

**ЛИРА**  
СОФТ

# СОВРЕМЕННАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ

XIII Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 95-летию юбилею НИУ МГСУ - МИСИ

**Сборник докладов и тезисов**

© Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2016

ISBN 978-5-7264-1427-0

Москва 2016

7 апреля 2016

УДК 691+72.01  
ББК 38.3  
С23

*При поддержке:*  
*Федерального государственного бюджетного учреждения*  
*«Российская академия архитектуры и строительных наук» (РААСН);*  
*ООО «ЛИРА софт»*

**С23 Современная строительная наука и образование.** XIII Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 95-летию юбилею НИУ МГСУ - МИСИ [Электронный ресурс] : сборник докладов и тезисов / под общей ред. О.А. Ковальчука ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-та. — Электрон. дан. и прогр. (3,63 Мб). — Москва : Изд-во Моск. гос. строит. ун-та, 2016. — Режим доступа: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/>.— Загл. с титул. экрана.  
ISBN 978-5-7264-1427-0

В настоящий сборник входят доклады и тезисы участников XIII Всероссийской научно-практической конференции «Современная строительная наука и образование», посвященной 95-летию юбилею НИУ МГСУ – МИСИ, по направлениям и секциям: «Высшая математика», «Информатика и прикладная математика», «Строительная физика», «Проблемы химической науки и технологии в современном строительстве», «Техническая механика. Сопротивление материалов», «Теоретическая механика, аэродинамика и аэроакустика», «Философия города. Проблемы охраны и восстановления памятников истории и архитектуры (исторический и культурологический анализ)».

Проведение ежегодных научно-технических конференций ИФО НИУ МГСУ ставит своей целью способствовать разработке и реализации приоритетных направлений развития научно-исследовательской и инновационной деятельности НИУ МГСУ.

*Научное электронное издание*

*Материалы представлены в авторской редакции.*  
*Всю ответственность за содержание и качество представленного материала несут авторы.*

*В оформлении обложки использован макет начальника Центра информации, рекламы и связей с общественностью НИУ МГСУ А.В. Соколова*

© Национальный исследовательский  
Московский государственный  
строительный университет, 2016

*Ответственный за выпуск — Институт фундаментального образования*  
<http://ifo.mgsu.ru/universityabout/Struktura/Instituti/IFO>  
Тел. 8 (499) 183-46-74  
E-mail: ifo@mgsu.ru

Редактор *Т.А Молокова*  
Компьютерная верстка *Т.В. Ждановой*  
Дизайн обложки *А.В. Соколова*

*Для создания электронного издания использовано:*  
Microsoft Word 2007, приложение pdf2swf из ПО Swftools, ПО Adobe Reader,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский  
Московский государственный строительный университет».  
129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ–МГСУ.  
Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.  
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru.

### **В работе конференции приняли участие:**

Представители 8 высших учебных заведений, в том числе из ближнего и дальнего зарубежья:

- ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)
- ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. Ломоносова» (МГУ им. Ломоносова)
- ФГБОУ ВО «Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II» (МГУПС (МИИТ))
- ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова» (РЭУ им. Г.В. Плеханова)
- ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» (РУДН)
- ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет» (ВоГУ)
- ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (ДонНТУ)
- Вроцлавский государственный политехнический университет (Вроцлавская Политехника), Польша.

Научные сотрудники:

- Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН)
- Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН)
- Центральный научно-исследовательский институт машиностроения (ЦНИИ-Маш)
- Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций им. Кучеренко (ЦНИИСК)
- НИЦ «СтаДиО»

Представители органов государственной власти, научно-производственных объединений и организаций:

- ФАУ «Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве» (ФАУ «ФЦС»)
- ООО «ЛИРА софт»
- ООО «Научно-производственный консорциум Изотермик»
- ООО «Фидесис», ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева»
- Компания ТехноНИКОЛЬ
- ДП Донецкий ПромстройНИИпроект
- ООО "Инженерные инновации" (г.Донецк)
- ЦОК "Национального объединения экспертов градостроительной деятельности "СРОСЭКСПЕРТИЗА"
- ООО «Стройэкспертиза»

В ходе конференции состоялось пленарное заседание с обсуждением итогов работы, на заседаниях круглого стола были приняты резолюции по результатам работы секций, для гостей организована экскурсия по НИУ МГСУ.

## РЕДАКЦИОННЫЙ КОМИТЕТ ПО ПОДГОТОВКЕ СБОРНИКА ДОКЛАДОВ И ТЕЗИСОВ

**Председатель оргкомитета:** А. А. Волков – ректор  
**Заместители председателя:** А.П. Пустовгар – проректор  
Е.В. Королев – проректор

### Члены оргкомитета:

|                     |                                                        |
|---------------------|--------------------------------------------------------|
| З.М. Штымов         | проректор                                              |
| А.О. Адамцевич      | зам. начальника Управления научной политики            |
| А.О. Ковальчук      | директор Института фундаментального образования (ИФО)  |
| Г.А. Джинчвелашвили | зам. директора ИФО по научной работе                   |
| Л.Ю. Фриштер        | зав. кафедрой Высшей математики                        |
| В.И. Андреев        | зав. кафедрой Сопротивления материалов                 |
| Ю.В. Осипов         | и.о. зав. кафедрой Информатики и прикладной математики |
| Ю.В. Устинова       | зав. кафедрой Общей химии                              |
| Р.Н. Степанов       | зав. кафедры Теоретической механики и аэродинамики     |
| М.И. Панфилова      | и.о. зав. кафедрой Физики                              |
| Т.А. Молокова       | зав. кафедрой Истории и философии                      |
| Н.Н. Денисенкова    | доцент кафедры Истории и философии                     |
| Т.В. Жданова        | студент магистратуры ИФО                               |

### Научный комитет:

|                  |                                              |
|------------------|----------------------------------------------|
| А.А. Волков      | член-корр. РААСН, д.т.н., профессор          |
| В.И. Травуш      | Академик РААСН, д.т.н., профессор            |
| Н.И. Карпенко    | Академик РААСН, д.т.н., профессор            |
| В.И. Андреев     | Академик РААСН, д.т.н., профессор            |
| А.М. Белостоцкий | член-корр. РААСН, д.т.н., профессор          |
| П.А. Акимов      | член-корр. РААСН, д.т.н., профессор          |
| В.Л. Мондрус     | д.т.н., профессор (НИУ МГСУ)                 |
| С.И. Трушин      | д.т.н., профессор (НИУ МГСУ)                 |
| Г.С. Варданян    | д.т.н., профессор (НИУ МГСУ)                 |
| О.В. Мкртычев    | д.т.н., профессор (НИУ МГСУ)                 |
| А.Г. Тамразян    | д.т.н., профессор (НИУ МГСУ)                 |
| М.Ю. Абелев      | д.т.н., профессор (НИУ ВШЭ)                  |
| А.М. Курзанов    | д.т.н., профессор (ФГАОУ ВО РУДН)            |
| А.А. Локтев      | д.ф.-м.н., профессор (ФГБОУ ВО МГУПС - МИИТ) |
| С.В. Кузнецов    | д.ф.-м.н., профессор (ИПМех РАН)             |
| Е.Н. Курбацкий   | д.т.н., профессор (ФГБОУ ВО МГУПС - МИИТ)    |
| В.Б. Зылев       | д.т.н., профессор (ФГБОУ ВО МГУПС - МИИТ)    |
| В.А. Пшеничкина  | д.т.н., профессор (ФГБОУ ВПО ВолгГАСУ)       |

## СОДЕРЖАНИЕ

**Ковальчук О.А.**

*Директор Института фундаментального образования НИУ МГСУ, профессор, кандидат технических наук*

Вступительное слово ..... 9

**Секция «Высшая математика» ..... 10**

**Рошка О.О.**

Применение дифференциальных уравнений при прогнозировании фондового рынка ..... 11

**Рошка О.О., Пирожков В.Г.**

Применение дробного дифференциального уравнения Фоккера-Планка для прогнозирования фондового рынка ..... 14

**Секция «Информатика и прикладная математика» ..... 17**

**Осипов Ю.В., Сафина Г.Л.**

Моделирование тестов по математике ..... 18

**Лошков И.В.**

Стандарт размещения полей ввода-вывода в компьютерных программах тестирования ..... 19

**Сальникова М.А.**

Структура алгоритма взаимодействия между программными комплексами конечно-элементного моделирования и оптических расчетов ..... 24

**Секция «Строительная физика» ..... 27**

**Панфилова М.И., Фомина М.В.**

Скорость структурообразования композитных растворов на основе АНТ ..... 28

**Воротынцева И.И.**

Автофазный СВЧ конвертер ..... 29

**Леонова Д.А.**

Композитные системы на основе использования 3D – НКМ нанокристаллического модификатора ..... 30

**Секция «Техническая механика и сопротивление материалов» ..... 31**

**Авершьева А.В.**

Волны Лэмба в неразрушающей диагностике элементов строительных конструкций ..... 32

**Бутырский С.Н., О.А. Ковальчук**

Об использовании и применении вибро-сейсмогасящих опор в зданиях различной этажности. Основные задачи вибро-сейсмозащиты ..... 39

