /American association of State Highway and transportation officials. – 1993. – 624 p.
10. Fridtjof T. Generating homogeneous road sections based on surface measurements. – Berlin, 2004. – 16 p.

### А.Н. Тиратурян

Ростовский государственный строительный университет, г. Ростов-на-Дону.

Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Автомобильные дороги».

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

---

A. TIRATURYAN

## SECTIONING CHARACTERISTIC SITES OF HIGHWAYS BASED ON EVALUATION THEIR STRENGTH

*The introduction of the national practice of modern high-performance equipment to evaluation the strength of the exploited flexible pavements allows to obtain significant amounts of information about the elastic deflections of the entire length of the surveyed area. Using the method of the cumulative differences (method of cumulative differences) is an example of the separation of the exploited section of the road in the characteristic section. Thus as an additional criterion considered the difference between the average values of the elastic modulus and the elastic modulus 95% typical security between adjacent sections. The use of this approach will allow a differentiated approach to the appointment of the layer thicknesses strength road pavements in areas overhaul.*

**Keywords:** flexible pavements, elastic deflections, falling weight deflectometer, elastic modulus

## BIBLIOGRAPHY

1. Spravochnaya entsiklopediya dorozhnika. II tom. Remont i sodержaniye avtomobil'nykh dorog [Tekst] / A.P. Vasil'yev, V.K. Apestin, M.S. Koganzon, YU.M. Yakovlev i dr.; pod red. Vasil'yeva A.P. – Informavtor, 2004. 870 с.
2. Otrasleyoy dorozhnyy metodicheskiy dokument "Metodicheskiye rekomendatsii po remontu i sodержaniyu avtomobil'nykh dorog obshchego pol'zovaniya" ot 17 marta 2004 goda № OS-28/1270. – M., 2004 g. – 94 с.

3. Otrasleyvyye dorozhnyye normy "Otsenka prochnosti nezhestkikh dorozhnykh odezhd" ot 19 noyabrya 2002 goda № OS-1040-r // Rossiyskaya gazeta. – 2002 g. – 33 s.
4. Uglova, Ye.V. Issledovaniye odnorodnosti i prochnosti nezhestkoy dorozhnoy konstruktсии s ispol'zovaniyem ustanovki dinamicheskogo nagruzheniya FWD [Tekst] / Ye.V. Uglova, A.N. Tiraturyan // Dorogi i mosty. – 2015. – №33 – С. 163-173.
5. Uglova, Ye.V. Otsenka prochnosti nezhestkikh dorozhnykh odezhd [Tekst] / Ye.V. Uglova, A.N. Tiraturyan // Dorozhnaya derzhava. – 2014. – №57. – С.42-45.
6. Henderson G Long term pavement performance program manual for Falling Weight Deflectometer Measurements. Washington: Department of Transportation, Federal Highway Administration, 2006. 98 p.
7. Horak, E. Falling weight deflectometer bowl parameters as analysis tool for pavement structural evaluations / E. Horak— Pretoria: University of Pretoria, 2006. — 16 p.
8. Hurtgen, H. Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik.Zum viskoelastischen und viskoplastischem Verhalten von Asphalt. / H. Hurtgen. – Heft 361 — 1982.
9. 1993 AASHTO Flexible Pavement Structural Design /American association of State Highway and transportation officials. – 1993. – 624 p.
10. Fridtjof T. Generating homogeneous road sections based on surface measurements. – Berlin, 2004. – 16 p.

**A. Tiraturyan**

Rostov state building university, Rostov upon Don.

Candidate of technical sciences, senior lecturer of the road department.

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

УДК 654.172

АВЕРЧЕНКОВ А.В., ФИСУН А.П.

### **МОДЕЛЬ МНОГОУРОВНЕВОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПЕРСОНАЛА В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ**

*В статье представлена модель многоуровневой идентификации персонала в системе контроля и управления доступом на предприятиях строительной индустрии с использованием технологии формирования и обработки гетерогенного потока, содержащего данные о присвоенных, голосовых и биометрических признаках персонала, а также обработки информации с источников видеонаблюдения. Отличительной особенностью модели являются множество состояний точек доступа, операторов переходов и выходов, направленных на формирование сигнала управления по результатам оценки агрегированного потока данных несущего различные идентификационные признаки персонала.*

**Ключевые слова:** модель, контроль и управление доступом, гетерогенный поток данных, биометрический идентификационный признак, присвоенный идентификационный признак.

Проблемам контроля доступа персонала на объекты строительной индустрии в последнее время уделяется особое внимание. Это связано с активизацией диверсионно-террористической деятельности различных экстремистских групп, развитием промышленного шпионажа, стремительным ростом преступности, «грязной» работой конкурентов. Изначально оборудование систем контроля и управления доступом (СКУД) персонала создавалось для охраны режимных объектов военного и специального назначения. Прагматическая составляющая использования СКУД открывает новые горизонты в сфере автоматизированного контроля и управления предприятием, активно внедряя их в широкий рынок охранных систем. При этом современное оборудование СКУД удачно вписалось в существующие системы учета рабочего времени персонала на предприятиях строительной индустрии, в организациях, на фирмах и в различных учреждениях. Следовательно, актуальными становятся задачи проектирования автоматизированных систем контроля и управления доступом.

При проектировании систем контроля и управления доступом будем акцентировать внимание на следующих характеристиках:

- стоимость;
- надежность функционирования;
- устойчивость к злонамеренным действиям;
- оперативность срабатывания блокирующих устройств;
- время регистрации пользователя;
- емкость памяти;
- вероятность ошибочного отклонения законного пользователя (ошибки 1-го рода);
- вероятность несанкционированного доступа (ошибка 2-го рода).

Оценка применимости известных технологий в СКУД на предприятиях строительной индустрии позволила выявить зависимость уровня санкционированного доступа персонала от учета различных идентификационных признаков. При этом различают присвоенные идентификационные признаки (код, электронный ключ, пластиковая карта, радиочастотная метка и т. п.), голосовые и биометрические (отпечатки пальцев, рисунок сетчатки глаза, геометрия ладони и лица и т. п.).



*Рисунок 1 – Система контроля и управления доступом реагирующая на присвоенный идентификационный признак*

При применении в СКУД технологий учитывающих только присвоенные идентификационные признаки вероятности ошибочного отклонения законного пользователя и несанкционированного доступа велики в случаях потери, кражи, копировании или передачи стороннему лицу кода, электронного ключа, пластиковой карты и т. п. Система контроля и управления доступом реагирующая на присвоенный идентификационный признак представлена на рисунке 1.

К традиционным способам распознавания персонала является использование в СКУД технологий голосовой идентификации. Голосовая идентификация бесконтактна и реализована на основе частотного анализа речи. В таких системах достоверность распознавания персонала довольно низкая. Измеряемыми характеристиками, по которым производится сравнение, являются резонансные частоты речевого аппарата персонала, период высоты тона и пр.

Использование биометрических идентификационных признаков исключает недостатки присвоенных, но могут возникнуть ошибки, связанные с вероятностным характером принятия решения по полученной информации о персонале. В данных СКУД биометрические признаки разделим на две основные группы:

- генетические и физиологические параметры (геометрия ладони, отпечаток пальца, рельеф лица, рисунок радужной оболочки или сетчатки глаза);
- индивидуальные поведенческие и психофизиологические особенности, присущие каждому человеку (почерк, речь, моторика, динамическая индивидуальность, связанная с физической формой труда и пр.).

В современных системах контроля и управления доступом персонала широко применяются дактилоскопические устройства, реализующие метод идентификации по отпечатку пальца. Данная идентификация вобрала в себя все лучшее, что присуще биометрии в целом. По отпечатку пальца идентифицируется конкретный персонал, а не жетон или карта. В основе такой идентификации лежит уникальность рисунка папиллярных линий на пальце и ладони. Для идентификации по отпечатку пальца персонал прикладывает свой палец к сканнеру. Процедура верификации пальца руки осуществляется с помощью инфракрасной

подсветки и регистрации данных специальной ССD-телекамерой. Отпечаток пальца за доли секунды сравнивается с отпечатком пальца из базы данных.

По степени распространенности и популярности второй выступает биометрическая технология по геометрии лица. Главным преимуществом биометрии по лицу является бесконтактный способ получения идентификационных сведений о персонале. В процессе идентификации биометрическая система обрабатывает наиболее характерные особенности и участки лица: форма головы, расстояние между глазами, контуры губ, носа, бровей и др. Основываясь на этих сведениях, формируются цифровые модели идентификаторов, которые потом между собой сравниваются.

Биометрическая идентификация по форме кисти рук предусматривает сравнение профиля руки человека с полученным ранее образцом. Основные данные для сравнения: ширина и толщина пальцев, размер и длина ладони. В процессе идентификации персонал прикладывает руки к панели считывающего устройства, подсвечивающего ладонь инфракрасной ССD-телекамерой. Благодаря боковым зеркалам в обзор телекамеры поступает информация, позволяющая СКУД анализировать толщину и габариты кисти руки. Полученная информация сравнивается с образцом. Данный подход не получил широкого распространения в СКУД, так как систему легко обмануть с помощью муляжей.

Биометрическая идентификация по радужной оболочке глаза является уникальной для каждого человека характеристикой. Она формируется в первые полтора года жизни и остаётся практически без изменений до самой смерти. Методы идентификации личности по радужной оболочке построены по одному и тому же принципу – «фотографирование» с помощью камеры радужной оболочки человека и выделение частотной или какой-либо другой информации о текстуре радужки из изображения и сохранение этой информации в виде специального кода.

Биометрические сканеры кисти руки и радужной оболочки глаза представлены на рисунке 2.



*Рисунок 2 – Биометрические сканеры: а) кисти руки; б) радужной оболочки глаза*

В представленных системах контроля и управления доступом производится сличение заранее занесенного в память признака с вводимым биометрическим признаком персонала. Биометрические считыватели являются современными высокоточными, но дорогостоящими устройствами идентификации и чаще всего используются на объектах с повышенными требованиями по доступу персонала в контролируемую зону.

В СКУД с биометрической идентификацией существует возможность регулирования порога чувствительности, позволяя гибко ее настраивать в соответствии с требованиями по безопасности. При настройке СКУД следует учитывать, что увеличение чувствительности системы (и, как следствие, снижение вероятности ложного доступа) одновременно сопровождается увеличением времени идентификации и повышением вероятности ложного отказа. Следовательно, требуется найти рациональное решение по проектированию СКУД,

удовлетворяющее современным требованиям по автоматизированному доступу персонала, учитывая категорию объекта и выше перечисленные характеристики.

Учесть индивидуальные поведенческие и психофизиологические особенности, присущие каждому человеку, позволяет использование в СКУД систем видеонаблюдения.

Необходимо отметить растущую тенденцию к интеграции в устройствах СКУД биометрических и других технологий идентификации. Такая интеграция обеспечивает верификацию персонала, за счет чего существенно уменьшается ошибка принятия решения о его доступе.

Учесть угрозы и современные требования, предъявляемые к системам охраны, рационально распределив материальные средства, позволяет новый подход проектирования СКУД с многоуровневой идентификацией.

В данных системах контроль и управление доступом можно рассматривать как процесс:

- сбора информации, по результатам наблюдений состояний точек доступа (ТД);
- формирования сигнала управления на исполнительные устройства (ИУ);
- ограничения или санкционированного доступа персонала через управляемые преграждающие устройства (УПУ).

В ТД происходят следующие итерации:

- считывание идентификационного признака персонала (П) (присвоенного, голосового или биометрического);
- видеонаблюдение (ВН) персонала;
- по сформированному сигналу управления срабатывание блокирующих устройств (БУ) и УПУ.

Статус персонала определяется наличием или отсутствием у него права доступа. Активация блокирующих устройств находится в компетенции лица принимающего решение о допуске персонала или может осуществляться автоматически в случае изменения идентификационного признака.

К УПУ в СКУД относятся устройства, обеспечивающие физическое препятствие допуска персонала.

Одной из основных задач СКУД является выработка, по результатам наблюдений  $Y$  состояний  $S_{ТД}$  ТД, необходимых воздействий  $X$  [4, 5] на УПУ и блокирующие устройства, с целью ограничения или санкционирования доступа персонала через УПУ.

Для описания задачи контроля используем математическую модель Дмитриева А. К. Формально данную задачу можно представить в виде отображений  $F_1$  и  $F_2$ :

$$F_1 : T \times X \times S_{ТД} \rightarrow S_{ТД}; \tag{1}$$

$$F_2 : T \times X \times S_{ТД} \rightarrow Y, \tag{2}$$

- где
- $T$  – множество моментов времени, в которые наблюдается ТД;
  - $X$  – множество входных сигналов (воздействий) на элементы ТД;
  - $Y$  – множество выходных сигналов (реакций) ТД;
  - $S_{ТД}$  – множество состояний ТД.

Решение данной задачи можно свести к нахождению операторов перехода  $F_1$  и выхода  $F_2$ , определяющих необходимое состояние точек доступа  $S_{ТД}$ , обеспечивающих требуемое качество контроля и управления доступом персонала.

Входные воздействия  $\hat{x} \in X$  представляют собой вектор  $\mathbf{\hat{x}} = (x_{УПУ}, x_{БУ})^T$ , элементами которого являются воздействия на УПУ  $x_{УПУ}$  и БУ  $x_{БУ}$ .

Реакция точки доступа  $\hat{y} \in Y$  описывается вектором  $\mathbf{r} = (y_{\Pi}, y_{УПУ}, y_{ВН}, y_{БУ})^T$ , элементами которого являются величины  $y_{\Pi}$ ,  $y_{УПУ}$ ,  $y_{ВН}$ ,  $y_{БУ}$ , характеризующие состояния персонала  $s_{\Pi}$ , управляемых преграждающих устройств  $s_{УПУ}$ , видеонаблюдения  $s_{ВН}$  и блокирующих устройств  $s_{БУ}$ .

Поскольку СКУД является организационно-технической системой, то ее модель включает следующие основные элементы, представленные на рисунке 3:

- точки доступа;
- субъект управления (аппаратно-программный комплекс и лицо принимающее решение);
- сеть передачи данных (СПД), обеспечивающую передачу данных от ТД к субъекту управления (СУ);
- база данных (БД) для хранения информации об идентификационных признаках персонала и состояний ТД.