**Завадская Е. П., Ковальчук О. А.**

Российские и европейские принципы оценки риска аварии, их сравнение, выявление достоинств и недостатков ..... 42

|                                                                                                                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Пшеничкина В.А., Рекунов С.С., Дроздов В.В., Чаускин А.Ю.</b><br>Практический метод моделирования случайного процесса<br>сейсмического смещения грунта .....                    | 44        |
| <b>Ковальчук О.А.</b><br>Моделирование элементов каркаса здания.....                                                                                                               | 50        |
| <b>Филин Ю.Н., Картавцев Н.С., Картавцев И.С., Веселов В.И.</b><br>Технология построения формографики двухкомпонентных информативных<br>объектов гиперкубической архитектуры ..... | 53        |
| <b>Царенко С.Н.</b><br>Расчет конструкций с переменной изгибной жесткостью<br>на динамические воздействия .....                                                                    | 61        |
| <b>Шигапов Р.Р., Ковальчук О.А.</b><br>Обзор упрощенных методик расчета резервуаров на сейсмические воздействия .....                                                              | 69        |
| <b>Секция « Теоретическая механика, аэродинамика и аэроакустика» .....</b>                                                                                                         | <b>71</b> |
| <b>Киселёв Ф.Б., Сергеев Ф.В.</b><br>Модель упруго-вязко-пластического поведения сооружения совместно<br>с грунтовым основанием.....                                               | 72        |
| <b>Локтев А.А., Степанов К.Д., Поляков А.Г.</b><br>Модель взаимодействия транспортного средства и железнодорожного полотна с уче-<br>том инженерно-геологических факторов .....    | 79        |
| <b>Секция «Философия города. Проблемы охраны и восстановления памятни-<br/>ков истории и архитектуры (исторический и культурологический анализ)» .....</b>                         | <b>88</b> |
| <b>Молокова Т.А.</b><br>Значение изучения архитектурных памятников Москвы для студентов<br>строительного университета.....                                                         | 89        |
| <b>Бызова О.М.</b><br>О последней реставрации Благовещенского собора Московского Кремля.....                                                                                       | 91        |
| <b>Гацунаев К.Н.</b><br>Дом Ф.О. Шехтеля на Большой Садовой улице как итог эволюции<br>творческого метода мастера .....                                                            | 93        |
| <b>Ефремова М.Г., Азупова В.В.</b><br>Памятники архитектуры г. Воронежа .....                                                                                                      | 95        |
| <b>Мурашев А.А.</b><br>Некоторые аспекты строительства русских дворянских усадеб в работах<br>барона Н.Н. Врангеля.....                                                            | 98        |

**Посвятенко Ю.В.**

Характерные черты модерна в творчестве Ф.О. Шехтеля  
(на примере Ярославского вокзала)..... 103

**Посвятенко Ю.В., Кожокару А.С., Посвятенко С.В.**

Мытищинский филиал МГСУ: пути становления и развития ..... 105

**Фролов В.П.**

Некоторые аспекты истории строительства и реставрации  
Новодевичьего монастыря..... 107

**Хасиева М.А.**

Семиотическая модель Петербурга Достоевского в исследованиях XX в..... 110

**Юнусов А.Т.**

Проблемы интерпретации учения о научном знании  
во "второй аналитике" Аристотеля ..... 112



## ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО



Становление современной системы образования направлено на вхождение России в мировое образовательное пространство. В последние годы многое сделано для объединения научного, образовательного и производственного потенциала вуза. Выполняя свою основную функцию – создание системы кадрового и научного обеспечения процесса качественной модернизации инвестиционно-строительного комплекса, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет создает все условия для формирования инновационной научной и образовательной базы подготовки современных строителей.

Результатом этой работы стала традиционная XIII Всероссийская научно-практическая конференция «Современная строительная наука и образование», посвященная 95-летию

НИУ МГСУ – МИСИ, проводимая Институтом фундаментального образования. На Конференции перед участниками с приветственным словом выступил ректор НИУ МГСУ ВОЛКОВ Андрей Анатольевич. В своем выступлении он отметил особую роль научно-педагогических работников ИФО в решении важной и сложной задачи – фундаментальной подготовке по математике, физике, химии, информатике, механике, инженерии, гуманитарным наукам обучающихся НИУ МГСУ, т.е. в тех сферах знаний, которые формируют мышление и являются основой профессиональных умений и навыков. По итогам Конференции подготовлен сборник докладов и тезисов, которые были заслушаны и обсуждены на секциях кафедр Института фундаментального образования Университета. Спектр научных направлений, представленных в сборнике, весьма широк.

Авторами статей являются представители профессионального сообщества, известные ученые и специалисты, научно-педагогические работники не только России, но и зарубежья. Изложенные доклады дают представление об актуальных и интересных проведенных теоретических и прикладных исследованиях, демонстрируют результаты научного творчества в естественнонаучных и гуманитарных областях, математическом моделировании процессов и их проявлениях в области строительства, использовании компьютерных технологий в решении новейших научно-технических задач. Примечательно, что значительное число работ связано с научным решением реальных проблем строительной отрасли и высшего строительного образования.

Уверен, что знакомство с опубликованными в сборнике статьями будет способствовать расширению кругозора читателей и послужит стимулом к новым научным исследованиям.

Желаю авторам и читателям сборника дальнейшего творческого подъема и активной научной деятельности на благо процветания строительной отрасли и высшего профессионального образования.

Директор ИФО НИУ МГСУ

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'O.A. Kovalchuk', written over a faint circular stamp.

О.А. Ковальчук



**СЕКЦИЯ**  
**«ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА»**

## ПРИМЕНЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ФОНДОВОГО РЫНКА

### Аннотация

В работе анализ рынков капитала происходит с помощью уравнения адвекции - диффузии. Следует отметить, что методы, используемые в современной теоретической физике, давно нашли свое применение в анализе рынков капитала. В частности уравнение Фоккера – Планка давно используется при нахождении функции плотности вероятности доходности обыкновенной акции. На протяжении всего времени ряд авторов рассматривал применение уравнения Фоккера – Планка при прогнозировании фондовых рынков, как дифференциальное уравнение второго порядка.

В данной работе впервые анализ рынков капитала производится с помощью уравнения дробной диффузии.

Актуальность исследования обусловлена исключительно прикладным характером, заключающимся в разработке стратегии торговли на фондовых рынках с применением дифференциального уравнения дробного порядка.

В качестве предмета исследования был выбран дифференциальный оператор дробного порядка в частных производных – уравнение Фоккера-Планка. На основании общих решений которого строится прогноз курсовой стоимости обыкновенных акций, входящих в индекс Доу-Джонса (DJIA).

**Ключевые слова:** уравнение Фоккера-Планка, дробное дифференциальное уравнение, частные производные, доходность обыкновенных акций, анализ рынков капитала.

В современном финансовом анализе нашли широкое применение дифференциальные уравнения. Темой данной работы является генерирование функции плотности вероятности, как решение дифференциального уравнения дробного порядка (уравнение дробной диффузии или дробное дифференциальное уравнение Фоккера – Планка).

Уравнение Фоккера-Планка необходимо, как дифференциальный оператор, задающий временную эволюцию плотности распределения доходности обыкновенных акций.

Рассматриваемый объект работы – ценовые процессы на финансовых рынках.

В своем стандартном виде данный оператор будет выглядеть как дробное дифференциальное уравнение в частных производных:

$$\frac{\partial^\alpha}{\partial x^\alpha} \{ \sigma(x, t) \cdot U(x, t) \} - \frac{\partial}{\partial x} \{ \mu(x, t) \cdot U(x, t) \} = \frac{\partial}{\partial t} \{ U(x, t) \} \quad (1)$$

где  $\alpha$  – порядок дробной производной;

$x$  – доходность акций;

$U(x, t)$  – функция плотности распределения доходности акций;

$\mu(x, t)$  – математическое ожидание случайного смещения доходности акций;

$\sigma(x, t)$  – дисперсия вокруг данного смещения,

$\frac{\partial^\alpha}{\partial x^\alpha}$  - оператор дробного дифференцирования в смысле Римана-Лиувилля, определяемый следующим образом:

Пусть  $f(x) \in L_1(0,1)$ . Тогда, функция

$$\frac{d^{-\alpha}}{dx^{-\alpha}} f(x) \equiv \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x f(t) dt \in L_1(0,1)$$

называется дробным интегралом порядка  $\alpha > 0$  с началом в точке  $x=0$ , и функция

$$\frac{d^{-\alpha}}{d(1-x)^{-\alpha}} f(x) \equiv \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_x^1 (t-x)^{\alpha-1} f(t) dt \in L_1(0,1)$$

называется дробным интегралом порядка  $\alpha > 0$  с концом в точке  $x=1$  [1]. Здесь,  $\Gamma(\alpha)$  является гамма-функцией Эйлера. Как известно (см. [1]), функция  $g(x) \in L_1(0,1)$  порядка  $\alpha > 0$  с началом в точке  $x=0$ , если

$$f(x) = \frac{d^{-\alpha}}{dx^{-\alpha}} g(x).$$

Обозначив тогда

$$g(x) = \frac{d^\alpha}{dx^\alpha} f(x),$$

в дальнейшем под символом

$$\frac{d^\alpha}{dx^\alpha},$$

будем подразумевать дробный оператор дробного интегрирования при  $\alpha < 0$  и дробного дифференцирования при  $\alpha > 0$ . Дробная производная

$$\frac{d^\alpha}{d(1-x)^\alpha}$$

порядка  $\alpha > 0$  функции  $f(x) \in L_1(0,1)$  с концом в точке  $x=1$ , определяется также.

Воспользуемся стандартным финансовым анализом подхода, при котором  $U(x,t)$  раскладывается на  $(X(x) \text{ и } T(t))$  – метод разделения переменных. Тогда уравнение (1) переписывается в виде:

$$\frac{\partial^\alpha}{\partial x^\alpha} \{ \sigma(x) \cdot X(x) \cdot T(t) \} - \frac{\partial}{\partial x} \{ \mu(x) \cdot X(x) \cdot T(t) \} = \frac{\partial}{\partial t} \{ X(x) \cdot T(t) \} \quad (2)$$

Уравнение (2) – это функция мгновенного смещения  $\mu(x)$  и диффузии  $\sigma(x)$ , зависящих лишь от финансовой переменной  $X$ .

После элементарных преобразований дробное уравнение Фоккера – Планка примет следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{d^\alpha}{dx^\alpha} \cdot \sigma(x) \cdot \frac{d}{dx} \cdot \mu(x) - \frac{\frac{d}{dx} \{ X(x) \cdot \mu(x) \}}{X(x)} + 2 \cdot \frac{\frac{d}{dx} \cdot X(x) \cdot \frac{d}{dx} \cdot \sigma(x)}{X(x)} + \frac{\frac{d}{dx} \cdot \{ X(x) \cdot \sigma(x) \}}{X(x)} = \\ = \frac{\frac{d}{dt} \cdot T(t)}{T(t)} = -\lambda \quad (3) \end{aligned}$$

Уравнение (3) распадается на систему 2-х дифференциальных уравнений. Уравнение для  $T(t)$  – обыкновенное дифференциальное уравнение 1-ого порядка, решение которого записывается в явном виде. А уравнение для определения  $X(x)$  является дробным дифференциальным уравнением, которое представляет собой одно из базовых уравнений математической модели случайного блуждания точной частицы по само подобному фрактальному множеству  $\Omega$ , вложенному в  $R^u$ ,  $u \geq 2$ .

Таким образом решение уравнения (1) как и в [2] может быть записана в виде

$$u(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_n \exp\{ \lambda_n D t \} x^{\alpha-1} (E_{\alpha,\alpha} \lambda_n x^\alpha), \quad (4)$$

где  $E_{\alpha,\alpha} \lambda_n x^\alpha = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(\lambda_n x^\alpha)^k}{\Gamma(\alpha + \alpha k)}$  – известная функция типа Миттаг-Леффлера, а  $D=1$ .

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] *Алероев Т. С.*, Краевые задачи для дифференциальных уравнений дробного порядка // Сиб. электрон. матем. изв., 10 (2013), 41–55.
- [2] *Джрбациян М. М.*, Краевая задача для дифференциального оператора типа Штурма–Лиувилля дробного порядка // Изв. Акад. наук Армянской ССР, серия Математика, 5(1970), No. 2, 71–96.
- [3] *Нахушев А.М.*, Задача Штурма-Лиувилля для обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка с дробными производными в младших членах // Докл. АН СССР. 1977. т. 234. № 2. С. 308-311.
- [4] *Нахушев А.М.*, О непрерывных дифференциальных уравнениях и их разностных аналогах // Докл. АН СССР. 1988.
- [5] *Джрбациян М.М.*, Интерполяционные и спектральные разложения, ассоциированные с дифференциальными операторами дробного порядка // Изв. АН АрмССР. Серия "Математика". 1984. т. 19. » 2. С. 81-181.
- [6] Risken H. The Fokker — Planck Equation: Methods of Solutions and Applications. — 2nd ed. — Springer, 1984. — 452 p.
- [7] Varenblatt G. I., Entov V. M., Ryjik V. M., The Theory of a Non-stationary Filtration of a Liquid and Gas, Nedra, Russia, 1972.
- [8] Shaimuratov R. V., Hydrodynamics of Oil Cracked Layer, Nedra, Russia, 1980.
- [9] Podlubny I., Fractional Differential Equations, Academic Press, New York, 1999.

**О.О. Рошка**

Аспирант, ассистент кафедры высшей математики НИУ МГСУ

**В.Г. Пирожков**

декан учебно-научного центра довузовской подготовки, профессор кафедры технической механики ФГБОУ ВПО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина»

## ПРИМЕНЕНИЕ ДРОБНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ФОККЕРА-ПЛАНКА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФОНДОВОГО РЫНКА

### Аннотация

В работе исследуется дробное (порядка  $\alpha \leq 2$ ) дифференциальное уравнение Фоккера – Планка. Следует отметить, что эти уравнения ( $\alpha=2$ ) были использованы впервые в статической физике для изучения временной эволюции функции плотности вероятности скорости элементарной частицы.

**Ключевые слова:** уравнение Фоккера-Планка, дробное дифференциальное уравнение, функция распределения доходности акций, параметризация функций мгновенного смещения, биортогональные функции, коэффициенты Фурье.

В настоящее время в области применения подобных уравнений безграничны [1] – [4]. Это связано в-первую очередь с тем, что они дают большую точность при моделировании изучаемых процессов. И здесь же важно, о каких процессах идет речь: о физических, химических или экономических. Заметим, что совсем недавно в работе [5] дробное дифференциальное уравнение Фоккера – Планка было адаптировано под нужды финансовой математики.

На основании вышесказанного строится простейшее торговое правило, основанное на решении следующего уравнения Фоккера – Планка.

$$\frac{\partial^\alpha}{\partial x^\alpha} [U(x,t) \sigma(x,t)] - \frac{\partial}{\partial x} [\mu(x,t)U(x,t)] = \frac{\partial}{\partial t} [U(x,t)] \quad (1)$$

Здесь  $U(x,t)$  – функция распределения доходности рассматриваемых акций;

$\mu(x,t)$  – математическое ожидание случайного смещения доходности рассматриваемых акций;

$\sigma(x,t)$  – дисперсия вокруг данного смещения.

Для анализа функции  $U(x,t)$  воспользуемся методом Фурье.

$U(x,t)$  представим в виде  $X(x)$  и  $T(t)$  и получим уравнение (2):

$$\frac{\partial^\alpha}{\partial x^\alpha} [\sigma(x)X(x)T(t)] - \frac{\partial}{\partial x} \left[ \sigma(x)X(x) \frac{\mu(x)}{\sigma(x)} T(t) \right] = \frac{\partial}{\partial t} \left[ \sigma(x)X(x) \frac{1}{\sigma(x)} T(t) \right]$$

Обозначим  $\sigma(x)X(x)$  через  $\tilde{X}(x)$ . Из последнего соотношения имеем

$$\begin{cases} \frac{d^\alpha}{dx} \tilde{X}(x) - \frac{d}{dx} \left[ \tilde{X}(x) \frac{\mu(x)}{\sigma(x)} \right] = -\lambda \tilde{X}(x) \sigma(x) \\ \frac{d}{dt} [T(x)] = -\lambda T(t) \end{cases}$$

Дальше решение предполагает параметризацию функций мгновенного смещения  $\mu(x)$  и диффузии  $\sigma(x)$ .

На финансовых рынках актуальны следующие спецификации:

$$\mu(x) = mx, \quad \sigma(x) = S^2 x^2,$$

где  $m$  – среднее смещение финансовой координаты (доходности) на скользящем периоде;

$S$  – среднеквадратическое отклонение доходности, измеренное на том же скользящем векторе. Тогда и функция  $U(x,t)$  может быть представлена в виде

$$U(x,t) = \sum_{k=0}^{\infty} \varphi_n E_{\alpha}(\lambda_n t^{\alpha}) x^{\alpha-1} E_{\alpha\alpha}(\lambda_n x^{\alpha}),$$

где  $E_{\alpha}(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^k}{\Gamma(1+\alpha k)},$

$$E_{\alpha\alpha}(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^k}{\Gamma(\alpha + \alpha k)},$$

$\lambda_n$  –  $n$ -й нуль функции  $E_{\alpha\alpha}(z)$ .

При  $\alpha=1,5$ , указанные в (3) параметры имеют вид:

Нули функции  $E_{\alpha\alpha}(z)$

- 5.5471
- 17.642
- 29.698
- 43.878
- 51.148
- 65.701 - 3.2637i
- 65.701 + 3.2637i
- 77.436 - 2.7281i
- 77.436 + 2.7281i
- 81.758

Собственные функции,  $\beta = \alpha$

$$\chi_n = x^{\beta-1} E_{\beta\beta}(\lambda_n x^{\beta}), \quad E_{\beta\beta}(\lambda_n x^{\beta}) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(\lambda_n x^{\beta})^k}{\Gamma(\beta + \beta k)}$$

Биортогональные функции

$$\chi_n^* = (1-x)^{\beta-1} E_{\beta\beta}(\lambda_n (1-x)^{\beta})$$

Коэффициенты Фурье

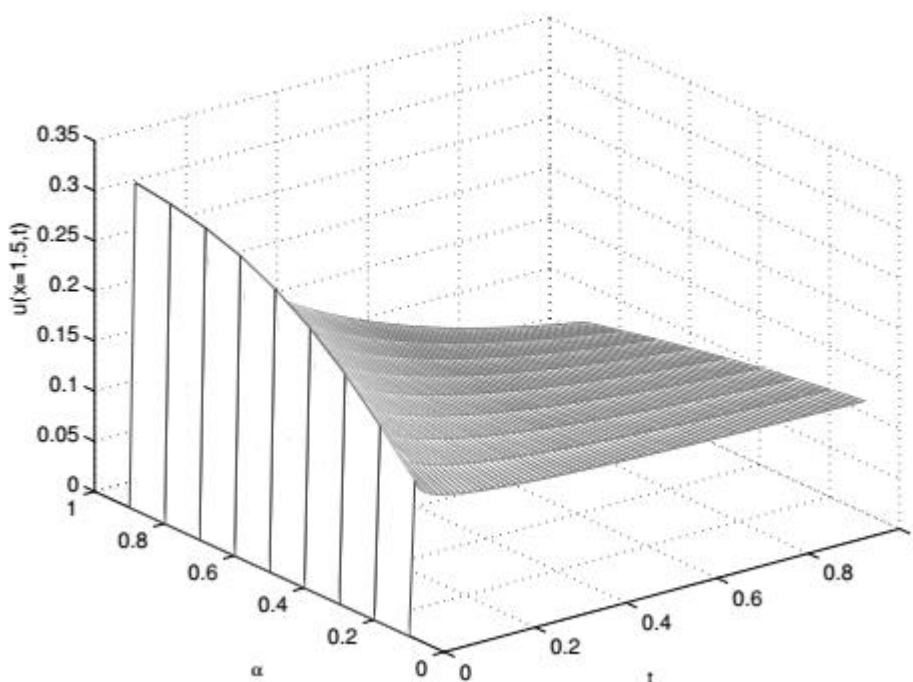
$$\varphi_n = \int_0^1 \chi_n^*(x) * f(x) dx \quad f(x) = \begin{cases} 2x, & 0 \leq x \leq 1/2 \\ (4-2x)/3, & 0.5 \leq x < 2 \end{cases}$$

- 0.71741
- 8.848
- 66.819
- 580.78
- 1609.2
- 9550.2 - 3905i
- 9550.2 + 3905i
- 37019 - 11100i
- 37019 + 11100i
- 60562
- Сумма

$$u(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_n E_{\alpha}(\lambda_n t^{\alpha}) x^{\beta-1} E_{\beta\beta}(\lambda_n x^{\beta})$$

$$U = (x^7)^*(t^2)/12564980 + x^5/45878 + t^4*(x-1)^4/5462 + \dots$$

График решения  $u(x,t)$



### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] *Алероев Т. С.*, Краевые задачи для дифференциальных уравнений дробного порядка // Сиб. электрон. матем. изв., 10 (2013), 41–55.
- [2] *Джрбащян М. М.*, Краевая задача для дифференциального оператора типа Штурма–Лиувилля дробного порядка // Изв. Акад. наук Армянской ССР, серия Математика, 5(1970), No. 2, 71–96.
- [3] *Нахушев А.М.*, Задача Штурма-Лиувилля для обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка с дробными производными в младших членах // Докл. АН СССР. 1977. т. 234. № 2. С. 308-311.
- [4] *Нахушев А.М.*, О непрерывных дифференциальных уравнениях и их разностных аналогах // Докл. АН СССР. 1988.
- [5] *Джрбащян М.М.*, Интерполяционные и спектральные разложения, ассоциированные с дифференциальными операторами дробного порядка // Изв. АН АрмССР. Серия "Математика". 1984. т. 19. » 2. С. 81-181.
- [6] Risken H. The Fokker — Planck Equation: Methods of Solutions and Applications. — 2nd ed. — Springer, 1984. — 452 p.
- [7] Varenblatt G. I., Entov V. M., Ryjik V. M., The Theory of a Non-stationary Filtration of a Liquid and Gas, Nedra, Russia, 1972.
- [8] Shaimuratov R. V., Hydrodynamics of Oil Cracked Layer, Nedra, Russia, 1980.
- [9] Podlubny I., Fractional Differential Equations, Academic Press, New York, 1999.