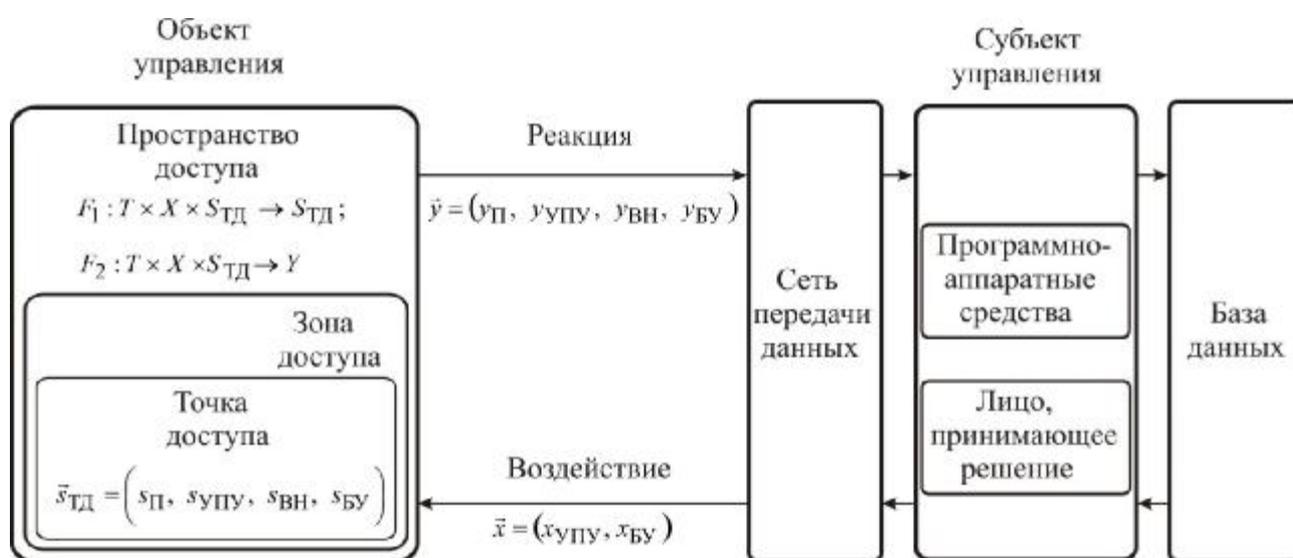


Рисунок 3 – Модель многоуровневой идентификации персонала в системе контроля и управления доступом

Каждое состояние точки доступа  $\mathbf{s}_{ТД} = \begin{pmatrix} s_{\Pi} \\ s_{УПУ} \\ s_{ВН} \\ s_{БУ} \end{pmatrix} \in S_{ТД}$  характеризуется в произвольный момент времени  $t \in T$  набором переменных  $s_{\Pi}, s_{УПУ}, s_{ВН}, s_{БУ}$ . Состояния  $s_{УПУ}$  и  $s_{БУ}$  изменяются под воздействием сформированного лицом принимающего решение о допуске персонала сигнала управления  $\mathbf{x} = \begin{pmatrix} x_{УПУ} \\ x_{БУ} \end{pmatrix} \in X$  или автоматически в случае расхождения идентификационного признака с базой данных.

Состояния ТД, характеризующие санкционированный или несанкционированный доступ персонала в фиксированный момент времени  $t$ , в определенной зоне доступа (ЗД), выражаются следующими множествами:

$$S_{ЗД_n}(t) = \left\{ \mathbf{s}_{ТД_m}^n(t) / m = \overline{1, M} \right\} - \text{множество состояний ТД } S_{ТД_m}^n \text{ в } n\text{-ой ЗД};$$

$$S_{ТД_m}^n(t) = \left\{ \mathbf{s}_i^{n,m}(t) / i = \overline{1, I} \right\} - \text{множество состояний } \mathbf{s}_i^{n,m} \text{ } m\text{-ой ТД в } n\text{-ой ЗД},$$

где  $\mathbf{r}_i^{n,m}$  –  $i$ -ое состояние  $m$ -ой ТД в  $n$ -ой ЗД.

Устройства управления (УУ) обеспечивают прием и обработку информации от ТД, в частности от устройств ввода идентификационных признаков, камер видеонаблюдения и т. д., а также управление ИУ, отображение и регистрацию информации о пользователе.

Воздействие на объект управления  $\mathbf{x} = \begin{pmatrix} \mathbf{x}_{УПУ} \\ \mathbf{x}_{БУ} \end{pmatrix}$  формируется не только в результате оценки состояний  $s_{П}$ ,  $s_{УПУ}$ ,  $s_{ВН}$ ,  $s_{БУ}$  и сличения идентификационных признаков персонала с базой данных, но и в результате обработки видеопотока. При срабатывании устройства ввода идентификационного признака в момент времени  $t \in T$  определяется состояние системы видеонаблюдения  $S_{ВН_m}^n(t)$ , в частности, осуществляется обработка изображения кадра декодированного видеопотока  $K_{ВП_{k,m}}^n(t)$  с  $k$ -ой камеры, несущего фотографические данные о персонале в момент времени  $t \in T$ , где  $S_{ВН_m}^n(t) = \bigcup_{k=1, \dots, K} \mathbf{r}_k^{n,m}(t) / K$  – множество состояний  $\mathbf{r}_k^{n,m}$   $m$ -ой ТД в  $n$ -ой ЗД%;  $\mathbf{r}_k^{n,m}(t)$  –  $k$ -ое состояние (изображение кадра видеопотока с  $k$ -ой камеры в момент времени  $t \in T$ )  $m$ -ой ТД в  $n$ -ой ЗД.

Схема многоуровневой идентификации персонала в системе контроля и управления доступом на предприятиях строительной индустрии приведена на рисунке 4.

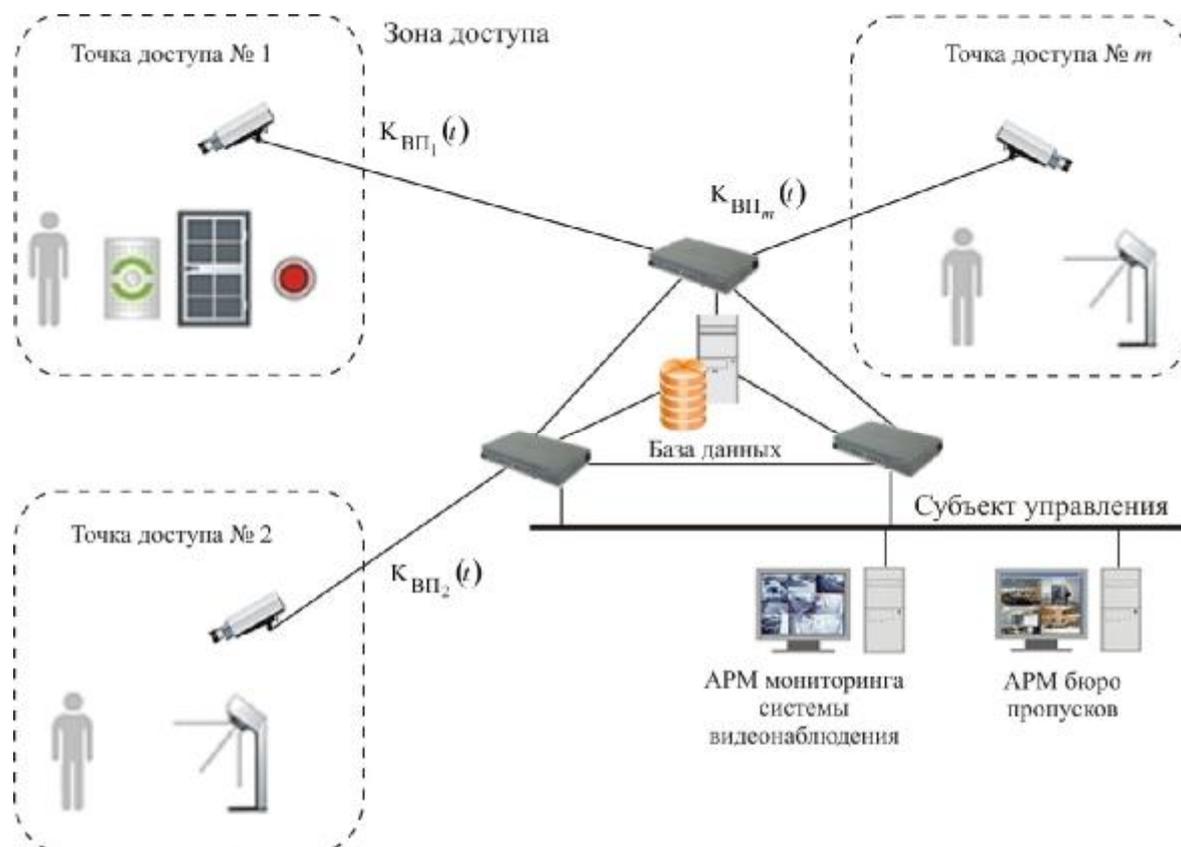


Рисунок 4 – Многоуровневая идентификация персонала в системе контроля и управления доступом

## Выводы

Разработанная модель многоуровневой идентификации персонала в системе контроля и управления доступом на предприятиях строительной индустрии, использующая технологии формирования и обработки гетерогенного потока, содержащего данные о присвоенных, голосовых и биометрических признаках персонала, а также обработку информации с источников видеонаблюдения, позволит снизить риск несанкционированного доступа в контролируемую зону. Отличительной особенностью модели являются множество состояний точек доступа, операторов переходов и выходов, направленных на формирование сигнала управления по результатам оценки агрегированного потока данных несущего различные идентификационные признаки персонала.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51241-2008 Средства и системы контроля и управления доступом. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний. [Текст] – М.: Стандартинформ, 2009. – 28 с.
2. Орешин, А.Н. Разработка стратегии определения видеовставок в мультимедийном потоке информации процесса мониторинга функционирования станков с дистанционным числовым программным управлением [Текст] / А.Н. Орешин, Н.В. Романов, И.Ю. Лысанов / Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2013. – №4. – С. 37.
3. Юсупов, Р.М. Элементы теории испытаний и контроля технических систем [Текст] / Р.М. Юсупов. – Л.: Энергия, 1978. – 220 с.
4. Орешин, Н.А. Имитационная модель процессов формирования мультимедийного потока и идентификации кадров-вставок. [Текст] / И.Ю. Лысанов, Н.А. Орешин, А.Н. Орешин, Д.А. Новиков // Современные материалы, техника и технология: материалы 4-й Международной научно-практической конференции (25-26 декабря 2014 года); отв. ред. А.А. Горохов. – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т., ЗАО «Университетская книга», 2014. – С. 327.
5. Ворона, В.А. Системы контроля и управления доступом [Текст] / В.А. Ворона, В.А. Тихонов – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 272 с.
6. Дмитриев, А.К. Основы теории построения и контроля сложных технических систем [Текст] / А.К. Дмитриев, П.А. Мальцев Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отд-ние, 1988. – 192 с.

### А.В. Аверченков

Брянский государственный технический университет, г. Брянск  
Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Компьютерные технологии и системы»  
E-mail: [mahar@mail.ru](mailto:mahar@mail.ru)

### А.П. Фисун

Приокский государственный университет, г. Орёл  
Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность»  
E-mail: [fisun11@yandex.ru](mailto:fisun11@yandex.ru)

---

A. AVERCHENKOV, A. FISUN

## MODEL MULTI-LEVEL IDENTIFICATION OF PERSONNEL IN THE ACCESS CONTROL SYSTEM AT CONSTRUCTION INDUSTRY ENTERPRISES

*In the article the model of multilevel identification of personnel is presented in the checking and management system by access on the enterprises of building industry with the use of technology of forming and treatment of heterogeneous stream, containing data about the signs of personnel appropriated, vocal and biometric, and also treatment of information, from the sources of video supervision. The distinctive feature of model it is been great number of the states of access points, operators of the transitions and exits, sent to forming of signal of management on results the estimation of the aggregated stream of data of bearing different identification signs personnel.*

**Keywords:** *model, control and management by access, heterogeneous stream, biometric identification sign, appropriated identification sign.*

## BIBLIOGRAPHY

1. GOST R 51241-2008 Sredstva i sistemy kontrolya i upravleniya dostupom. Klassifikatsiya. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya. Metody ispytaniy. [Tekst] – M.: Standartinform, 2009. – 28 s.
2. Oreshin, A.N. Razrabotka strategii opredeleniya videovstavok v mul'timediynom potoke informatsii protsessa monitoringa funktsionirovaniya stankov s distantsionnym chislovyim programmnyim upravleniyem [Tekst] / A.N. Oreshin, N.V. Romanov, I.YU. Lysanov / Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2013. – №4 . – S. 37.
3. Yusupov, R.M. Elementy teorii ispytaniy i kontrolya tekhnicheskikh sistem [Tekst] / R.M. Yusupov. – L.: Energiya, 1978. – 220 s.
4. Oreshin, N.A. Imitatsionnaya model' protsessov formirovaniya mul'timediynogo potoka i identifikatsii kadrov-vstavok. [Tekst] / I.YU. Lysanov, N.A. Oreshin, A.N. Oreshin, D.A. Novikov // Sovremennyye materialy, tekhnika i tekhnologiya: materialy 4-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (25-26 dekabrya 2014 goda); otv. red. A.A. Gorokhov. – Kursk: Yugo-Zap. gos. un-t., ZAO «Universitetskaya kniga», 2014. – S. 327.
5. Vorona, V.A. Sistemy kontrolya i upravleniya dostupom [Tekst] / V.A. Vorona, V.A. Tikhonov – M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2010. – 272 s.
6. Dmitriyev, A.K. Osnovy teorii postroyeniya i kontrolya slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Tekst] / A.K. Dmitriyev, P.A. Mal'tsev L.: Energoatomizdat. Leningr. Otd-niye, 1988. – 192 s.

### **A. Averchenkov**

Bryansk State Technical University, Bryansk

Doctor of technical sciences, associate professor, professor of department «Computer Technologies and Systems»

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

### **A. Fisun**

Prioksky State University, Orel

Doctor of technical sciences, professor, professor of department «Electronics, computer science and information security»

E-mail: [fisun11@yandex.ru](mailto:fisun11@yandex.ru)

ЛЫСАНОВ И.Ю.

## МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ КАДРОВ-ВСТАВОК В МУЛЬТИМЕДИЙНОМ ПОТОКЕ ВИДЕОДАНЫХ ДЛЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

*В статье представлена методика идентификации кадров-вставок в мультимедийном потоке видеоданных, базирующаяся на оценке интегральной яркости изображений кадров-сверток, корреляционном анализе гистограмм и сравнении коэффициентов полиномов, аппроксимирующих гистограммы изображений кадров, отличающаяся использованием динамического порога при идентификации кадров и принятия решения об их классе на основе мажоритарного способа обработки данных, позволяющая повысить качество визуальной идентификации субъекта в системе контроля и управления доступом на предприятиях строительной индустрии.*

**Ключевые слова:** видеопоток, кадр-вставка, интенсивность пикселя, яркость изображения кадра.

### Введение

Актуальность исследования вопросов идентификации субъекта доступа (СД) в системах контроля и управления доступом (СКУД) на предприятиях строительной индустрии и жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) обусловлена их значимостью и связанных с ними реформами о которых говорят на всех уровнях управления экономикой нашей страны. Значимость определяется решением широкого круга вопросов как в технической, политической, социально-демографической, экологической, информационно-правовой сферах деятельности, так и обеспеченностью охраны объектов, безопасностью и контролем доступа персонала. Решение важных задач [2] по организации патрулирования территории объекта и предотвращению попыток несанкционированного проникновения; круглосуточной охране помещений, организации пропускного режима и разграничению доступа; визуальному и техническому контролю за персоналом и транспортом на территории объекта; обеспечению безопасности персонала; выезду групп быстрого реагирования на экстренный вызов, возлагается на подразделения и службы обеспечения охраны объектов, безопасности и контроля доступа персонала, входящие в структуру автоматизированных систем управления предприятием (АСУП) строительной индустрии и жилищно-коммунального хозяйства. Возможность интеграции видеосистем в АСУП с программными продуктами обеспечивает комплексное, а не сегментированное решение задач автоматизированных СКУД.

Ключевым звеном, определяющим качество контроля всех объектов и оперативность реагирования на аварии, нарушение порядка и криминальные ситуации, является оператор с современными средствами технической поддержки принятых решения, реализующие функции идентификации и аутентификации СД; отображения фотографических данных СД оператору; сбора, хранения, обработки и визуальной идентификации СД [2, 8].

Возросшие требования к безопасности объектов контроля, их увеличение и, как следствие, рост количества точек доступа (ТД) в автоматизированных системах контроля и управления доступом, предполагают затруднительным обслуживание в реальном формате времени массивных гетерогенных информационных потоков, как техническими средствами, так и при визуальной идентификации СД оператором [8]. Агрегированные информационные потоки систем видеонаблюдения в СКУД не соизмеримы с психофизиологическими возможностями

оператора, поэтому актуальным является решение задач автоматизации идентификации персонала.

Известные разработки СКУД компаний Parsec (РФ), PERCo (РФ), Gate (РФ), Bosch Security Systems (Германия), Anviz Biometric Inc (США), APOLLO (США), Honeywell (США) и SYNEL (Израиль) не позволяют обеспечить решение вопросов визуальной идентификации субъекта доступа оператором уже при количестве точек доступа, большим 8–12. В частности, научно-исследовательским подразделением Police Scientific Development Branch было установлено [9], что точность обнаружения человека оператором по существенным признакам при наблюдении за изображением на одном мониторе составляет 85%, четырех мониторах – 74%, а для шести и девяти – соответственно 58% и 53%.

Известный методический материал отечественных и зарубежных ученых не касается вопросов централизованного управления доступом на предприятия строительной индустрии и ЖКХ по результатам идентификации и аутентификации СД с фотографических данных, а в большей степени затрагивает структуру системы видеонаблюдения совместно с техническими или биометрическими идентификаторами на локальных участках ТД. Поэтому исследование вопросов идентификации персонала на предприятия строительной индустрии и ЖКХ научно необходимо и технически целесообразно.

#### **Методика идентификации кадров-вставок в мультимедийном потоке видеоданных**

Повысить качество визуальной идентификации субъекта в СКУД АСУП строительной индустрии возможно при разработке модели контроля и управления доступом, адекватно описывающей процесс формирования и обработки мультимедийного потока, содержащего как видеокadres, так и кадры-вставки, несущие фотографические данные о СД, а также реализации методики идентификации кадров-вставок, позволяющей формировать сигналы управления с наименьшей ошибкой принятия решения.

Данный подход позволит при существующих сетях и системах видеонаблюдения обеспечить передачу необходимого объема видео-информации, достаточного для реализации функций управления и контроля доступом персонала, удовлетворяющих современным требованиям.

Концепция идентификации и сравнения кадров в потоке мультимедийных данных включает в себя ряд методов. Большинство из них в качестве статистического признака для выявления скрытых кадров-вставок в видеопотоке используют величину интегральной яркости кадров, сравнивая ее с некоторым эталонным значением.

Способ определения линейного сдвига изображения (патент RU 2 138 851 С1 опубл. 05.08.1993 г. Авторы: Кристоф Айзенбарт (DE), Ира Финкельштайн (US), Дэннис Мак Ги (US), Эдвард Пановский (US)), позволяет обнаруживать несовпадение фактического изображения относительно опорного и обеспечивать их максимальное совпадение. Этот технический результат достигается благодаря тому, что воспринимают два участка фактического изображения, запоминают два аналогичных участка опорного изображения, сравнивают соответствующие участки фактического и опорного изображений и определяют наличие сдвига, причем повторяют сравнение для тех же участков после сдвига фактического изображения на заранее заданное число пикселей по осям  $X$  и  $Y$ , при этом вычисляют абсолютные значения разностей между соответствующими участками фактического и опорного изображений для каждого сдвига и сохраняют в памяти, как полученные абсолютные значения, так и их сумму.

Недостатком данного метода является то, что при идентификации кадра-вставки в процессе сравнения невозможно выделить опорное изображение, участки кадра для сравнения и пороговое значение линейного сдвига, так как оно будет динамически изменяться в результате смены сюжетов в видеопотоке.

Способ идентификации подлинных серий изображений и устройство для его осуществления (патент RU 2216044 С2 опубл. 10.11.2003. Автор Шульце Клаус (DE)), позволяет полу-

читать технический результат в виде повышения эффективности процедур учета и хронометрирования рекламных сообщений, видеоклипов, политических выступлений.

Этот результат достигается за счет того, что для отдельных изображений из серии определяют признаки яркости, преобразуют их в цифровую форму и сравнивают с эталоном, при этом признаки яркости декоррелируют квазистохастическим отбором по множеству изображений.

Недостатком данного подхода является низкая эффективность определения кадров-вставок в видеопотоке [7], обусловленная тем, что по одному изображению, определяющему эталонные признаки яркости, невозможно получить полную статистическую информацию, характеризующую яркостные свойства каждой из наблюдаемых динамически меняющихся сцен видеопотока, в силу их значительных отличий по цвету и яркости.

Идентификацию кадров, несущих фотографические данные о СД, в видеопотоке будем осуществлять в предположении, что изображения видеокадров  $K_{\text{вид}k\phi}$  и кадров-вставок  $K_{\text{вст}k\phi}$  являются растровыми, то есть представляющие собой сетку пикселей – цветных точек на носителе цифрового изображения [1, 3].

При растровом изображении  $k$ -ый кадр можно представить в виде множества пикселей  $\pi_{i,j}^k$  на прямоугольном носителе, которое математически будем описывать двумерной матрицей  $K_{\text{пот}k} = \|\pi_{i,j}^k\|, i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J}$ , где  $k$  – номер наблюдаемого кадра,  $i$  и  $j$  – соответственно номера столбца и строки матрицы, на пересечениях которых расположен пиксель.

Поскольку пиксель  $p_{i,j}^k$  характеризуется определённым цветом  $c_{i,j}^k, c_{ij}^k = \begin{pmatrix} r_{ij}^k \\ g_{ij}^k \\ b_{ij}^k \end{pmatrix}$ , то растровым изображением кадра является множество цветных точек на носителе видеоинформации:  $I_k = \|c_{i,j}^k\|, i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J}$ .

С учетом введенных обозначений цвета пикселя  $c_{i,j}^k$  и определения кадра  $k$ , изображение  $I_k$   $k$ -го кадра представим в форме матрицы размером  $I \times J$ , где  $I$  и  $J$  – соответственно число столбцов и строк матрицы:

$$I_k = \begin{pmatrix} c_{0,0}^k & c_{0,1}^k & \dots & c_{0,J-1}^k \\ c_{1,0}^k & c_{1,1}^k & \dots & c_{1,J-1}^k \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{I-1,0}^k & c_{I-1,1}^k & \dots & c_{I-1,J-1}^k \end{pmatrix} \quad (1)$$

Изображение  $I_{k\phi}$   $k\phi$ -го кадра, несущего фотографические данные о СД, представим в виде матрицы размером  $L \times S$

$$I_{k\phi} = \begin{pmatrix} c_{0,0}^{k\phi} & c_{0,1}^{k\phi} & \dots & c_{0,S-1}^{k\phi} \\ c_{1,0}^{k\phi} & c_{1,1}^{k\phi} & \dots & c_{1,S-1}^{k\phi} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{L-1,0}^{k\phi} & c_{L-1,1}^{k\phi} & \dots & c_{L-1,S-1}^{k\phi} \end{pmatrix} \quad (2)$$

где  $L$  и  $S$  – соответственно число столбцов и строк матрицы;

$c_{l,s}^k$  – цвет пикселя матрицы кадра с фотографическими данными о СД поддерживающий прозрачность (цвет в глобальной палитре формата *GIF*).

Процедуру заливки изображения видеопотока фотографическими данными о СД изображим в виде отображения  $f: I_k \rightarrow I_k$ , носящего или инъективный

$$f(c_{l,s}^k) = c_{i,j}^k, \quad (3)$$

или биективный

$$f(c_{l,s}^k) = c_{i,j}^k, \quad (4)$$

характер, тогда пиксели изображения  $I_k$   $k$ -го кадра (1) с фотографическими данными о субъекте доступа примут цвет, при следующих условиях:

$$c_{i,j}^k = \begin{cases} c_{i,j}^k, & i, j \in I_k \\ c_{l,s}^k, & i, j \in I_k \text{ и } c_{l,s}^k - \text{непрозрачный;} \\ c_{i,j}^k, & i, j \in I_k \text{ и } c_{l,s}^k - \text{прозрачный.} \end{cases} \quad (5)$$

Исследования статистических свойств изображений двух последовательных кадров в одном и разных сюжетах, а также кадров-вставок с фотографическими данными о СД показывают, что уменьшение значений ошибок первого  $a$  и второго  $b$  рода возможно благодаря использованию математического аппарата, обеспечивающего возможность осуществлять следующие операции:

- оценку интегральной яркости изображений кадров-сверток [5];
- проведение корреляционного анализа гистограмм изображений кадров видеопотока [4];
- сравнение коэффициентов полиномов, аппроксимирующих гистограммы изображений кадров видеопотока [6];
- принятие решения о классе кадров видеопотока.

С учетом сказанного, обобщенный алгоритм идентификации кадров-вставок с фотографическими данными о СД в видеопотоке представим в следующем виде (рис. 1).

Исходными данными для его функционирования являются:

$$K(t) = \bigcup_{k \in \text{пот}_k} K = \text{пот}_1, \text{ пот}_2, \text{ пот}_3, \mathbf{K} - \text{множество кадров в потоке видеоданных};$$

$$Y_1, Y_2 \in Y - \text{множество классов кадров в видеопотоке};$$

$$Y_1 - \text{класс, включающий кадры видеоизображения } K_{\text{вид}_k} \in Y_1;$$

$$Y_2 - \text{класс, включающий кадры-вставки с фотографическими данными о СД } K_{\text{вст}_k} \in Y_2.$$

Предлагаемый алгоритм идентификации кадров-вставок с фотографическими данными о СД  $K_{\text{вст}} = \bigcup_{k \in \text{пот}_k} K_{\text{вст}_k} / k \in \overline{1, K} \in Y_2$  основывается на цифровых способах обработки видео-

данных и начинается с определения последовательности изображений  $I(t) = \{ I_k / k = \overline{1, K} \}$ , элементами которого являются изображения  $I_k$   $k$ -го кадра, входящего в видеопоток  $K(t) = \{ k_{\text{пот}k} / k = \overline{1, K} \}$ , по выражению (1). Это действие математически опишем в виде отображения  $Q: K(t) \rightarrow I(t)$ , где  $I(t) = \{ I_k / k = \overline{1, K} \}$ .

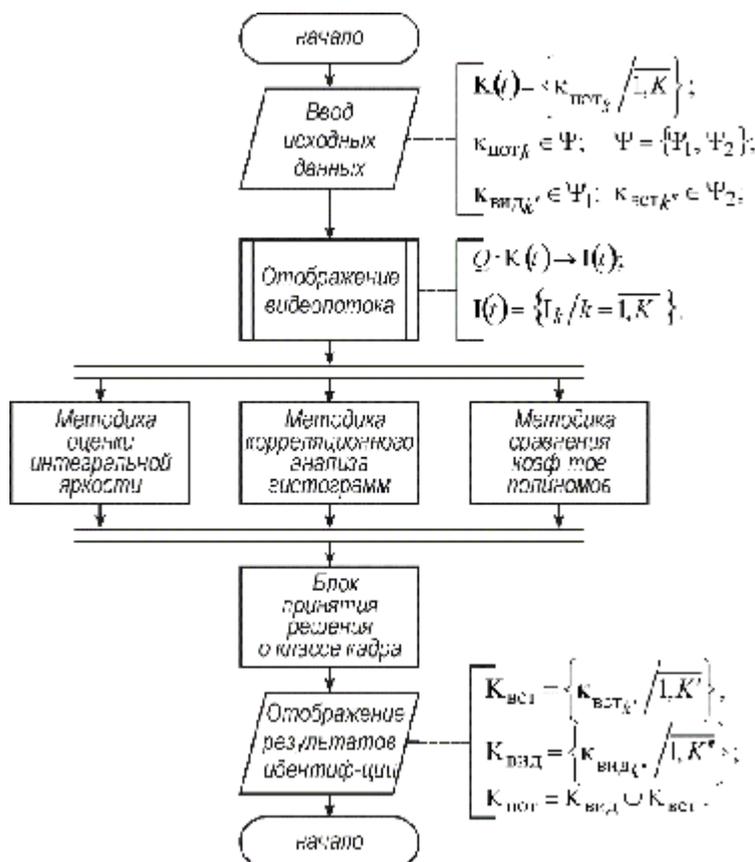


Рисунок 1 – Алгоритм идентификации кадров-вставок с фотографическими данными о субъекте доступа в видеопотоке

### Экспериментальное исследование

В зависимости от цветовых характеристик кадров видеопотока и фотографических данных о субъекте доступа, представленные в алгоритме методики, по-разному реагируют на кадры-вставки. Результаты экспериментальных исследований методик идентификации кадров-вставок в мультимедийном потоке, показали следующие достоинства [4-6]:

- методика на основе оценки интегральной яркости изображений кадров позволяет по отношению к известным методам обработки видеоданных уменьшить ошибки первого **a** и второго **b** рода при оценке классов кадров, в которых интегральная яркость изображений кадров видеосюжетов характеризуется некоторой стационарностью;
- методика на основе корреляционного анализа гистограмм по отношению к первому подходу позволяет уменьшить ошибки первого **a** и второго **b** рода при оценке классов кадров, в которых изображения динамично изменяются;

– методика на основе сравнения коэффициентов полиномов, аппроксимирующих гистограммы изображений кадров видеопотока позволяет существенно уменьшить ошибки первого  $a$  и второго  $b$  рода при оценке классов кадров, в которых часть изображений статична, а другая часть динамично изменяется.