**СЕКЦИЯ**  
**«ИНФОРМАТИКА И ПРИКЛАДНАЯ**  
**МАТЕМАТИКА»**

**Ю.В. Осипов**

Кандидат физико-математических наук, доцент, и. о. заведующего кафедрой информатики и прикладной математики НИУ МГСУ

**Г.Л. Сафина**

доцент кафедры информатики и прикладной математики НИУ МГСУ

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕСТОВ ПО МАТЕМАТИКЕ

Создание тестов становится неотъемлемой частью процесса обучения [1, 2]:

- Тесты позволяют оперативно и объективно оценить знания учащихся и сократить время проверки работ.
- Тесты позволяют определить уровень знаний студентов, как перед началом изучения дисциплины, так и после прохождения разделов университетского курса.
- В НИУ МГСУ тесты используются не только для текущего контроля знаний студентов, но и на вступительных экзаменах для поступающих в магистратуру.
- Тестирование студентов проводится в рамках аттестации НИУ МГСУ.

В работе изучаются результаты тестирования студентов бакалавриата по разделу «Введение в анализ» дисциплины «Математический анализ». Тест состоит из 20 заданий, время выполнения теста – 80 мин. Уникальная авторская программа [3] генерирует параллельные индивидуальные варианты наборов заданий, выбирая их из обширной базы тестовых задач. Студентам 3 учебных групп, обучающихся по направлению «Информатика и вычислительная техника» (группа А), и 3 групп, обучающихся по направлению «Экономика» (группа В), был предложен тест в закрытой форме (со списком вариантов ответов), 3 группы студентов-экономистов (группа С) выполняли те же задания в открытой форме (без списка ответов).

Студенты выполняли тест в письменной форме. Это позволяет проводить тестирование во время учебных занятий при изучении дисциплин, не предусматривающих использование компьютерных классов.

В работе изучались распределения тестовых баллов испытуемых в группах, сравнивались групповые шкалы сложности заданий и числа регулярности профилей тестируемых студентов [4]. На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- обе формы теста успешно дифференцируют испытуемых по уровню знаний и могут использоваться для контроля знаний учащихся на занятиях по математическому анализу;
- сохраняется порядок в шкале сложности заданий при выполнении тестов в открытой и закрытой формах испытуемыми с различным уровнем знаний;
- во всех группах регулярности профилей студентов принимают значения в диапазоне от 0 до 0,4, что указывает на правильную структуру знаний испытуемых.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузьмина Л.И., Осипов Ю.В. Новые технологии преподавания и «старые» дисциплины // Качество. Инновации. Образование. – 2013. – № 12. – с. 3–7.
2. Карнаухов В.М. Статистическое моделирование интернет-экзамена, проводимого в рамках аттестации вуза // Открытое и дистанционное образование. – 2014. – № 1 (53). – с. 60–68.
3. Сафина Г.Л., Осипов Ю.В., Керимова Д.Х., Красовская И.А. Полуавтоматическая система тестирования по математике // Открытое и дистанционное образование. – 2015. – № 2 (58). – с. 56–62.
4. Ким В.С. Тестирование учебных достижений. – Уссурийск: УГПИ, 2007. – 214 с.

**И.В. Лошков**

*Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информатики и прикладной математики НИУ МГСУ*

## **СТАНДАРТ ОПИСАНИЯ ПОЛЯ ВВОДА-ВЫВОДА В КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММАХ ТЕСТИРОВАНИЯ**

### **Аннотация**

Широкое внедрение компьютерного тестирования требует стандартизации этой отрасли. В работе предлагается стандарт описания процесса вывода на экран монитора окон, посредством которых производится вывод вопросов и ввод ответов во время компьютерного тестирования. Стандарт использует формат JSON передачи данных.

**Ключевые слова:** компьютерное тестирование, компьютерная программа, стандарт, JSON, объект, свойства объекта, параметры элемента, форматирующая строка, поле ввода-вывода, управляющий элемент.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В процессе компьютерного тестирования на экране монитора выделяется область, на которой происходит взаимодействие человека и программы ЭВМ. Эту область будем называть полем ввода-вывода. Структура этого поля может быть достаточно разнообразной. В простейшем случае на этом поле размещаются окна, в которых предлагаются варианты ответов на тест, из которых необходимо выбрать правильные ответы. В более сложных тестах на этом поле могут располагаться окна ввода данных, в которые требуется вписывать найденные ответы на задачи теста. По мере усложнения тестовых задач и расширения сферы применения тестирования, происходит усложнение взаимодействия тестирующегося и программы ЭВМ. В процессе этого взаимодействия при формировании ответа на заданную задачу теста могут изменяться или появляться новые окна ввода или вывода. Программирование поля сложной структуры становится важным элементом при написании задачи теста. Если для написания условия самой задачи можно использовать унифицированные программы, например, текстовые редакторы, то создание поля ввода-вывода остаётся элементом программирования. Поэтому, если текст задачи можно легко переносить из одной программы тестирования в другую, то при каждом переносе тестов требуется новое программирование структуры поля ввода-вывода, хотя бы и специально разработанным для этого интерфейсом. Значительное упрощение переноса структуры поля ввода-вывода из одной программы тестирования в другую может достигаться за счёт внедрения стандарта (формата) описания этого поля. В этом случае достаточно будет в каждой тестовой программе использовать модуль, который будет переводить записанную структуру поля на основании стандарта в тот вид, который совместим с программой тестирования. Цель этой статьи представить такой стандарт.

Предлагается следующее краткое обозначение стандарта:

- на русском языке – СОПВВ (стандарт описания поля ввода-вывода);
- на английском языке – SNI OF (Standard of the notation the input-output field).

### **КОМПОНЕНТЫ СТАНДАРТА**

Для описания размещения полей ввода-вывода предлагается использовать форматирующую строку, которая представляет собой текстовую строку, составленную из элементов с их параметрами, разделяющих или группирующих символов, внедряемых текстов и комментариев.

**Назначение элементов** – описание объектов, создающих окна на поле ввода-вывода.

Укажем функциональное назначение окон на поле ввода-вывода. Это:

- вывод информации, необходимой для тестирующихся;
- ввод информации самими тестирующимися;
- управление порядком вывода элементов.

В соответствии с функциональным назначением окон, создаваемых на основании элементов, последние можно объединить в группы:

- группа элементов вывода;
- группа элементов ввода;
- группа элементов ввода-вывода;
- группа управляющих элементов.

Если элемент используется для создания окна вывода информации (вопроса тестирующемуся), которое одновременно используется для ввода информации (ответа тестирующимся), мы его будем относить к группе ввода-вывода. Все элементы группы ввода-вывода обладают также функцией управления.

Все элементы имеют название, обрамлённое в кавычки. Для названия могут использоваться следующие символы: латинские или кириллические буквы, цифры, тире, подчёркивание, тильда.

**Элементы вывода** должны обеспечивать создания окон для вывода:

- текста в соответствии со стандартом используемого языка программирования;
- текста "как есть" – без изменения программой;
- формулы, в научном виде;
- графического файла.

**Элементы ввода** должны обеспечивать создания окон для ввода:

- числа;
- однострочного текста;
- многострочного текста;
- числа под знаком корня;
- вектора-строки;
- матрицы;
- многочлена;
- формулы в указанном стандарте;
- исполняемого кода.

**Элементы ввода-вывода** должны обеспечивать создания окон для выбора:

- одного или нескольких ответов из выпадающего списка с вариантами ответов, или инициирования новых элементов на основании выбранных вариантов ответа;
- одного или нескольких ответов из нескольких заданных вариантов ответа, или инициирования новых элементов на основании одного или нескольких выбранных вариантов ответа;
- ответа из галереи графических файлов, или инициирования новых элементов на основании выбранных вариантов ответа.

**Управляющие элементы** должны создавать окна для:

- размещения кнопки, управляющей размещением окон;
- резервирования места для вставки окна.

**Разделяющими символами** форматировающей строки являются: запятые и двоеточия. Запятые используются для отделения друг от друга элементов или блоков элементов, двоеточия – для отделения в параметрах элемента наименования и значения.

**Группирующими символами** форматировающей строки являются: пара круглых скобок – (), пара прямых скобок – [], пара фигурных скобок – {}.

**Внедряемый текст** создаётся с помощью следующей структуры:

`/# <переменная> #/`,

где <переменная> – набор следующих символов без пробелов: латинских букв, цифр, подчёркивания, доллара. Модуль тестовой программы, до начала разбора форматировающей строки, на основании содержимого <переменная> должен сформировать текст и подставить его вместо указанной выше структуры.

**Комментарий** может встречаться внутри форматировающего текста в любом месте. Он обрамляется вначале звёздочкой, а потом прямой наклонной чертой.