Окончательное решение о классе кадров  $Y_1, Y_2 \hat{=} Y$  принимается по мажоритарному правилу, то есть в случае если две из трех параллельно работающие методики идентифицировали кадр как кадр-вставку с фотографическими данными о субъекте доступа  $k_{вст} \hat{=} Y_2$  и эти кадры совпадают, то считается что это вставка. Поэтому, учитывая особенности каждого подхода, в статье предлагается обобщенный алгоритм идентификации кадров-вставок с фотографическими данными о субъекте доступа в видеопотоке, в виде трех методик, параллельно идентифицирующих кадры-вставки, представленный на рисунке 1.

На следующем этапе осуществляется верификация кадров-вставок с фотографическими данными о субъекте доступа по дифференциальной интегральной яркости кадров обрамляющих идентифицированные кадры  $S_{k, k+n+1}$ , где  $n$  – количество идентифицированных кадров. На практике это значение не должно превышать порог принятия решения, определяемый экспериментальным путем в зависимости от динамики смены изображений.

### Выводы

Предложен подход, обеспечивающий идентификацию кадров-вставок при следующих ограничениях:

- количество кадров в визуальной вставке не превышает трех;
- первые четыре кадра сюжетной линии не являются вставкой;
- вставка не располагается на границе двух сюжетных линий.

Предложена новая методика идентификации кадров-вставок в мультимедийном потоке видеоданных, базирующаяся на оценке интегральной яркости изображений кадров-сверток, корреляционном анализе гистограмм и сравнении коэффициентов полиномов, аппроксимирующих гистограммы изображений кадров, отличающаяся использованием динамического порога при идентификации кадров и принятия решения об их классе на основе мажоритарного способа обработки данных, позволит повысить качество визуальной идентификации субъекта в СКУД АСУП строительной индустрии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Визильтер, Ю.В. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW и IMAQ Vision [Текст] / Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов, В.А. Князь, А. Ходарев, А. Моржин. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 464 с.
2. Ворона, В.А. Системы контроля и управления доступом [Текст] / В.А. Ворона, В.А. Тихонов – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 272 с.
3. Гонсалес, Р. Мир цифровой обработки. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс, П.А. Чочиа. – М.: Техносфера. – 2006. – 1072 с.
4. Орешин, А.Н. Идентификация кадра-вставки в мультимедийном потоке на основе корреляционного анализа гистограмм изображения кадров [Текст] / А.Н. Орешин, И.Ю. Лысанов, В.С. Шумилин, Н.А. Орешин // Телекоммуникации. – 2015. – №6. – С.16.
5. Орешин, А.Н. Цифровой метод идентификации кадра-вставки в мультимедийном потоке на основе оценки интегральной яркости изображения кадра-свертки [Текст] / А.Н. Орешин, И.Ю. Лысанов, В.С. Шумилин, Н.А. Орешин // Телекоммуникации. – 2015. – №4. – С.16.
6. Орешин, А.Н. Цифровой метод определения кадров-вставок в мультимедийном потоке видеоданных, обеспечивающий автоматизацию процессов идентификации персонала [Текст] / А.Н. Орешин, И.Ю. Лысанов, В.С. Шумилин, Н.А. Орешин // Телекоммуникации. – 2015. – №11. – С.26.
7. Орешин, А.Н. Стратегия определения видеовставок в мультимедийном потоке информации [Текст] / А.Н. Орешин, А.В. Скурнович, А.В. Тукелев // Телекоммуникации. – 2011. – №4. – С.35.

8. Тесаков, В.Ю. Интеграция СКУД и видео. Тенденции поиска оптимальных решений [Текст] / В.Ю. Тесаков // Алгоритм безопасности. – 2014. – №1. – С.32.

9. Craig, D. Optimising camera viewing in control rooms [Электронный ресурс] / D. Craig / Hi-Tech Security Solutions – 2009. – №5. – URL: <http://www.securitysa.com/article.aspx?pkarticleid=5627> (Accessed 21.06.2014).

**И.Ю. Лысанов**

Академия ФСО России, г. Орёл

Сотрудник

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

---

I. LYSANOV

**METHODOLOGY IDENTIFYING THE INSERT FRAME  
IN THE MULTI-MEDIA STREAM OF VIEWDATAS TO THE ACCESS  
CONTROL SYSTEM AT CONSTRUCTION INDUSTRY ENTERPRISES**

*In this article methodology of authentication of shots-insertions is presented in the multimedia stream of viewdatas, being based on the estimation of integral brightness of images of shots-difference, cross-correlation analysis of histograms and comparison of coefficients of polynomials, approximating the histograms of images of shots, different using of dynamic threshold for authentication of shots and decision-making about their class on the basis of majority method of processing of data, allowing to improve quality visual authentication of subject in the checking and management system by access on the enterprises of building industry.*

**Keywords:** video stream, shots-insertions, pixel intensity, shot image brightness.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Vizil'ter, YU.V. Obrabotka i analiz tsifrovyykh izobrazheniy s primerami na LabVIEW i IMAQ Vision [Tekst] / YU.V. Vizil'ter, S.YU. Zhel'tov, V.A. Knyaz', A. Khodarev, A. Morzhin. – M.: DMK Press, 2008. – 464 s.

2. Vorona, V.A. Sistemy kontrolya i upravleniya dostupom [Tekst] / V.A. Vorona, V.A. Tikhonov – M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2010. – 272 s.

3. Gonsales, R. Mir tsifrovoy obrabotki. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy [Tekst] / R. Gonsales, R. Vuds, P.A. Chochia. – M.: Tekhnosfera. – 2006. – 1072 s.

4. Oreshin, A.N. Identifikatsiya kadra-vstavki v mul'timediynom potoke na osnove korrelyatsionnogo analiza gistogramm izobrazheniya kadrov [Tekst] / A.N. Oreshin, I.YU. Lysanov, V.S. Shumilin, N.A. Oreshin // Telekommunikatsii. – 2015. – №6. – S.16.

5. Oreshin, A.N. Tsifrovoy metod identifikatsii kadra-vstavki v mul'timediynom potoke na osnove otsenki integral'noy yarkosti izobrazheniya kadra-svertki [Tekst] / A.N. Oreshin, I.YU. Lysanov, V.S. Shumilin, N.A. Oreshin // Telekommunikatsii. – 2015. – №4. – S.16.

6. Oreshin, A.N. Tsifrovoy metod opredeleniya kadrov-vstavok v mul'timediynom potoke videodannykh, obespechivayushchiy avtomatizatsiyu protsessov identifikatsii personala [Tekst] / A.N. Oreshin, I.YU. Lysanov, V.S. Shumilin, N.A. Oreshin // Telekommunikatsii. – 2015. – №11. – S.26.

7. Oreshin, A.N. Strategiya opredeleniya videovstavok v mul'timediynom potoke informatsii [Tekst] / A.N. Oreshin, A.V. Skurnovich, A.V. Tukelev // Telekommunikatsii. – 2011. – №4. – S.35.

8. Tesakov, V.YU. Integratsiya SKUD i video. Tendentsii poiska optimal'nykh resheniy [Tekst] / V.YU. Tesakov // Algoritm bezopasnosti. – 2014. – №1. – S.32.

9. Craig, D. Optimising camera viewing in control rooms [Elektronnyy resurs] / D. Craig / Hi-Tech Security Solutions – 2009. – №5. – URL: <http://www.securitysa.com/article.aspx?pkarticleid=5627> (Accessed 21.06.2014).

**I. Lysanov**

Academy FSO Russia, Orel

Officer

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

УДК 726.711(470.11)

ЯСКОРСКАЯ Е.А.

### **СОБОР ВО ИМЯ ЧУДОТВОРНОЙ ГРУЗИНСКОЙ ИКОНЫ БОЖЬЕЙ МАТЕРИ КРАСНОГОРСКОГО БОГОРОДИЦКОГО МУЖСКОГО МОНАСТЫРЯ**

*На основании архивных документов и исследований строительства собора Грузинской иконы Божьей Матери Красногорского Богородицкого монастыря XVII века впервые дано системное описание его объемно-планировочного решения и фасадов. Храм Красногорского монастыря отличает единая стилистика, характерная для эпохи барокко ярусная композиция типа "восьмерик на четверике" в полной мере проявилась в архитектуре главного объема храма и в соборной колокольне. В настоящее время церкви и другие постройки монастыря почти полностью разрушены и требуют сложных ремонтно-реставрационных, а также противоаварийных работ.*

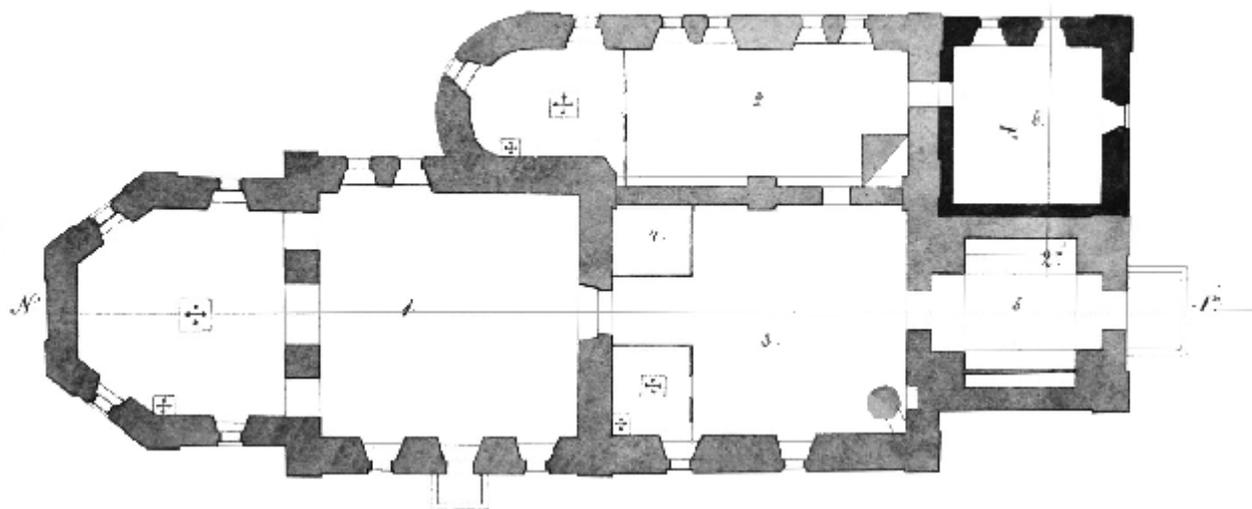
*Ключевые слова:* Красногорский Богородицкий монастырь, собор Грузинской иконы Божьей Матери, трапезная церковь

Монастырская колонизация XVI–XVII веков, которая повлекла за собой строительство новых монастырей в разных концах Московского царства, затронула и Русский Север. Мужской монастырь был основан в 1606 году преподобным Макарием по разрешению царя Василия Шуйского. Место было выбрано на правом берегу реки Пинега в 195 верстах от губернского города Архангельска и 16 верстах от уездного городка Пинега [1]. Монастырь расположился на высокой горе Черной, откуда открывается вид на излучину реки и деревни на её пойме. Плотник Яков срубил здесь первую деревянную церковь. За первые тридцать лет монахи преобразовали местность, поэтому гору стали называть Красной, а монастырь с 1633 года получил название Красногорский. Основателя монастыря стали называть Макарием Красногорским.

Во второй половине XVII века на средства Егора Лыткина в обители был воздвигнут деревянный шатровый на крещатой бочке храм в честь Похвалы Божьей Матери. Сохранилось письмо купца Лыткина к игумену Макарию [2], где он точно прописывает какова должна быть построена церковь: «Среди кровли церковной сделать четыре бочки со всех сторон... и с тех бочек вывести шея, маковицы и крест опаять железом белым... шатров не делать, ради того, что высокие церкви молниею поджигает... Место вам под новую церковь избрать покрепче и попросторнее...». Из документа видно, что в начале XVII века выбор и сочетание канонических требований и архитектурных приемов при возведении храмов во многом зависели от заказчика. Вместе с храмом были возведены шатровая колокольня, ограда и другие постройки. А спустя некоторое время появилась деревянная теплая церковь Всех Святых.

С тех пор слава о святости Красной горы и монастыря начала расти; иконы Владимирской и Грузинской Богоматери привлекали много паломников [3, 4]. Примечательно, что монастырь посетило в разное время немало именитых лиц, среди которых Иоанн Кронштадтский и ссыльный князь Василий Васильевич Голицын (в 1714 году его похоронили в этой обители).

В 1717 году пожар уничтожил Всехсвятскую церковь, после чего было принято решение строить каменный трехпрядельный соборный храм. 22 августа 1723 года состоялась торжественная закладка здания. Анна Иоанновна пожертвовала на строительство тысячу рублей. Монастырская метрика [5] 1886 года свидетельствует, что строил собор крестьянин Холмогорского уезда Петр Некрасов.



*Рисунок 1 - План собора Красногорского Богородицкого монастыря*

Главная церковь, в которой располагался престол Грузинской иконы Божьей Матери, была освящена 22 марта 1735 года. Придельная церковь с южной стороны, возведенная для престола Владимирской иконы Божьей Матери, освящена в 1726 году. Третий престол в честь Чуда Архистратига Михаила находился в трапезной собора, который освятили лишь в 1841 году. Изначально колокольня, располагавшаяся над папертью, была деревянной, но в 1802–1807 годах ее заменили каменной. Такой прием размещения колокольни над папертью сформировался в монастырских комплексах ещё в конце XVII века.

В начале XVIII века петровские реформы инициировали процесс освобождения от старых церковных канонов. Каменное зодчество этого времени отходит от типичных для XVII века сложных композиций и "изукрашенных" форм. В столице рождается новый тип храма – ярусный, высотный, центрический. Но такой тип храма не получил распространение в провинции, там появляется тип так называемых «трапезных» церквей, где все основные объемы храма – начиная от западного притвора, над которым располагается колокольня, трапезной, самого объема храма и, кончая алтарной частью – скомпонованы на одной продольной оси «запад-восток». Этот тип церквей стал утверждаться в русской провинциальной архитектуре с 1680-х годов. Русский Север не стал исключением, хотя многие формы столичного церковного зодчества были здесь творчески переработаны в соответствии с местными традициями, очень устойчивыми. Так, например, образцом для храма Красногорской обители стала, судя по всему столичная «трапезная» церковь Святого Иоанна на Якиманке. Наличие трапезной соответствовало традициям северного церковного зодчества в силу климатических особенностей региона (рисунок 1). По той же причине трапезные северных церквей были вместительнее тесных вотчинных "нарышкинских" храмов.

Характерная для эпохи барокко ярусная композиция типа "восьмерик на четверике" в полной мере проявилась в архитектуре главного объема храма и в соборной колокольне. Первый ярус формирует бесстолпный двухсветный четверик, второй ярус – поставленный на него мощный восьмерик. Переход от четверика к восьмернику осуществлен посредством тромпов. Металлические связи проходят по углам четверика под каждой аркой тромпов. Как видно из архивных чертежей, восьмерик перекрывался сомкнутым сводом на граненом основании, в центральной части которого было круглое отверстие светового барабана под невысоким сомкнутым сводом с лекально изогнутой формой покрытия. Венчался барабан небольшой луковичной главкой.

С востока к основному кубическому объему примыкает развитая пятигранная апсида, с запада (рисунок 2) – просторная двухосная трапезная, равная по ширине основному объему

храма, следом – четырехъярусная колокольня. Апсида перекрыта сомкнутым полусводом-конхой, трапезная крыта на два ската. Колокольня представляет собой гармоничную конструкцию из двух восьмериков на двух четвериках. Нижний ярус колокольни – притвор храма. Во втором ярусе четверика располагались библиотека и монастырский архив. Согласно сохранившимся чертежам, колокольня завершалась восьмигранной звонницей с купольной граненой кровлей, увенчанной высоким шпилем на небольшом барабане (рисунок 3). Изящная и высокая колокольня выразительно контрастировала архитектурным массам храма.

С южной стороны к трапезной пристроен придел теплого храма Владимирской Божьей матери, который своей полукруглой апсидой наполовину перекрыл нижний ярус основного объема собора и весь южный фасад трапезной. В XIX веке к этому приделу и к нижнему ярусу колокольни пристраивается небольшая ризница. Первоначально симметричная и уравновешенная композиция храма искажена поздними пристройками.

Храм Красногорского монастыря отличает единая стилистика, формируемая барочным декором первой четверти XVIII века. Тем не менее, отголосок XVII века проявляется здесь в трехчастном делении фасадов, в перспективных откосах окон и в наличниках, завершающихся кокошниками.



Рисунок 2 - Западный фасад собора



Рисунок 3 - Северный фасад собора

Фасады расчленены лопатками, которые, за счет раскрепованных тяг, своим силуэтом напоминают пилястры. Они фланкируют углы основных объемов. Кроме того, гладь стены прерывается глубокими оконными проемами. Разнообразие декоративного обрамления окон здесь обосновано делением постройки на ярусы. Так, например, наличники в нижней части собора получили навершия со своеобразными "ушами". Оконные проемы во втором ярусе четверика венчаются закомарами. Чередование полуциркульных и килевидных закомар задает определенный ритм и акцентирует внимание на центральном объеме собора.

Сочный городчатый карниз первого яруса сплошной лентой огибает весь периметр собора, приземляя, таким образом, центральный объем и сдерживая его визуальную направленность вверх ненавязчивое господство горизонтальных членений и сдержанность декоративного убранства фасадов, формируют образ солидного монументального храма. Таким образом, в архитектуре собора Грузинской иконы Божьей Матери Красногорского Богородицкого монастыря мы видим гармоничное сочетание традиционной русской объемно-пространственной композиции с элементами нового стиля барокко. В композиции самого храма и колокольни влияние русского зодчества выражено в ярусности объемов, размещении лопаток по ребрам «четвериков и восьмериков», а также в архитектурных формах в виде полукруглых и килевидных фронтонычков у наличников окон, поребрика в карнизах. Утверждение форм нового стиля находим в апсидах пятигранной формы, в многогранном куполе изогнутой формы со сложным навершием, ступенчатых карнизах, в обилие лопаток на гладкой поверхности стен, в обрамление оконных проемов с коробовыми перемычками в виде наличников с угловыми выступами («ушами»).

В 1920 году Красногорский монастырь был разорён и закрыт [6]. В зданиях монастыря располагалась коммуна, потом – лагерь отдыха для детей. До 1990-х годов в уцелевших монастырских постройках размещался психоневрологический интернат. В настоящее время церкви и другие постройки монастыря почти полностью разрушены (рисунок 4) и требуют сложных ремонтно-реставрационных, а также противоаварийных работ.



Рисунок 4 - Состояние собора в настоящее время

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилова, Г.А. Пинега: очерки природы, истории и культуры [Текст] / Г.А.Данилова. – Архангельск: ОАО «ИПП«Правда Севера», 2009 – 111 с.
2. Макарий (Миролюбов, Н.К.) Историческое описание Красногорского монастыря [Текст] / Макарий (Н.К. Миролюбов) – Архангельск, 1906.
3. Васильев, А. Исторический очерк Красногорского монастыря Архангельской губернии [Текст] / А. Васильев. – СПб, 1880.
4. Челмогорский, В. Красногорский Богородицкий монастырь [Текст] / В. Челмогорский В. – Архангельск, 1898.
5. ИИМК РАН, архив, Ф. Р-III, д. 70. Метрика Красногорского Богородицкого монастыря, 23 дек. 1886г.
6. ГААО. Ф. 309. Оп.3 Д. 73. Л. 1 об.

### Е. А. Яскорская

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск  
Кандидат архитектуры, доцент кафедры инженерных конструкций и архитектуры  
E-mail: arhidoms@atknet.ru

---

E. YASKORSKAYA

## THE MIRACULOUS GEORGIAN MOTHER OF GOD ICON CATHEDRAL OF THE KRASNOGORSKY BOGORODITSKY MONASTERY

*The first systemation description of space-planning solutions and facades is given on the basis of archival documents and research of the Georgian Mother Cathedral of Krasnogorsk Bogoroditskiy monastery, XVII century. Krasnogorsk monastery temple has a single style, typical of the Baroque; tier composition, such as «octagon on the quadrangle», fully manifested in the architecture of the main space of the church and the cathedral tower. Currently churches and other buildings of the monastery almost completely destroyed and require complex repair and restoration, and also emergency works.*

**Keywords:** *Krasnogorsk Bogoroditskiy monastery, Cathedral of Georgian Mother of God icon, refectory church, baroque.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Danilova, G.A. Pinega: ocherki prirody, istorii i kul'tury [Tekst] / G.A.Danilova. – Arkhangel'sk: OAO «IPP«Pravda Severa», 2009 – 111 s.
2. Makariy (Mirolyubov, N.K.) Istoricheskoye opisaniye Krasnogorskogo monastyrya [Tekst] / Makariy (N.K. Mirolyubov) – Arkhangel'sk, 1906.
3. Vasil'yev, A. Istoricheskiy ocherk Krasnogorskogo monastyrya Arkhangel'skoy gubernii [Tekst] / A. Va-sil'yev. – SPb, 1880.
4. Chelmogorskiy, V. Krasnogorskiy Bogoroditskiy monastyr' [Tekst] / V. Chelmogorskiy V. – Arkhangel'sk, 1898.
5. IIMK RAN, arkhiv, F. R-III, d. 70. Metrika Krasnogorskogo Bogoroditskogo monastyrya, 23 dek. 1886g.
6. GAAO. F. 309. Op.3 D. 73. L. 1 ob.

#### **E. Yaskorskaya**

M.Lomonosov Northern (Arctic) federal university, Arkhangelsk.

Candidate of architecture, associated professor of the Engineering structures and architecture department.

E-mail: arhidoms@atknet.ru

УДК 519.6:681.3.06

МОИСЕЕНКО А.М., ЛЫСАК О.Г.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА В ЗДАНИЯХ КАРТОФЕЛЕ-ОВОЩЕХРАНИЛИЩ**

*Предложена математическая модель исследования нестационарного процесса тепло-влажностного обмена в биологической продукции, находящейся в хранилище. Проведены теоретические исследования в зданиях по хранению сочной сельскохозяйственной продукции с целью уменьшения потерь хранимого сырья. Реализация математической модели осуществлялась численным методом. Рассмотрен приближенный метод решения краевой задачи, основанный на неявной конечно-разностной схеме с использованием метода прогонки. Получены распределения температур и влажностных параметров продукции по сечению слоя в различные моменты времени. Полученные результаты позволяют уменьшить энергетические расчеты на охлаждение слоя хранимого сырья за счет сокращения времени работы систем охлаждения и вентиляции.*

**Ключевые слова:** краевая задача, математическая модель, температурно-влажностный режим, хранилище.

### **Введение**

Обеспечить температурно-влажностные условия, позволяющие длительное время сохранять продукцию без потерь - это основное назначение хранилищ сочной сельскохозяйственной продукции.

Необходимым условием сохранения качества овощной продукции является поддержание определенного темпа снижения температуры. Микроклимат хранения овощной продукции формируется в период охлаждения, когда температура насыпи снижается с начальной величины до предельно допустимой. При этом необходимо либо снижать температуру приточного воздуха в область отрицательных значений, что негативным образом скажется на процессе сохранения продукта и приведет к нежелательному переохлаждению продукции, либо увеличивать расход приточного воздуха, что связано с увеличением затрат электроэнергии и может привести к высокой цене на продукт в конце периода хранения.

Важным является не только определение оптимального расхода энергоресурсов в течение всего периода хранения, но и рациональное распределение воздушных потоков по объему помещения [1]. Одним из путей достижения поставленной цели является рациональная организация циркуляции воздуха внутри сооружения, при которой весь подаваемый вентиляторами воздух поступал в насыпь продукции [2].

Необходимость обеспечения нормируемой температуры в насыпи хранимой сельскохозяйственной продукции, обусловила необходимость исследования температурного режима вблизи стен хранилищ под воздействием температуры наружного воздуха. Микроклимат насыпи сырья в хранилище во многом зависит от теплового режима стен, с которыми продукция находится в непосредственном контакте. Тепловой режим наружных стен хранилища определяется видами и закономерностями внутренних и внешних тепловых воздействий с условиями теплового взаимодействия с грунтом, примыкающим к стенам.

Часто рекомендуемые методы расчета тепловых режимов хранилищ основываются на упрощенной стационарной схеме теплопередачи. Если и используется нестационарный режим тепловых процессов в зданиях, то для расчетов применяются явные разностные схемы, которые требуют при вычислениях больших затрат времени на ЭВМ. В ряде научных работ при рассмотрении процессов охлаждения и хранения продукции не учитывались контактная теплопроводность между элементами насыпи, тепло дыхания продукции или оно считалось по-

стоянным, не зависящим от температуры хранимого сырья, при построении математической модели тепловые процессы рассматривались отдельно от влажностных. Такой подход снижает достоверность расчетов, часто приводит к существенным искажениям картины поля температур.

Для определения влияния ограждающих конструкций на микроклимат в хранилище необходимо совершенствование моделирования тепло-влажностных процессов в хранилищах и метода расчета термодинамической системы «наружный воздух - ограждающие конструкции – внутренний воздух хранилища – насыпь продукции, вентилируемой воздухом» на основе изучения нестационарного режима теплопередачи в ограждении и насыпи с целью учета фактических условий тепло-влагообмена.

Расчетный режим вентилируемых воздушных прослоек между ограждением хранилища и насыпью определяется зимними температурами наружного воздуха, минимально допустимой температурой стенки закрома, соприкасающейся с продукцией, минимально допустимой температурой хранения и условиями, исключающими перегрев продукции, переохлаждение продукции, выпадение конденсата в воздушной прослойке. Применение вентилируемых воздушных прослоек у внутренней поверхности наружных стен позволяет улучшить температурно-влажностный и воздушный режим ограждения [3].

Тепло-влажностное состояние биологической продукции, находящейся в хранилище, во многом зависит не только от термодинамических процессов в насыпи, но и от внешних тепловых воздействий через конструкции хранилищ. Учесть такие особенности в их совокупности может позволить математическая модель тепло-влагообмена, основанная на нестационарной задаче.

### Методика исследования

Основное отличие предлагаемой модели от использовавшихся ранее состоит в формулировке тепловой задачи как сопряженной с одновременным (а не последовательным) рассмотрением температурных полей в системе продукция – ограждающие конструкции. В данной статье рассматривается задача исследования процессов тепло-влагообмена в насыпи хранимой сочной сельскохозяйственной продукции.

В математическую постановку краевой задачи входят (рис.1):

- уравнение теплопроводности для ограждающей конструкции

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = a_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2}; \quad 0 < x < \delta_1; \quad (1)$$

- уравнение теплопроводности для насыпи экзотермической продукции, вентилируемой воздухом

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{a_2}{1-m} \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{q}{c_2} e^{kT_2} - \gamma_2(T_2 - T) - \frac{q_n \beta F_n \varepsilon_n E}{\rho c_2} (f(T_2) - d); \quad \delta_2 < x < \delta_3; \quad (2)$$

- уравнение энергии для вентилированного воздуха, подаваемого снизу в насыпь сырья

$$\frac{\partial T}{\partial t} + v \frac{\partial T}{\partial x} = \gamma_1(T_2 - T); \quad \delta_2 < x < \delta_3; \quad (3)$$

- дифференциальное уравнение влагообмена в воздухе внутри насыпи

$$\frac{\partial d}{\partial t} + v \frac{\partial d}{\partial x} = \frac{D}{m} \frac{\partial^2 d}{\partial x^2} + \frac{\beta F_n \varepsilon_n E}{\rho_B} (f(T_2) - d); \quad \delta_2 < x < \delta_3; \quad (4)$$

- начальные условия в момент времени  $t = 0$ :

$$T_1 = T_{10}, \quad T_2 = T_{20}, \quad T = T_0, \quad d = d_0; \quad (5)$$

- граничные условия

$$x = 0, \quad \left| \frac{\partial T_1}{\partial x} \right| = \alpha_H (T_1 - T_H); \quad (6)$$

$$x = \delta_1, \quad - \left| \frac{\partial T_1}{\partial x} \right| = \alpha_1 (T_1 - T_2) + \alpha_{k_1} (T_1 - T_B); \quad (7)$$

$$x = \delta_1, \quad - \left| \frac{\partial T_1}{\partial x} \right| = \alpha_1 (T_1 - T_2) + \alpha_{k_2} (T_2 - T_B); \quad (8)$$

$$x = \delta_2, \quad \frac{\partial d}{\partial x} = 0; \quad (9)$$

$$x = \delta_3, \quad T_2 = T = T_{20}; \quad (10)$$

$$x = \delta_3, \quad d = d_1; \quad (11)$$

где  $x = 0$  - наружная поверхность ограждающей конструкции;  
 $x = \delta_1$  - внутренняя поверхность ограждающей конструкции;  
 $x = \delta_2$  - поверхность насыпи продукции, примыкающей к верхней зоне хранилища;  
 $x = \delta_3$  - нижняя поверхность насыпи продукции, через которую подается вентилируемый воздух;

$T_1(x, t)$  - температура,  $a_1$ - коэффициент температуропроводности,  $\lambda_1$  - коэффициент теплопроводности ограждения;

$T_2(x, t)$  - температура,  $a_2$  - коэффициент температуропроводности,  $\lambda_2$  - коэффициент теплопроводности насыпи продукции;

$T(x, t)$  - температура,  $v$  – скорость воздуха внутри насыпи;

$d(x, t)$  - влагосодержание воздуха,

$D$ - коэффициент диффузии влаги в воздухе;

$m$  - пористость насыпи продукции;

$\gamma_1, \gamma_2$  - коэффициенты контактного теплообмена между хранимой продукцией и воздухом, движущимся внутри насыпи.