Пример: `/*Это комментарий.*/`.

### ЗАПИСЬ ЭЛЕМЕНТОВ В ФОРМАТИРУЮЩЕЙ СТРОКЕ

Все элементы форматировающей строки записываются в составе блоков с помощью группирующих символов: пары круглых или прямых скобок. Сгруппированные элементы или блоки, размещённые внутри скобок, разделяются друг от друга запятыми. Блок может состоять и из одного элемента.

Пример записи блока, использующего круглые скобки:

`(A1, A2, A3, ... , An)`.

Пример записи блока, использующего прямые скобки:

`[A1, A2, A3, ... , An]`.

Здесь в примерах A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, ... , A<sub>n</sub> – элементы.

При использовании круглых скобок, окна соответствующих элементов на поле ввода-вывода будут располагаться в строку. При использовании прямых скобок – столбцом.

Вместо некоторых элементов в записи блока может находиться блок, который становится внутренним блоком. Если в записи форматировающей строки встречаются блоки, создаваемые как с помощью круглых, так и с помощью прямых скобок, то соответствующие элементам окна будут располагаться на поле ввода-вывода в виде таблицы.

Пример записи форматировающей строки, содержащей объединение элементов с помощью разных скобок:

`(A1, A2, [A3, (A4, A5), A6, A7], A8)`,

здесь A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, ... , A<sub>n</sub> – только элементы.

В результате применения написанной в этом примере форматировающей строки программа должна сформировать сложную структуру окон на поле ввода-вывода, графически выглядящей следующим образом.

Табл. 1. Размещение окон на поле ввода-вывода.

|                |                |                |                |                |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| A <sub>1</sub> | A <sub>1</sub> | A <sub>3</sub> |                | A <sub>8</sub> |
|                |                | A <sub>4</sub> | A <sub>5</sub> |                |
|                |                | A <sub>6</sub> |                |                |

Здесь A<sub>1</sub> – A<sub>8</sub>: окна, сформированные с помощью одноимённых элементов. Элемент ввода (вывода), создаёт внутри ячейки окно ввода (вывода) этого элемента. Управляющий элемент, создаёт внутри ячейки окно управления этого элемента. Клик мышки внутри окна управления вызывает определённые действия.

#### ЗАПИСЬ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ В ФОРМАТИРУЮЩЕЙ СТРОКЕ

Любой элемент описывает объект с набором свойств. Свойства объекта задаются с помощью параметров элемента. Каждый параметр имеет название и значение. Параметры могут быть обязательные или факультативные (необязательные). Блоки элементов могут иметь параметры, которые относятся ко всем элементам этого блока.

Параметры элемента или блока задаются с помощью текста следующей структуры.

$A_n : \{V_1 : C_1, V_2 : C_2, V_3 : C_3, \dots, V_k : C_k\}$

Здесь A<sub>n</sub> – название элемента или блок элементов; V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub>, ..., V<sub>k</sub> – название параметра, обрамлённое в кавычки; C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, ..., C<sub>k</sub> – значение параметра, обрамлённое в кавычки (цифры и логические значения могут не обрамляться кавычками).

Для названия или значения параметра могут использоваться любые символы, допустимые в формате обмена данными JSON (JavaScript Object Notation)[1].

Запись значений параметров C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, ..., C<sub>k</sub> также должна осуществляться в формате (стандарте) JSON. Этот формат позволяет описывать значения элементов массива следующей текстовой строкой:

["Значение 1", "Значение 2", ..., "Значение n"].

В результате применения формата JSON, создаётся одномерный массив с количеством элементов n. Элемент массива с индексом 0 имеет значение: "Значение 1". Элемент массива с индексом n-1 имеет значение: "Значение n".

Согласно формату JSON объекты описываются следующей текстовой строкой:

{"Key 1": "Значение 1", "Key 2": "Значение 2", ..., "Key n": "Значение n"}

В результате применения формата JSON, создаётся объект со свойствами: Key 1, Key 2, ..., Key n. Значения этих свойств соответственно будут: "Значение 1", "Значение 2", ..., "Значение n".

Таким образом, с помощью значений параметров элементов могут создаваться: текст, число, логическое значение, null, массив, объект. Формат JSON позволяет использование конструкции {} без заполнения пространства между фигурными скобками, то есть без задания параметров.

Все параметры можно разделить на две группы:

- не определяющие размещение окон;
- определяющие размещение окон.

Параметры, определяющие размещение окон, должны обеспечивать:

- задание места размещения (выше, ниже, правее, левее) новых окон относительно существующих;
- задание количества повторений однотипных окон;
- задание ориентации (вертикальной, горизонтальной) размещения повторяющихся однотипных окон;
- скрытие или невидимость окон и их проявление с помощью управляющих окон.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время широко распространяется система дистанционного обучения SCORM[2], которая опирается на ряд разработанных стандартов. Эти стандарты позво-

ляют обеспечить переносимость учебных программ и данных, созданных разными коллективами. В процессе дистанционного обучения важным элементом является тестирование обучающихся. Однако SCORM не предлагает стандартов для обеспечения переносимости сложных тестов. Данная работа пытается начать заполнять этот пробел.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Ecma International*. The JSON Data Interchange Standard. 1<sup>st</sup> Edition. // Standard ECMA-404. October 2013. <http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECMA-404.pdf>.

2. *Advanced Distributed Learning (ADL)*. Sharable Content Object Reference Model (SCORM) 2004. // Перевод с англ. Е.В. Кузьминой. - М.: ФГУ ГНИИ ИТТ "Информика", 2005. - 29 с. <http://www.edu.ru/db/portal/e-library/00000053/SCORM-2004.pdf>.

**М.А. Сальникова**

Аспирант кафедры информатики и прикладной математики НИУ МГСУ,  
руководитель группы прочностных и термооптических расчетов ДЗЗ ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева»

## **СТРУКТУРА АЛГОРИТМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ПРОГРАММНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ**

### **Аннотация**

Создание оптико-электронных комплексов космического базирования является перспективным направлением современного приборостроения. В общем случае разработка объективов таких комплексов (в особенности крупногабаритных) – это сложная научно-техническая задача.

В настоящее время, в условиях быстрого развития технологий, сроки разработки оптико-электронных комплексов необходимо сократить, поэтому ускорение процесса синтеза и анализа конструкции объективов оптико-электронных комплексов является чрезвычайно актуальной задачей космического приборостроения.

Одной из возможностей сокращения затрат времени на проектирование оптико-электронных комплексов является разработка алгоритмов взаимодействия между программными комплексами ANSYS и Zemax. Данные алгоритмы позволят проводить оценки изменения качества изображения оптических систем, с учетом их конструктивных особенностей и внешних воздействий на оптико-электронные комплексы. Для построения данного алгоритма определимся с функциональностью создаваемой программы: программа должна читать данные из файла экспорта направленной деформации ANSYS и преобразовывать его в файл, пригодный для чтения программой Zemax.

Рассмотрим основные функциональные блоки формируемой программы.

- Чтение данных из файла, сформированного программным комплексом ANSYS.
- Аппроксимация рассматриваемой поверхности.
- Экспорт данных в файл.
- Сравнительное отображение входных и выходных данных.

Рассмотрим более подробно каждый из блоков. Первый блок назовем блоком чтения данных. Уточним, что программа проектируется для максимально общего случая, поэтому в ней необходимо предусмотреть возможность того, что деформации могут быть по всем трем независимым осям и программа должна иметь возможность это учитывать. Исходя из этого, следует предусмотреть возможность выбора желаемого направления и одновременное хранение данных по двум оставшимся направлениям. При этом для оценки качества оптических деталей наиболее критичные деформации находятся только в направлении оптической оси. Незагруженные в программу деформации будут считаться равными нулю. Также стоит обратить внимание на то, что при экспорте данных из программного комплекса ANSYS используется системный разделитель целой и дробной части в виде запятой, в свою очередь, программный комплекс Zemax использует для разделения целой и дробной частей точку. Кроме того, необходимо заметить, что ANSYS [1] позволяет производить вывод данных в разных метрических величинах, что указывается в заголовке файла в круглых скобках возле всех параметров, однако, в одном файле все метрические величины идентичны, что можно учесть перед чтением значений из файла и сразу переводить их в миллиметры, т.к. чаще всего в Zemax используются именно эта размерность единиц длины.

Загруженные данные сохраняются в единую таблицу по аналогии со структурой читаемого файла, где каждая строка соответствует отдельному узлу, а столбцы – x, y, z,



$dx$ ,  $dy$ ,  $dz$ , где три первые величины – координаты, а три последние – деформации в направлении указанных осей. Далее из этой таблицы, выбрав метод перевода и осуществив его, мы получим набор значений  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , который будем использовать в дальнейших расчетах.

Второй блок назовем блоком расчета. Импортируемая поверхность в общем случае не симметрична оптической оси. В программном комплексе Zemax есть несколько типов поверхностей, позволяющих задать произвольную поверхность. Выделим из них две: Grid Sag и Zernike Standard Sag. Первая из них задает поверхность по прогибам в точках на прямоугольной сетке, вторая – задает поверхность по прогибам полиномами Цернике.

Применительно к поверхности Grid Sag, в общем случае, необходимо рассчитать координаты точки поверхности по имеющемуся набору заданных точек конечно-элементной сетки. Для этого можно использовать, например, билинейную интерполяцию, строящую плоскость через три соседние известные точки, или еще более подходящую бикубическую интерполяцию, строящую поверхность через шестнадцать ближайших точек, однако, для случая неравномерной непрямоугольной сетки ее применение затруднительно.

Поверхность Zernike Standard Sag [2], используемая в программе Zemax, – это поверхность которая описывается уравнением четной асферики и дополнительными асферическими членами, записанными через коэффициенты Цернике стандартного полиномиального ряда. Через нее могут быть заданы так же плоские, сферические и асферические поверхности второго порядка.

В данном случае для описания поверхности необходимо рассчитать 231 коэффициент при полиномах, к примеру, прибегнув к методу наименьших квадратов.