$c_2$ - удельная теплоемкость сырья;

$f(T_2)$ - равновесное влагосодержание воздуха от температуры на интервале возможного изменения температуры продукции;

$q$  - количество тепла, выделяемое продукцией;

$\alpha_H$ - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции;

$\alpha_{k_1}, \alpha_{k_2}$  - конвективные коэффициенты теплообмена соответственно внутренней поверхности ограждения и поверхности насыпи продукции;  $\alpha_1$  - коэффициент лучистого теплообмена между внутренней поверхностью ограждения и поверхностью насыпи;

$\varepsilon_n$ -коэффициент испарительной способности насыпи продукции, доли единиц;

$b$  - коэффициент массообмена;

$E = 161332$ - переводной коэффициент;

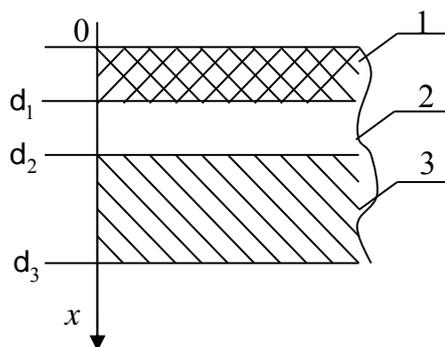
$q_n$ - удельное тепло парообразования;

$F_n$  – удельная поверхность насыпи продукции;

$\rho, \rho_B$ ,-плотность сырья и воздуха;

$T_B$ - температура воздуха в верхней зоне;

$T_H$ - температура наружного воздуха.



**Рисунок 1 - Расчетная схема теплопередачи ограждающей конструкции хранилищ:**  
 1 - слой ограждающей конструкции, 2 – воздушный слой продукции, 3 – слой насыпи продукции

Рассмотрим численное решение задачи в постановке (1) – (11). Для решения задачи применяем метод сеток [4], т.е. всю исследуемую область, кроме верхней зоны, разбиваем на конечное число точек  $x_i (i = 0, 1, \dots, N)$ , называемых узлами сетки, с шагом  $\Delta x = x_{i+1} - x_{i-1}$ . Затем всю систему дифференциальных уравнений вместе с начальными и граничными условиями представляем в конечноразностном виде, используя неявную двухслойную схему, т.е. функции непрерывных аргументов  $T_1(x, \tau), T_2(x, \tau), T(x, \tau), d(x, \tau)$  заменяем сеточными функциями дискретных аргументов  $T1_i^j, T2_i^j, T_i^j, d_i^j$  где  $t_j = jDt$  - временной слой,  $Dt$  - шаг по времени ( $j = 0, 1, 2, \dots$ ).

Покажем на примере аппроксимацию уравнения (1) при использовании конечно-разностного метода

$$\frac{T1_i^{j+1} - T1_i^j}{\Delta \tau} = a_1 \frac{T1_{i+1}^{j+1} - 2T1_i^{j+1} + T1_{i-1}^{j+1}}{\Delta x_1^2}, i = 1, 2, \dots, N. \quad (12)$$

Начальное и граничное условие на внешней поверхности ограждения примут вид

$$T1_i^0 = t_{10}; \quad (13)$$

$$\lambda_1 \frac{T1_1^{j+1} - T1_0^{j+1}}{\Delta x_1} = \alpha_n (T1_0^{j+1} - T_H^{j+1}). \quad (14)$$

Погрешность замены дифференциального уравнения в частных производных (1) разностным (12) составляет величину  $O(Dt + Dx_1^2)$ . В неявной схеме вычисления на одном шаге требуют больше операций, чем в явной схеме, но зато величину шага  $Dt$  можно выбирать как угодно большой без риска нарушить устойчивость схемы. Все это позволяет значительно уменьшить время, необходимое для решения задачи.

Каждое разностное уравнение с соответствующими граничными условиями представляют собой систему линейных алгебраических уравнений с трехдиагональной матрицей. Эту разностную задачу решаем методом прогонки. По этому методу расчет значений температур в узлах сетки производится по специальным рекуррентным формулам [4]:

$$T1_{i-1}^{j+1} = T1_i^{j+1} P_i + Q_i; \quad i = 1, 2, \dots, N; \quad j = 0, 1, 2, \dots, \quad (15)$$

где  $P_i, Q_i$  - прогоночные коэффициенты.

Найдем формулы для нахождения прогоночных коэффициентов. Подставляя (15) в разностное уравнение (12) и, выражая  $T1_i^{j+1}$  через значения  $T1_{i+1}^{j+1}$ , получим

$$T1_i^{j+1} = \frac{\frac{a_i \Delta \tau}{\Delta x_i^2}}{1 + \frac{2a_i \Delta \tau}{\Delta x_i^2} - \frac{a_i \Delta \tau}{\Delta x_i^2} P_i} T1_{i+1}^{j+1} + \frac{T1_i^j + \frac{a_i \Delta \tau}{\Delta x_i^2} Q_i}{1 + \frac{2a_i \Delta \tau}{\Delta x_i^2} - \frac{a_i \Delta \tau}{\Delta x_i^2} P_i}. \quad (16)$$

Тогда рекуррентные формулы для прогоночных коэффициентов, сопоставляя (15) с (16), примут вид

$$P_{i+1} = \frac{\frac{a_i \Delta \tau}{\Delta x_i^2}}{1 + \frac{2a_i \Delta \tau}{\Delta x_i^2} - \frac{a_i \Delta \tau}{\Delta x_i^2} P_i}; \quad Q_{i+1} = \frac{T1_i^j + \frac{a_i \Delta \tau}{\Delta x_i^2} Q_i}{1 + \frac{2a_i \Delta \tau}{\Delta x_i^2} - \frac{a_i \Delta \tau}{\Delta x_i^2} P_i}. \quad (17)$$

При этом, используя граничные условия, находим первые прогоночные коэффициенты. Так, применяя разностное граничное условие (14), найдем первые прогоночные коэффициенты  $P_1, Q_1$  в зоне  $0 \leq x \leq \delta_1$ . Для этого выразим из (14)  $T1_0^{j+1}$  через  $T1_1^{j+1}$ :

$$T1_0^{j+1} = \frac{1}{1 + \frac{a_H \Delta x_1}{\lambda_1}} T1_1^{j+1} + \frac{\frac{a_H \Delta x_1}{\lambda_1} T_H^{j+1}}{1 + \frac{a_H \Delta x_1}{\lambda_1}}.$$

Обозначим  $B_1 = a_H \Delta x_1 / \lambda_1$ , тогда

$$T1_0^{j+1} = \frac{1}{1 + B_1} T1_1^{j+1} + \frac{B_1 T_H^{j+1}}{1 + B_1}.$$

Так как (15) при  $i = 1$  примет вид

$$T1_0^{j+1} = T1_1^{j+1} P_1 + Q_1, \quad (19)$$

то, сравнивая (18) с (19), получим первые прогоночные коэффициенты:

$$P_1 = \frac{1}{1 + B_1}, \quad Q_1 = \frac{B_1 T_H^{j+1}}{1 + B_1}. \quad (20)$$

Тогда, используя (17), найдем все прогоночные коэффициенты для  $i = 1, 2, \dots, N_1$  (прямая прогонка). Поступая аналогично, найдем все прогоночные коэффициенты в других зонах.

Для того чтобы осуществить обратный ход метода прогонки, используем граничное условие (10), записанное в разностном виде, и соотношение (15). Действуя подобным образом, найдем значения всех температур.

Можно показать, что достаточными условиями, при которых формулы (15) – (20) имеют смысл и задача имеет единственное решение, являются  $|P_i| \leq 1$  для всех  $i = 1, 2, \dots, N_1$  [4].

Были произведены расчеты на ЭВМ с помощью разработанной программы по данному численному методу и аналитическому методу, используя интегральное преобразование Лапласа, для покрытия картофелехранилищ навалного типа в зимний и весенне-летний период хранения продукции. Конкретные расчеты проведены для картофелехранилища (наземного) с температурой внутреннего воздуха  $T_B = 2^\circ\text{C}$  и с высотой насыпи продукции 2 м.

### Результаты и их обсуждение

Результаты вычислений для температур  $T_{1|x=\delta_1}$  и  $T_{2|x=\delta_2}$  в различные моменты времени сведены в таблицу 1, из которой видно, что отличие между аналитическим и численным решениями составляет  $\approx 3...5\%$ , что дает основу для утверждения о достоверности полученных результатов.

Таблица 1 - Расчетные значения температур на внутренней поверхности покрытия  $T_{1|x=\delta_1}$  и на поверхности слоя продукции  $T_{2|x=\delta_2}$  в различные моменты времени

$t, ^\circ\text{C}$ $t, (\text{час})$	$T_{1 x=\delta_1}$		$T_{2 x=\delta_2}$	
	аналитические	численные	аналитические	численные
1	2,18	2,12	2,22	2,14
12	2,96	3,07	2,58	2,74
24	5,72	5,97	4,20	4,32
36	5,58	5,74	4,39	4,51

Исходя из максимальных суточных значений температур внутренней поверхности покрытия  $T_{1max}$  и слоя продукции  $T_{2max}$ , можно определить максимальные тепловые потоки, поступающие в воздух верхней зоны хранилища в условиях свободной конвекции согласно формуле:

$$q_{max} = q'_{max} + q''_{max}, \quad (21)$$

где  $q_{max}$  - суммарный максимальный конвективный поток, Вт/м<sup>2</sup>;

$q'_{max}$ ,  $q''_{max}$  - максимальные конвективные потоки, поступающие в воздух соответственно от покрытия и слоя продукции, определяемые по формулам [5]:

$$q'_{max} = 2,163(T_{1max} - T_B), \quad (22)$$

$$q''_{max} = 1,163(T_{2max} - T_B). \quad (22)$$

$q''_{max}$  по действующим нормативным документам [6] определяется по формуле:

$$q''_{max} = q_T \rho H, \quad (24)$$

где  $q_T$  - тепловыделения единицы массы продукции, Вт/кг;  $\rho$  - насыпная плотность сырья, кг/м<sup>3</sup>;  $H$  - высота насыпи продукции, м.

Согласно (24)  $q''_{max}$  зависит только от  $H$  и температуры продукции, то есть является функцией состояния слоя, его внутренней энергии. В действительности же  $q''_{max}$  является функцией процесса теплообмена между слоем и окружающей его средой, процессом передачи его внутренней энергии в воздух верхней зоны хранилища. При этом только часть внутренней энергии слоя поступает в верхнюю зону, ибо, как показали расчеты, в теплообмене участвует только слой, не превышающий 0,5 м, как видно из рисунке 2.

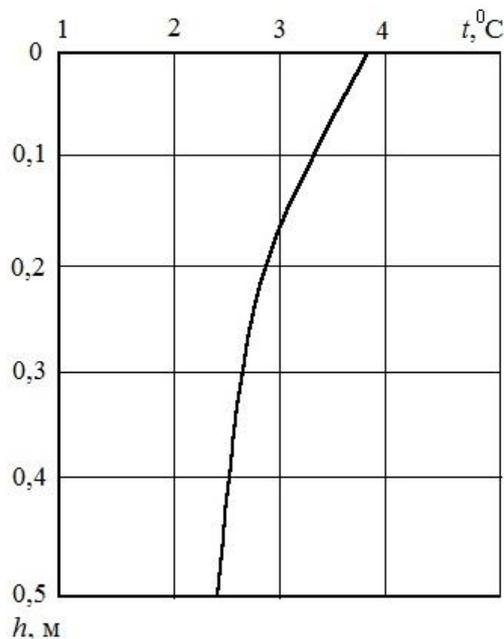


Рисунок 2 - Температурное распределение в слое продукции

Таким образом, налицо принципиальные расхождения между формулами (23) и (24). Количество теплоты  $q''_{max}$ , подсчитанное по формуле (24), значительно превышает количество теплоты, подсчитанное по формуле (23). Так, при высоте насыпи 4 м удельные теплоступления по (24) составляют  $q''_{max} = 23,7 \text{ Вт/м}^2$ , в то время как по (23)  $q''_{max} = 6,87 \text{ Вт/м}^2$ .

### Выводы

1. Максимальные конвективные потоки тепла, поступающие в воздух верхней зоны хранилища, зависят от значений амплитуды суточных колебаний температуры  $T_{1max}$ ,  $T_{2max}$ . Чтобы уменьшить  $q_{max}$ , необходимо снизить их амплитуду колебаний.
2. Расчет  $q''_{max}$  рекомендуется вести по формуле (23).
3. Снижение  $T_{2max}$  позволит уменьшить энергетические расходы на охлаждение слоя за счет сокращения времени работы систем охлаждения и вентиляции.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бодров, В.И. Хранение картофеля и овощей: Инженерные методы создания и поддержания технологического микроклимата [Текст] / В.И. Бодров. – Горький: Волго-Вятское кн. Изд-во, 1985. – 224 с.
2. Жадан, В.З. Влагообмен в плодоовощехранилищах [Текст] / В.З. Жадан. – М.: Агропромиздат, 1985. – 197 с.
3. Кондрашов, В.И. Моделирование микроклимата в овощекартофелехранилищах с воздушной тепловой защитой внешних ограждений [Текст] / В.И. Кондрашов, А.М. Моисеенко, Г.М. Прусаков // Доклады РАСХН. - 2005. – №3. - С. 63-66.
4. Годунов, С.К. Разностные схемы [Текст] / С.К. Годунов, В.С. Рябенский. – М.: Наука, 1973. – 400 с.

5. Богословский, В.Н. Тепловой режим здания [Текст] / В.Н. Богословский. – М.: Стройиздат, 1979. – 248 с.
6. Пособие по теплотехническому расчету зданий для хранения и переработки картофеля и овощей [Текст] / НИИСФ – М.: Стройиздат, 1986. – 61 с.