Необходимо отметить, что с помощью полиномов Цернике можно определить только функцию двух переменных, а не любую поверхность, потому влияние расчетных коэффициентов на прогиб в определенной точке строго определяется ее координатами. Это позволяет рассчитать матрицу коэффициентов влияния полиномов на прогиб в каждой точке, при этом ввиду возможности использовать в Zemax только 231 полином Цернике данная матрица будет иметь 231 столбец, а количество строк будет определяться количеством загруженных узлов сетки из ANSYS. Далее необходимо сделать выбор функции минимизации для уточнения значений коэффициентов. На данном этапе это рассматривать не будем.

Третий блок назовем блоком экспорта. Рассмотрим его на примере экспорта данных для поверхности типа Zernike Standart Sag. Данный файл должен быть сформирован с расширением .dat, представляющим из себя текст, где каждая новая строка последовательно вписывается в ячейку строки данных о поверхности. При этом строка начинается с количества используемых полиномов, вслед за которой идет переводной радиус, т.к. полиномы Цернике используют радиус не более единицы, а далее перечисляются все необходимые коэффициенты по порядку, начиная с первого.

Четвертый блок – графический блок. Для отображения результата необходимо построить аппроксимированную поверхность и отобразить на этом же рисунке точки из импортированного файла. Однако стоит понимать, что данное отображение даст лишь грубое представление о форме загруженной поверхности и о том, что приближение велось правильно или оно провалилось из-за неверных начальных данных, например, если был выбран экспорт данных не отдельной поверхности, а тела, или поверхность была неверно ориентирована в модели. Для наглядной точной оценки качества полученной поверхности предлагается воспользоваться вычислением среднеквадратического отклонения.

Предложенная функциональная структура взаимодействия между программными комплексами ANSYS и Zemax позволит на этапах проектирования и создания оптико-электронного комплекса проводить оценку изменения качества изображения оптической системы под действием внешних факторов. В результате упростится и ускорится принятие конструкторских и технологических решений, определяющих, в конечном итоге, сложность и реализуемость космической оптико-электронной аппаратуры.

Несмотря на то, что при разработке каждого из блоков программы имеется ряд затруднений, предложенный подход позволит решить поставленную задачу сокращения временных затрат на проектирование оптико-электронных комплексов.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. ANSYS 15.0 User's Guide
2. Zemax Optical Design Program 2011 User's Manual



**СЕКЦИЯ**  
**«СТРОИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА»**

*Д.А. Леонова*

*Старший преподаватель кафедры физики НИУ МГСУ*

### **КОМПОЗИТНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 3D – НКМ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МОДИФИКАТОРА**

Для достижения оптимальной эффективности закрепления грунтов в геотехническом строительстве в настоящее время важнейшую роль играют тампонажные растворы.

Формирование структуры тампонажных растворов это результат совместного протекания процесса гидратно- и структурообразования в цементном тесте, выраженный в переходе коагуляционной структуры к образованию пространственного кристаллического каркаса. Целью данной работы является исследование влияния добавок 3D-НКМ – нанокристаллического модификатора бемита на структурообразование бентонитово-цементных композитов на основе марки бентонита П1Т1 в течение 28 суток.

По результатам исследований можно утверждать, что использование добавок в виде высокоалюминатных отходов алюминотермического производства хрома в количестве 0,306% к весу цемента позволяет получить композиционный материал, характеризующийся повышенной прочностью и способный изменить кинетику структурообразования.

**М.И. Панфилова**

*И. о. заведующего кафедрой физики*

*кандидат химических наук, доцент НИУ МГСУ*

**М.В. Фомина**

*Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики НИУ МГСУ*

## **СКОРОСТЬ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ АНТ**

Исследовали структурообразование в композитных растворах с различным содержанием АНТ к массе цемента во времени. Выявлено влияние добавок АНТ на изменение реологических свойств композитных растворов в процессе хранения изучали при водоцементном соотношении 2:1 в присутствии 5% жидкого стекла.

Установлено, что наибольшая скорость структурообразования достигается при концентрации нанотрубок 0,125% к массе цемента. По сравнению с контрольным образцом скорость структурообразования возрастает почти в 1,5 раза. Этот эффект достигается благодаря взаимодействию нанотрубок с клинкерными минералами в зоне контакта частиц этих компонентов. Очевидно, оптимальное содержание нанотрубок приводит к получению плотной упаковки цементного камня, в результате чего увеличивается прочность композиционной системы.

Таким образом, анализ проведенных исследований свидетельствует, что добавки малых концентраций нанотрубок изменяют кинетику структурообразования и способствуют росту прочности композитного раствора.

***И.И. Воротынцева***

*Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики НИУ МГСУ*

### **СВЧ – КОНВЕРТОР**

Использование фазированных электронных потоков остается одним из актуальных направлений электроники в СВЧ. В связи с чем, представляют интерес исследования фазовой фокусировки режима с захватом электронного сгустка полем бегущей волны в режиме обратного преобразования энергии.

Рассмотрена модель специальной ЛБВ, представляющей собой двухсекционную конструкцию с автофазной выходной секцией. Причем в пространстве взаимодействия выходной секции, захваченный мощной СВЧ волной сгусток, находится одновременно в тормозящем электростатическом поле.

Таким образом, происходит преобразование энергии СВЧ волны в энергию постоянного тока. Приведены результаты численного моделирования режима обратного преобразования при многократном вводе СВЧ энергии с целью увеличения коэффициента полезного действия. Сделаны оценки эффективности работы конвертора при различных комбинациях параметров процесса.



**СЕКЦИЯ**

**«ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА И  
СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ»**

## **ВОЛНЫ ЛЭМБА В НЕРАЗРУШАЮЩЕЙ ДИАГНОСТИКЕ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Неразрушающая диагностика всегда играла существенную роль на всех этапах производства и эксплуатации строительных конструкций. Ведь довольно высокие затраты на неразрушающую диагностику значительно уменьшают затраты на ремонт и замену вышедшего из строя оборудования. В современных конструкциях все чаще используются сложные по своей структуре многослойные элементы, за счет чего они обладают повышенными требованиями к неразрушающей диагностике, а существующие методы оказываются малоэффективными. Поэтому для эффективной поддержки строительной отрасли необходимо усовершенствование существующих методов неразрушающего контроля, чтобы иметь возможность обнаружить даже малейшую трещину, расслоение или неоднородность между слоями, т.к. от этого зависит применимость многослойных конструкций и их безопасная работа.

Неразрушающий контроль начинается с проверки нового изделия или элемента конструкции, далее используется на различных этапах производственного процесса. Это необходимо, например, чтобы деталь имеющая дефект, не была присоединена к конструкции. Дефекты на поверхности пластин и оболочек легко обнаруживаются с помощью традиционных методов неразрушающей диагностики. Однако уже на этом этапе визуального осмотра и традиционных методов контроля оказывается недостаточно для обнаружения внутренних дефектов в многослойных средах и требуется применение сложного и дорогостоящего специализированного оборудования и специально обученного инспектора высокой квалификации. Однако даже в этом случае легче обнаружить дефекты, расположенные близко к поверхности.

Дефекты могут появиться в уже работающей конструкции под действием усталостных или внештатных воздействий, поэтому проведение неразрушающего контроля требуется также и во время эксплуатации, что позволит избежать отказов в будущем и определить, возможно, ли их дальнейшее использование. На этом этапе средства неразрушающего контроля должны обладать мобильностью и возможностью их использования в труднодоступных местах.

Ультразвук, широко использующийся в медицине, завоевывает популярность и строительной промышленности и, казалось бы, не имеет недостатков. Его основное преимущество в том, что нет необходимости загрязнять структуру объекта, он не требует установки сложного оборудования и не содержит опасных химических реагентов, загрязняющих окружающую среду. Однако он, как и остальные традиционные методы оказывается неспособным определить расслоения и трещины, расположенные на большой глубине между слоями. Объемные волны, использующиеся при ультразвуковом контроле, позволяют получить детализированное изображение дефекта и точно определить его размеры лишь в слоях, близких к поверхности, а в многослойных конструкциях отражение от дефекта маскируется отражением от поверхности раздела между слоями.

Акустические методы широко применяются для определения физико-механических свойств материалов. Особый интерес представляют волны Лэмба, они дисперсионные, что позволяет строить дисперсионные соотношения, связывающие между собой скорость волны с частотой. Волны Лэмба, в отличие от ультразвуковых волн, низкочастотные, что позволяет им проникать на всю толщину пластины. Благодаря своей проникающей способности волны Лэмба могут использоваться в неразру-



шающей диагностике элементов строительных конструкций на всех этапах производства и эксплуатации изделий.

В 1917 г. Лэмб дал первое введение в теорию волн Лэмба [5]. Изучению волн Лэмба посвящена монография [3]. Первые исследования по использованию волн Лэмба для мониторинга состояния конструкций произошли в 1950-х годах и могут быть приписаны Викторову [1]. Однако, распространение волны Лэмба в многослойных материалах с непостоянными физико-механическими характеристиками по-прежнему остается малоизученным.

Для исследования свойств внутренних слоев многослойных конструкций, необходимо понимать дисперсионное поведение волн Лэмба.

Для упругой однородной многослойной анизотропной среды при отсутствии объемных сил уравнение движения можно представить в векторной форме

$$\operatorname{div}_x \mathbf{C} \cdot \nabla_x \mathbf{u} - \rho \ddot{\mathbf{u}} = 0, \quad (1)$$

где  $\mathbf{u}$  – поле перемещений,  $\rho$  – плотность материала среды,  $\mathbf{C}$  – четырехвалентный тензор упругости, предполагаемый положительно определенным.

Решение уравнения (1) можно представить в экспоненциальной форме:

$$\mathbf{u}(\mathbf{x}, t) = \mathbf{f}(\zeta) e^{ir(\mathbf{n}\cdot\mathbf{x} - ct)}, \quad (2)$$

где  $\mathbf{f}$  – неизвестная векторная функция от мнимой координаты  $\zeta = ir(\mathbf{x} \cdot \mathbf{v})$ , определяющая изменение амплитуды на волновом фронте;  $r$  – волновое число;  $\mathbf{x}$  – координата точки;  $\mathbf{v}$  – единичный вектор нормали (вектор перпендикулярный к срединной поверхности);  $\mathbf{n}$  – направление распространения волны;  $c$  – фазовая скорость.