**А.М. Моисеенко**

Орловский государственный аграрный университет, г. Орел  
Доктор технических наук, профессор кафедры информационных технологий и математики  
E-mail: [puare54@yandex.ru](mailto:puare54@yandex.ru)

**О.Г. Лысак**

Орловский государственный университет, г. Орел  
Старший преподаватель кафедры технологии и предпринимательства  
E-mail: [lisak.1970@mail.ru](mailto:lisak.1970@mail.ru)

---

A. MOISEENKO, O. LYSAK

**MODELING OF TEMPERATURE AND HUMIDITY  
MODE IN THE POTATO-VEGETABLE STORES**

*A mathematical model study of non-stationary heat and moisture transfer in biological production, located in the vault. Theoretical studies in the buildings for storage of lush agricultural products in order to reduce losses of stored materials. The implementation of the mathematical model was carried out numerically. We consider an approximate method for solving the boundary value problem based on explicit finite-difference scheme using the sweep method. The distributions of the temperature and moisture content on the output section of the bed at different times, which can reduce energy for cooling the calculations of the stored raw material layer by reducing the time of the cooling and ventilation systems.*

**Keywords:** value problem, mathematical model, temperature and humidity conditions, store.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Bodrov, V.I. Khraneniye kartofelya i ovoshchey: Inzhenernyye metody sozdaniya i podderzhaniya tekhnologicheskogo mikroklimata [Tekst] / V.I. Bodrov. – Gor'kiy: Volgo-Vyatskoye kn. Izd-vo, 1985. – 224 s.
2. Zhadan, V.Z. Vлагообмен v plodoovoshchekhranidishchakh [Tekst] / V.Z. Zhadan. – М.: Agropromizdat, 1985. – 197 s.
3. Kondrashov, V.I. Modelirovaniye mikroklimata v ovoshchekartofelekhranilishchakh s vozduшной teplo-vo-y zashchitoy vneshnikh ograzhdeniy [Tekst] / V.I. Kondrashov, A.M. Moiseyenko, G.M. Prusakov // Doklady RASKHN. - 2005. – №3. - S. 63-66.
4. Godunov, S.K. Raznostnyye skhemy [Tekst] / S.K. Godunov, V.S. Ryaben'kiy. – М.: Nauka, 1973. – 400 s.
5. Bogoslovskiy, V.N. Teplovoy rezhim zdaniya [Tekst] / V.N. Bogoslovskiy. – М.: Stroyizdat, 1979. – 248 s.
6. Posobiye po teplotekhnicheskomu raschetu zdaniy dlya khraneniya i pererabotki kartofelya i ovoshchey [Tekst] / NIISF – М.: Stroyizdat, 1986. – 61 s.

**A. Moiseenko**

Орловский государственный аграрный университет, г. Орел  
Доктор технических наук, профессор кафедры информационных технологий и математики  
E-mail: [puare54@yandex.ru](mailto:puare54@yandex.ru)

**O. Lysak**

Орловский государственный университет, г. Орел  
Старший преподаватель кафедры технологии и предпринимательства  
E-mail: [lisak.1970@mail.ru](mailto:lisak.1970@mail.ru)

РУМЯНЦЕВА В.Е., ГРУЗИНЦЕВА Н.А., ПЕСТЕРЕВАЛ.А.,  
МОСКВИТИНА Т.В., ГУСЕВ Б.Н.

## ПОСТРОЕНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УКЛАДКИ ГЕОТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРИАЛА В ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО\*

*В статье предложена методика оценки качества укладки геотекстильного материала (ГТМ) в земляное полотно. Приводится алгоритм новой методики, основанный на оценке качества используемого геотекстильного материала торговой марки «Геоманит Д» с учетом экспертного мнения специалистов в области дорожного строительства. В соответствии с приведенной шкалой порядка дана оценка полученному результату расчета обобщенного показателя качества укладки ГТМ. Для автоматизации методики оценки качества укладки ГТМ в земляное полотно предложена компьютерная программа, которая позволяет снизить трудоемкость, быстро получить результаты расчета и сделать соответствующие выводы.*

**Ключевые слова:** нормативные документы, геотекстильный материал, земляное полотно, качество укладки, дискретная весовая функция, обобщенный показатель.

### Введение

В настоящее время при строительстве и ремонте автомобильных дорог все чаще используются инновационные материалы, к которым относятся и различные виды геотекстильных материалов [1]. Согласно [2] геотекстильные материалы (ГТМ) предназначены для формирования земляного полотна, которое, в свою очередь, является основой дорожного полотна, и используются для всех классов автомобильных дорог в зависимости от гидрогеологических условий района проложения дороги, а также типа грунтов [3]. Укладка ГТМ осуществляется в соответствии с техническими рекомендациями [4] и включает в себя следующие этапы: подготовительные работы; укладка ГТМ; соединение полос ГТМ; засыпка и уплотнение ГТМ. Контроль качества на строительной площадке с применением ГТМ регламентируется рекомендациями [5], в которых представлены: технические требования к ГТМ и к технологии строительства дорог. Так как данный нормативный документ предусматривает контроль качества дорожно-строительных работ при применении ГТМ в целом, то целесообразно отдельно выделить оценку качества работ непосредственно по технологии укладки геотекстильного материала в земляное полотно. Для соответствующей оценки необходима методика, которая позволит оценить качество на всех этапах укладки ГТМ.

### Формирование алгоритма оценки

В качестве объекта исследования выбран иглопробивной нетканый геотекстильный материал торговой марки «Геоманит Д» [6], который использовался при строительстве и ремонте участков автомобильных дорог в Ивановской области. Алгоритм количественной оценки качества укладки ГТМ в земляное полотно представлен на рис. 1 и состоит из последовательных операций, связанных с изучением нормативных документов и формированием стратегии по оценке качества укладки ГТМ.

Согласно рис. 1 оценка качества применяемого ГТМ основывается на выполнении следующих условий: технические требования и протоколы по результатам испытаний. При выполнении необходимого условия соответствия качества ГТМ следующими этапами оценки являются: выявление показателей качества земляного полотна; уточнение нормативных (базовых) значений показателей качества; установление весомости показателей качества на основании использования методов ранжирования; свертывание обобщенного показателя качества с помощью методов усреднения; проверка соответствия значения обобщенного показателя качества установленному уровню и при условии выполнения всех установленных требований,

\* Статья подготовлена в рамках выполнения проектной части госзадания №11.1898.2014/К Минобрнауки России

подписание акта о приёмке дорожных работ. В случае несоответствия качества ГТМ, данный вид продукции отгружается предприятию-изготовителю, а при выявлении нарушений установленных нормативных требований в процессе укладки дорожного полотна подрядчик принимает корректирующие мероприятия по их устранению.

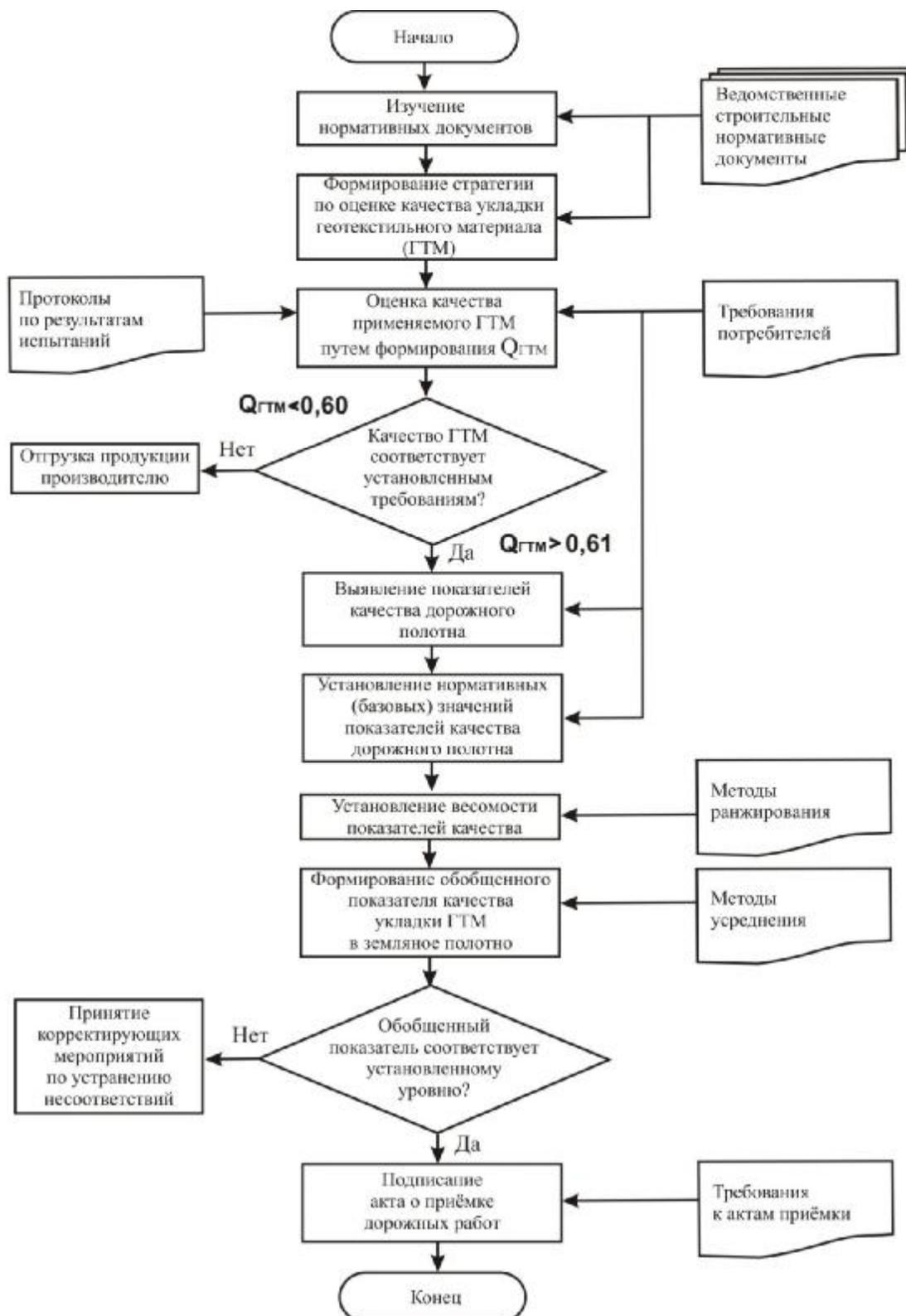


Рисунок 1 – Алгоритм оценки качества укладки геотекстильного материала в земляное полотно

На основании представленного алгоритма (см. рис. 1) одним из ключевых этапов является оценка качества используемого в укладке ГТМ. Оценку качества осуществляли с использованием методики, подробно описанной в [7], которая заключалась в формировании комплексного показателя качества ( $Q_{ГТМ}$ ) геотекстильного материала:

$$Q_{ГТМ} = \prod_{j=1}^m \frac{Y_j}{\|Y_j\|} \times \beta_j, \quad (1)$$

где  $m$  - число единичных показателей качества ГТМ;

$Y_j, \|Y_j\|$  - соответственно фактическое и нормативное (базовое) значения  $j$ -го единичного показателя качества,  $j = \overline{1, m}$ ;

$$\beta_j = \begin{cases} i + 1, & \text{если } Y_j < \|Y_j\|, \\ i - 1, & \text{если } Y_j > \|Y_j\|, \\ i, & \text{если } Y_j = \|Y_j\|; \end{cases}$$

$\beta_j$  - коэффициент весомости  $j$ -го единичного показателя качества, определяемый из условия  $\prod_{j=1}^m \beta_j = 1$ .

Согласно [7] комплексная оценка качества включала в себя несколько этапов: выделение наиболее информативных единичных показателей качества (ЕПК) геотекстильного материала (толщина, плотность, фильтрующая способность, прочность, деформация и водопроницаемость); установление нормативных и фактических значений ЕПК, а также ранжирование ЕПК [8].

Согласно выражению (1) и данных, приведенных в работе [7] комплексный показатель качества ГТМ торговой марки «Геоманит Д» составил 0,94, что соответствует "высокому" качеству ГТМ.

### Реализация методики оценки

В соответствии с алгоритмом, представленном на рисунке 1, в таблице 1 приведены наименования единичных показателей качества, их нормативные и фактические значения в результате оценки укладки геотекстильного материала в земляное полотно на основании технических рекомендаций [4].

При определении коэффициентов весомости использовали результаты опросов специалистов, работающих в области дорожного строительства, с проставлением и обработкой соответствующих рангов ( $R$ ) экспертов по методике [9] с применением выражения для коэффициента весомости  $\alpha_i = \frac{R_i^{-1}}{\sum_{i=1}^n R_i^{-1}}$ , при условии, что  $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$ ; (где  $i = \overline{1, n}$ , номер показателя качества).

Результаты ранжирования также приведены в таблице 1.

На заключительном этапе формировали обобщенный показатель качества (ОПК) укладки ГТМ в земляное полотно с использованием арифметического способа в следующей модификации:

$$\text{ОПК} = \prod_{i=2}^n (q_x)_i \times \alpha_i \times Q_{ГТМ}^* \times 1, \quad (2)$$

где  $(q_x)_i$  – относительная величина  $i$ -го единичного показателя качества;

$$(q_x)_i = \begin{cases} \frac{X_i}{\|X_i\|} \alpha_i & \text{при } X_i \neq \|X_i\|, \\ \frac{\|X_i\|}{X_i} \alpha_i & \text{при } X_i = \|X_i\|, \\ \frac{X_i}{\|X_i\|} = 1 & \text{при } X_i = \|X_i\|. \end{cases}$$

$\alpha_i$  – коэффициент весомости  $i$ -го единичного показателя качества, определяемый из условия  $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$ ;

$Q^*$  - дискретная функция, характеризующая уровень качества геотекстильного материала и принимающая следующие значения:

$$Q_{ГТМ}^* = 1 \text{ при } Q_{ГТМ} \geq 0,60 \dots 1,00;$$

$$Q_{ГТМ}^* = 0 \text{ при } Q_{ГТМ} > 0,01 \dots 0,60.$$

Таблица 1 - Фактические и нормативные значения качества дорожно-строительных работ при укладке ГТМ

Показатели качества и единица измерения	Кодированное обозначение	Нормативное значение	Фактическое значение	Коэффициент весомости $\alpha_i$
1	2	3	4	5
Комплексный показатель качества ГТМ, отн. ед.	$X_1 = Q_{ГТМ}$	$Q_{\max} = 1$ $Q_{\min} = 0$	0,94	-
Поперечный уклон земляного полотна, баллы	$X_2$	$(X_2)_{\max} = 5$ $(X_2)_{\min} = 1$	4	0,1
Плотность готового земляного полотна, отн. ед.	$X_3$	не ниже 0,98 ... 1,0	1,5	0,2
Ровность корыта и плотность грунта в нем, м	$X_4$	по ширине не более 0,05	0,03	0,2
Ровность раскладки ГТМ, баллы	$X_5$	$(X_5)_{\max} = 5$ $(X_5)_{\min} = 1$	4	0,1
Ширина перекрытия смежных полотен, см	$X_6$	1) при скреплении скобами не менее 10; 2) при сшивании не менее 5	при скреплении скобами 9	0,1
Шаг и прочность соединения полотен скобами, баллы	$X_7$	$(X_7)_{\max} = 5$ $(X_7)_{\min} = 1$	4	0,2
Толщина и уровень уплотнения песчаного дренирующего слоя над ГТМ, см	$X_8$	не менее 10	8	0,1

В качестве примера приведем расчет ОПК укладки геотекстильного материала в земляное полотно согласно данным, представленным в таблице 1:

$$\text{ОПК} = (4/5 \cdot 0,1 + (1,5/1,0)^{-1} \cdot 0,2 + 0,03/0,05 \cdot 0,2 + 4/5 \cdot 0,1 + 9/10 \cdot 0,1 + 4/5 \cdot 0,2 + 8/10 \cdot 0,1) \cdot 1 = 0,71.$$

При необходимости можно осуществить перевод полученного значения ОПК из шкалы отношений в шкалу порядка в следующем варианте: 0,81...1,00 – высокое качество; 0,61...0,80 – хорошее качество; 0,01...0,60 – низкое качество.

Для автоматизации процесса расчета обобщенного показателя качества укладки, использовали компьютерную программу [10], составленную в оболочке Java 8 (рисунок 2).

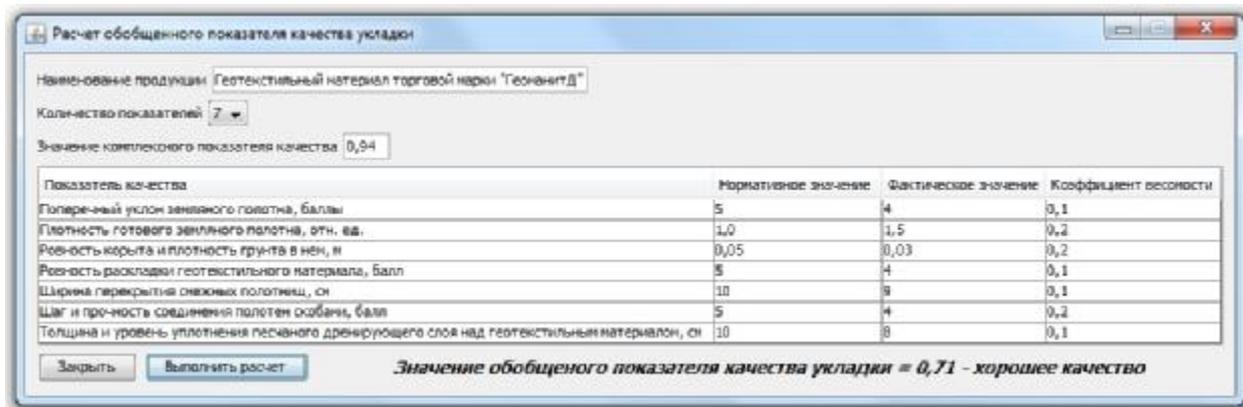


Рисунок 2 – Окно компьютерной программы оценки качества укладки геотекстильного материала в земляное полотно

Таким образом, технические рекомендации [4] по технологии строительства дорог можно дополнить предлагаемой методикой, позволяющей комплексно оценить качество укладки геотекстильного материала в земляное полотно.

## Выводы

1. Предложена новая методика оценки качества укладки геотекстильного материала в земляное полотно с применением обобщенного показателя качества.
2. Разработан алгоритм методики оценки качества укладки геотекстильного материала в земляное полотно.
3. Приведен пример расчета обобщенного показателя качества укладки геотекстильного материала.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федосов, С.В. Проблемы оценки качества и стандартизации геосинтетических материалов в дорожном строительстве [Текст] / С.В. Федосов, П.И. Поспелов, Т.О. Гойс, Н.А. Грузинцева, А.Ю. Матрохин, Б.Н. Гусев // Academia. Архитектура и реставрация. – 2016. - №1. – С. 9-14.
2. СП 34.13330.2012. Свод правил. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85.
3. Данилевич, Д.В. Безопасность дорожного движения, как результат обеспечения качества в дорожном хозяйстве [Текст] / Д.В. Данилевич, О.В. Колчева // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. – 2009. - №3. – С. 85-88.
4. ТР 128-01. Технические рекомендации по технологии строительства дорог с применением дорнита и других геотекстильных материалов и геосеток. – Москва, 2002.
5. ОДМ 218.2.046-2014. Рекомендации по выбору и контролю качества геосинтетических материалов, применяемых в дорожном строительстве, РОСАВТОДОР. – Москва, 2014.
6. СТО 63165618-002-2010. Полотна нетканые геотекстильные марок «Геоманит» для строительства. Технические условия. – Железногорск, 2010. – 17 с.
7. Грузинцева, Н.А. Обеспечение требуемого уровня качества геотекстильных материалов для дорожного строительства [Текст] / Н.А. Грузинцева, М.А. Лысова, Т.В. Москвитина, Б.Н. Гусев // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015. - №2. - С. 19-22.

8. Грузинцева, Н.А. Проектирование качества геотекстильных материалов для дорожного строительства [Текст] / Н.А. Грузинцева, М.А. Лысова, Т.В. Москвитина, Б.Н. Гусев // Приволжский научный журнал. – 2015. – №3. – С. 82-88.

9. Лысова, М.А. Математические методы в проектировании и оценивании качества текстильных материалов и изделий [Текст] / М.А. Лысова, И.А. Ломакина, С.В. Лунькова, Б.Н. Гусев. – Иваново: ИГТА, 2012. – 252 с.

10. Грузинцева, Н.А. Компьютерная программа оценки качества укладки геотекстильного материала в земляное полотно / Н.А. Грузинцева, Л.А. Пестерева, Д.А. Панов, Б.Н. Гусев, Е.Н. Никифорова // Свидетельство о регистрации электронного ресурса №21693 в Объединенном фонде электронных ресурсов «Наука и образование». Оpubл. 10.03.2016.

**В.Е. Румянцева**

Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново  
Доктор технических наук, заведующий кафедрой химии, экологии и микробиологии  
E-mail: [varym@gmail.com](mailto:varym@gmail.com)

**Н.А. Грузинцева**

Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново  
Кандидат технических наук, докторант кафедры материаловедения, товароведения, стандартизации и метрологии  
E-mail: [gruzincevan@mail.ru](mailto:gruzincevan@mail.ru)

**Л.А. Пестерева**

Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново  
Старший преподаватель кафедры материаловедения, товароведения, стандартизации и метрологии  
E-mail: [mtsm@ivgpu.com](mailto:mtsm@ivgpu.com)

**Т.В. Москвитина**

Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново  
Кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог  
E-mail: [moskvitina\\_tv@mail.ru](mailto:moskvitina_tv@mail.ru)

**Б.Н. Гусев**

Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново  
Доктор технических наук, заведующий кафедрой материаловедения, товароведения, стандартизации и метрологии  
E-mail: [mtsm@ivgpu.com](mailto:mtsm@ivgpu.com)

---

V. RUMYANTSEVA, N. GRUZINTSEVA, L. PESTEREVA,  
T. MOSKVITINA, B. GUSEV

**THE CONSTRUCTION METHODS FOR THE ASSESSMENT  
OF PLACEMENT QUALITY GEOTEXTILE MATERIAL  
IN THE ROADBED**

*In article, the technique of an assessment of quality of laying of geotextile material (GTM) in a road bed is offered. The algorithm of a new technique based on an assessment of quality of the used geotextile material of the Geomanit D trademark taking into account expert opinion of experts in the field of road construction is given. According to the given scale of an order the assessment is given to the received result of calculation of the generalized indicator of quality of laying of GTM. For automation of a technique of an assessment of quality of laying of GTM in a road bed the computer program which allows to reduce labor input, to quickly receive results of calculation and to draw the corresponding conclusions is offered.*

**Key words:** *normative documents, geotextile material, subgrade, pavement quality, a discrete weighting function, the generalized indicator.*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Fedosov, S.V. Problemy otsenki kachestva i standartizatsii geosinteticheskikh materialov v dorozhnom stroitel'stve [Tekst] / S.V. Fedosov, P.I. Pospelov, T.O. Goys, N.A. Gruzintseva, A.YU. Matrokhin, B.N. Gusev // Academia. Arkhitektura i restavratsiya. – 2016. - №1. – S. 9-14.
2. SP 34.13330.2012. Svod pravil. Avtomobil'nyye dorogi. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.05.02-85.
3. Danilevich, D.V. Bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya, kak rezul'tat obespechenii kachestva v dorozhnom khozyaystve [Tekst] / D.V. Danilevich, O.V. Kolcheva // Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo uni-versiteta. Seriya: Stroitel'stvo i transport. – 2009. - №3. – S. 85-88.
4. TR 128-01. Tekhnicheskiye rekomendatsii po tekhnologii stroitel'stva dorog s primeneniym dornita i drugih geotekstil'nykh materialov i geosetok. – Moskva, 2002.
5. ODM 218.2.046-2014. Rekomendatsii po vyboru i kontrolyu kachestva geosinteticheskikh materialov, primenyayemykh v dorozhnom stroitel'stve, ROSAVTODOR. – Moskva, 2014.
6. STO 63165618-002-2010. Polotna netkanyye geotekstil'nyye marok «Geomanit» dlya stroitel'stva. Tekhnicheskiye usloviya. – Zheleznogorsk, 2010. – 17 s.
7. Gruzintseva, N.A. Obespecheniye trebuyemogo urovnya kachestva geotekstil'nykh materialov dlya dorozhno-go stroitel'stva [Tekst] / N.A. Gruzintseva, M.A. Lysova, T.V. Moskvitina, B.N. Gusev // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2015. - №2. - S. 19-22.
8. Gruzintseva, N.A. Proyektirovaniye kachestva geotekstil'nykh materialov dlya dorozhnogo stroitel'stva [Tekst] / N.A. Gruzintseva, M.A. Lysova, T.V. Moskvitina, B.N. Gusev // Privolzhskiy nauchnyy zhurnal. – 2015. - №3. – S. 82-88.
9. Lysova, M.A. Matematicheskiye metody v proyektirovanii i otsenivanii kachestva tekstil'nykh materialov i izdeliy [Tekst] / M.A. Lysova, I.A. Lomakina, S.V. Lun'kova, B.N. Gusev. – Ivanovo: IGTA, 2012. – 252 s.
10. Gruzintseva, N.A. Komp'yuternaya programma otsenki kachestva ukladki geotekstil'nogo materiala v zemlyanoye polotno / N.A. Gruzintseva, L.A. Pestereva, D.A. Panov, B.N. Gusev, Ye.N. Nikiforova // Svidetel'stvo o registratsii elektronnoho resursa №21693 v Ob'yedinennom fonde elektronnykh resursov «Nauka i obrazova-niye». Publ. 10.03.2016.

**V. Rumyantseva**

Ivanovo state politechnical university, Ivanovo  
Doctor of technical sciences, head of chemistry, ecology and microbiology department  
E-mail: [varrym@gmail.com](mailto:varrym@gmail.com)

**N. Gruzintseva**

Ivanovo state politechnical university, Ivanovo  
Candidate of technical sciences, postgraduate student of the materials, commodity, standardization and certification department  
E-mail: [gruzincevan@mail.ru](mailto:gruzincevan@mail.ru)

**L. Pestereva**

Ivanovo state politechnical university, Ivanovo  
Senior lecturer of the materials, commodity, standardization and certification department  
Старший преподаватель кафедры материаловедения, товароведения, стандартизации и метрологии  
E-mail: [mtsm@ivgpu.com](mailto:mtsm@ivgpu.com)

**T. Moskvitina**

Ivanovo state politechnical university, Ivanovo  
Candidate of technical sciences, associated professor of the road department  
E-mail: [moskvitina\\_tv@mail.ru](mailto:moskvitina_tv@mail.ru)

**B. Gusev**

Ivanovo state politechnical university, Ivanovo  
Doctor of technical sciences, head of the materials, commodity, standardization and certification department  
E-mail: [mtsm@ivgpu.com](mailto:mtsm@ivgpu.com)

**Уважаемые авторы!**  
**Просим Вас ознакомиться с основными требованиями**  
**к оформлению научных статей**

- Представляемый материал должен быть **оригинальным, не опубликованным ранее** в других печатных изданиях.
- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах **формата А4** и содержит от **4 до 9 страниц**; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья должна быть набрана 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 вверху – 2 см.
- 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.
- **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.**
- Если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания рецензента. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи.
- Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки – РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

**В тексте статьи** не рекомендуется применять:

- обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
- для одного и того же понятия различные научные термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- произвольные словообразования;
- сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

**Обязательные элементы:**

- **заглавие (на русском и английском языке)** публикуемого материала должно быть точным и емким, слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;
- **аннотация (на русском и английском языке)** описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый средний объем – 500 печатных знаков;
- **ключевые слова (на русском и английском языке)** – это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов.
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи.

Право использования произведений предоставлено авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации.

**С полной версией требований к оформлению научных статей**  
**Вы можете ознакомиться на сайте [www.gu-unpk.ru](http://www.gu-unpk.ru)**

---

*Учредитель журнала*  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Государственный университет –  
учебно-научно-производственный комплекс»  
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)

*Адрес учредителя журнала*  
302020, г. Орел, ул. Наугорское шоссе, 29

*Контактные данные учредителя*  
+7 (4862) 42-00-24  
[www.gu-unpk.ru](http://www.gu-unpk.ru)  
E-mail: [unpk@ostu.ru](mailto:unpk@ostu.ru)

*Адрес редакции*  
302006, г. Орел, ул. Московская, 77.

*Контактные данные редакции*  
+7 (4862) 73-43-49  
[www.gu-unpk.ru/science/journal/sir](http://www.gu-unpk.ru/science/journal/sir)  
E-mail: [str\\_and\\_rek@mail.ru](mailto:str_and_rek@mail.ru)

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании  
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор С.Ю. Савин  
Компьютерная верстка С.Ю. Савин

Подписано в печать 16.04.2016 г.  
Дата выхода в свет 23.04.2016 г.  
Формат 70×108 1/16. Печ. л. 5,9.  
Тираж 400 экз. Цена свободная.  
Заказ № 132/16п2

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической  
базе ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»  
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.