Анализ волн Лэмба, распространяющихся в анизотропной пластине возможен, если уменьшить второй порядок векторного уравнения движения (1) до системы уравнений первого порядка, с помощью различных вариантов шестимерных формализмов.

Проведенное исследование позволило получить аналитическое и численное решение задачи распространения волн Лэмба.

Аналитическое исследование было построено на основе формализма Коши [4] для изотропной упругой однослойной пластины толщиной  $2h$ , с границами  $\mathbf{x} = \pm h$ .

Для изотропной среды тензор упругости будет положительно определенным при условии

$$\mu > 0, \lambda > -\frac{2}{3}\mu, \quad (3)$$

где  $\mu$  и  $\lambda$  – параметры Ламе.

Движение частиц среды описывается уравнением (1).

Пластина свободная, граничные условия в напряжениях запишутся следующим образом:

$$\mathbf{t}_v|_{\mathbf{x}=\pm h} = \mathbf{v} \cdot \mathbf{C} \cdot \nabla \mathbf{u} = 0. \quad (4)$$

Задача сводится к решению уравнения (2) с граничными условиями (4).

Аналитическое решение получено при  $\rho = 1$   $h = 1$  для коэффициентов Пуассона в интервале (-1;0.5). Аналитические расчеты проводились в программных комплексах Maple®, Matlab® и Scientific Workplace®.

Дисперсионные кривые для различных коэффициентов Пуассона, полученные по результатам расчета при  $c_p = 1$ , представлены на рис. 1.

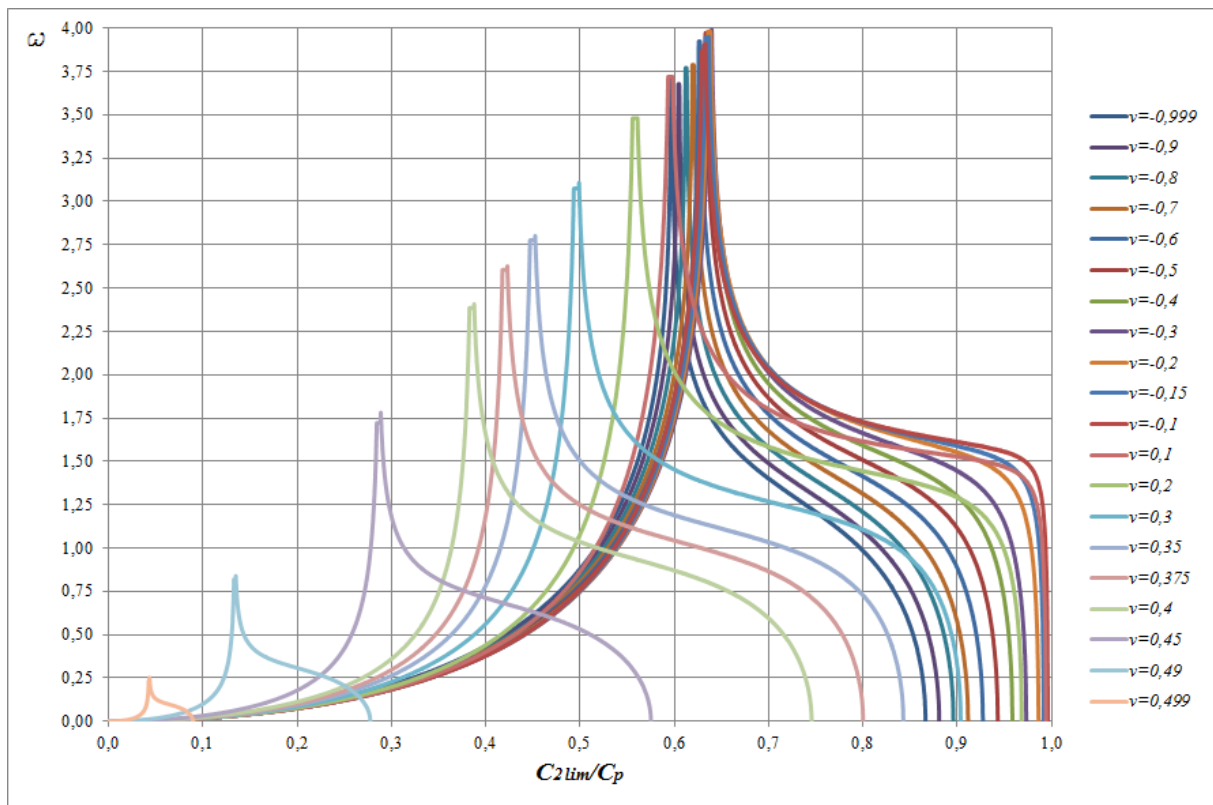


Рис. 1 Фундаментальные моды дисперсионных кривые при  $c_p = 1$

Значения второй предельной скорости и скорости распространения волн Рэлея для этого случая при различных коэффициентах Пуассона представлены в таблице 1.

Таблица 1 Вторая предельная скорость  $C_{2lim}$  и скорость волны Рэлея  $C_R$  при  $c_p = 1$  при различных коэффициентах Пуассона

| $\nu$  | $C_{2lim}$ | $C_R$   | $\nu$  | $C_{2lim}$ | $C_R$   |
|--------|------------|---------|--------|------------|---------|
| -0,999 | 0,86625    | 0,597   | 0      |            |         |
| -0,99  | 0,86725    | 0,59775 | 0,01   | 0,99975    | 0,6185  |
| -0,95  | 0,87325    | 0,601   | 0,025  | 0,9995     | 0,6155  |
| -0,9   | 0,88050    | 0,605   | 0,05   | 0,9985     | 0,6105  |
| -0,8   | 0,8955     | 0,61275 | 0,1    | 0,99375    | 0,59775 |
| -0,7   | 0,91125    | 0,62075 | 0,2    | 0,968      | 0,56075 |
| -0,6   | 0,927      | 0,627   | 0,25   | 0,94275    | 0,53375 |
| -0,5   | 0,94275    | 0,633   | 0,3    | 0,90350    | 0,49875 |
| -0,4   | 0,95825    | 0,6375  | 0,325  | 0,87625    | 0,47725 |
| -0,3   | 0,973      | 0,6395  | 0,35   | 0,8425     | 0,45225 |
| -0,25  | 0,97975    | 0,63925 | 0,375  | 0,79975    | 0,42275 |
| -0,2   | 0,986      | 0,63825 | 0,4    | 0,74525    | 0,38750 |
| -0,15  | 0,99125    | 0,63625 | 0,45   | 0,57475    | 0,28850 |
| -0,1   | 0,99575    | 0,63275 | 0,49   | 0,27725    | 0,13475 |
| -0,05  | 0,99875    | 0,6275  | 0,499  | 0,08925    | 0,0430  |
| -0,01  | 0,99975    | 0,62175 | 0,4999 | -          | -       |

График изменения второй предельной скорости и скорости распространения волн Рэлея при вариации коэффициента Пуассона представлен на рис.2.

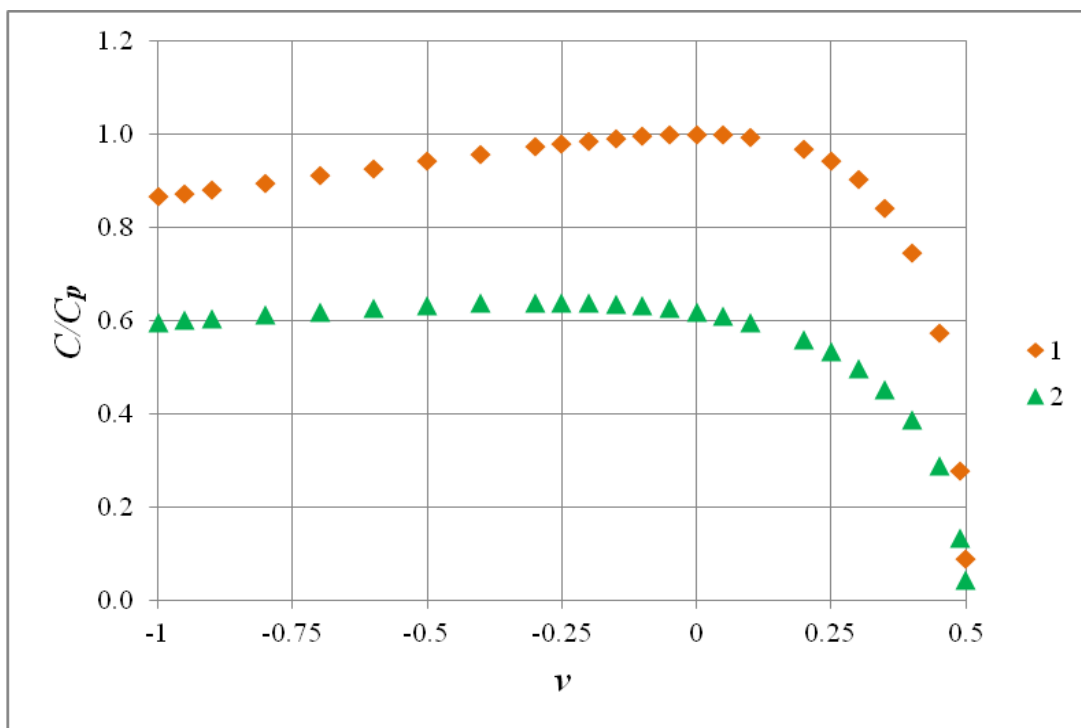


Рис. 2. Изменение 2-ой предельной скорости (1) и скорости волн Рэлея (2).

Дисперсионные кривые для различных коэффициентов Пуассона, полученные по результатам расчета при  $c_s = 1$ , представлены на рис. 3.

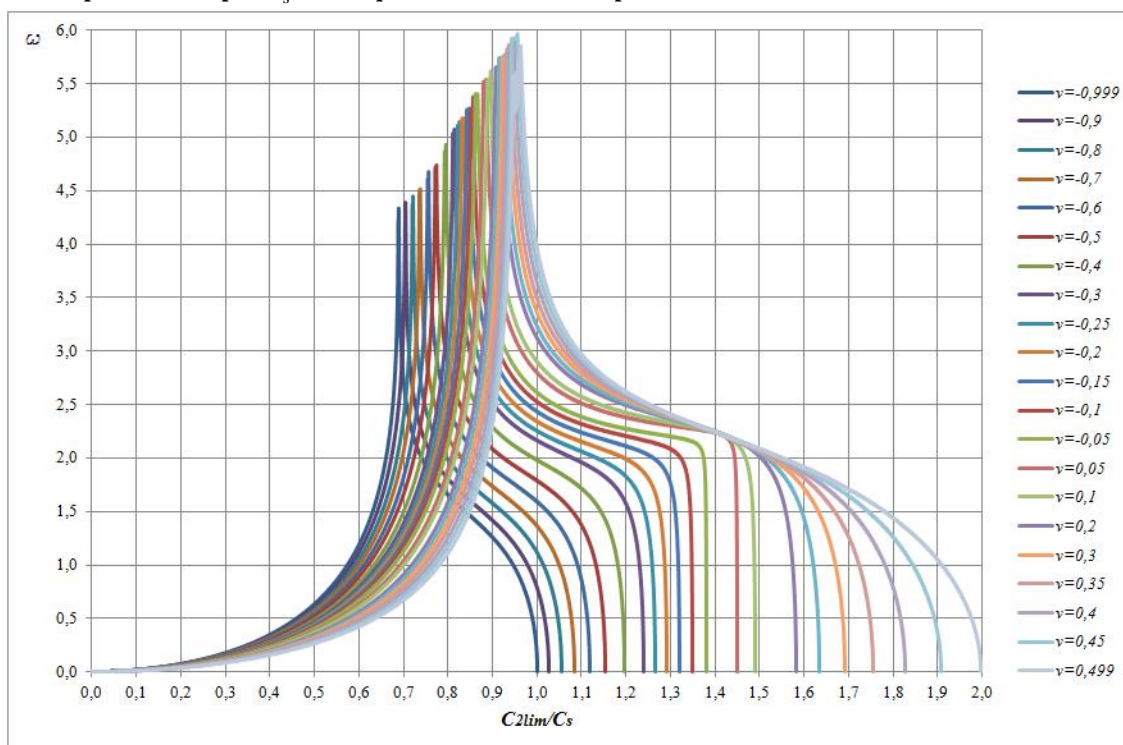


Рис. 3 Фундаментальные моды дисперсионных кривые при  $c_s = 1$ .

Значения второй предельной скорости и скорости распространения волн Рэлея при различных коэффициентах Пуассона для данного случая представлены в таблице 2.

Таблица 2 Вторая предельная скорость  $C_{2lim}$  и скорость волны Рэлея  $C_R$  при  $c_s = 1$  при различных коэффициентах Пуассона

| $\nu$  | $C_{2lim}$ | $C_R$   | $\nu$  | $C_{2lim}$ | $C_R$   |
|--------|------------|---------|--------|------------|---------|
| -0,999 | 1,00000    | 0,68950 | 0      | 1,41400    | 0,87700 |
| -0,99  | 1,00250    |         | 0,01   | 1,42130    |         |
| -0,95  | 1,01250    | 0,69700 | 0,025  | 1,44000    | 0,88200 |
| -0,9   | 1,02575    | 0,70375 | 0,05   | 1,45075    | 0,88700 |
| -0,8   | 1,05400    | 0,72125 | 0,1    | 1,49050    | 0,89675 |
| -0,7   | 1,08450    | 0,73850 | 0,2    | 1,58100    | 0,91550 |
| -0,6   | 1,11800    | 0,75650 | 0,25   | 1,63275    | 0,92450 |
| -0,5   | 1,15450    | 0,77550 | 0,3    | 1,69025    | 0,93300 |
| -0,4   | 1,19500    | 0,79500 | 0,325  | 1,72125    | 0,93700 |
| -0,3   | 1,24025    | 0,81525 | 0,35   | 1,75400    | 0,94125 |
| -0,25  | 1,26475    | 0,82550 | 0,375  | 1,78875    | 0,94500 |
| -0,2   | 1,29075    | 0,83200 | 0,4    | 1,82550    | 0,94900 |
| -0,15  | 1,31875    | 0,84625 | 0,45   | 1,90675    | 0,95650 |
| -0,1   | 1,34825    | 0,85650 | 0,49   | 1,98025    | 0,96225 |
| -0,05  | 1,38000    | 0,86175 | 0,499  | 1,99775    | 0,96450 |
| -0,01  | 1,40700    |         | 0,4999 | 1,99975    |         |

График изменения второй предельной скорости и скорости распространения волн Рэлея при вариации коэффициента Пуассона представлен на рис.4.

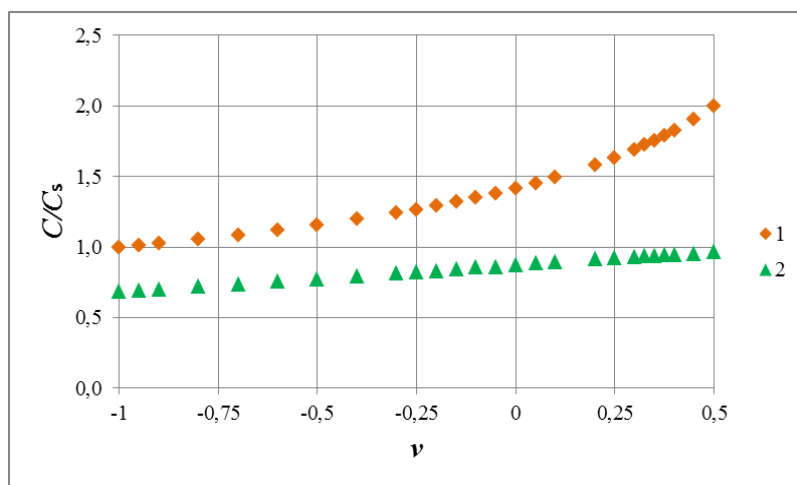


Рис. 4. Изменение 2-ой предельной скорости (1) и скорости волн Рэлея (2)

Численное решение получено на основе метода конечных элементов (МКЭ).

Конечно-элементное моделирование (КЭМ) играет немаловажную роль в изучении волн Лэмба, позволяя детально изучить динамику волновых процессов, визуализировать распространение волн в среде и представить результаты расчетов в наглядной форме. Использование КЭМ оказывает существенную поддержку экспериментальным методам неразрушающей диагностики, позволяя предсказывать место расположения дефекта и его характеристики. Однако реализация распространения волн в КЭ комплексах сталкивается с определенными трудностями, связанными с ограниченностью вычислительных ресурсов и неустойчивостью разностных схем. С этим связано

очень малое количество работ по конечноэлементному моделированию распространения волн Лэмба в пластинах.

При решении в конечноэлементных комплексах возможно использование одной из двух разностных схем: явной и неявной. Для задач распространения волн Лэмба в конечноэлементных пакетах, используются явные разностные схемы.

Явные схемы остаются стабильными, если шаг по времени меньше, чем время, необходимое для продольной волны, чтобы преодолеть наименьший элемент в сетке. Поскольку наименьший элемент в явной схеме определяет временной шаг, чрезвычайно важно избежать очень маленьких элементов в сетке.

Для достижения оптимального соответствия между размером элемента и шагом по времени и, в то же время, для получения устойчивого решения используется приближенный метод, известный как критерий Куранта. Он основан на определении минимального времени, необходимого для того, чтобы продольная объемная волна пересекла элемент сетки.

Таким образом, шаг по времени должен удовлетворять условию

$$\Delta t_c < \frac{\Delta x}{c_p}, \quad (5)$$

где  $\Delta t_c$  – шаг по времени,  $\Delta x$  – минимальный размер элемента,  $c_p$  – скорость продольной волны.

Конечноэлементное моделирование и последующий расчет проводились в конечноэлементном комплексе Abaqus® при  $\rho = 1$ ,  $c_p = 1$ ,  $h = 1$  при изменении коэффициента Пуассона в интервале (0;0,5). Конечноэлементная модель состоит из 8 млн. прямоугольных 4-узловых линейных элементов, результаты были получены для 5 точек наблюдения расположенных с интервалом 10м от точки приложения нагрузки.

К пластине прикладывается симметричная гармоническая по времени сосредоточенная сила, которая приводит к возникновению продольных и поперечных волн, которые расходятся от точки приложения нагрузки. Их взаимодействие, при распространении в глубину пластины, вызывает образование поверхностной волны. Перемещения в направлении  $x$  соответствуют продольным волнам, а перемещения в направлении  $z$  вертикальным волнам сдвига. Перемещения в направлении  $y$  не учитывались.

При размере элемента  $\Delta x = 0,005$  удалось получить устойчивое решение при  $C \rightarrow C_{2\text{lim}}$ , где  $C$  – скорость волны Лэмба  $C_{2\text{lim}}$  – вторая предельная скорость. Шаг по времени выбирался автоматически с тем, чтобы обеспечить условие (5).

На рис.5 приведено сравнение аналитических и численных (конечноэлементных) решений, полученных для симметричной фундаментальной моды в окрестности второй предельной скорости [2], отвечающей предельно малым частотам. Сплошными линиями обозначены результаты аналитического решения в программном комплексе Matlab®, а маркерами обозначены результаты численного решения, полученные в конечноэлементном комплексе Abaqus®. Получена хорошая сходимость численного и аналитического решения.

### **Выводы:**

Аналитическими методами исследовано изменение второй предельной скорости в широком диапазоне изменения коэффициента Пуассона. Обнаружено, что относительная вторая предельная скорость ( $c_{2\text{lim}} / c_p$ ) монотонно убывает с увеличением ко-

эфициента Пуассона при вариации последнего в диапазоне  $\nu \in [0; 0.5)$ , причем при  $\nu \rightarrow 0$  имеет место  $c_{2,\text{lim}} \rightarrow c_p$ .

Предложен и реализован метод генерирования поверхностных волн Лэмба в конечноэлементном программном комплексе Abaqus®. Было получено устойчивое конечноэлементное решение в окрестности второй предельной скорости.

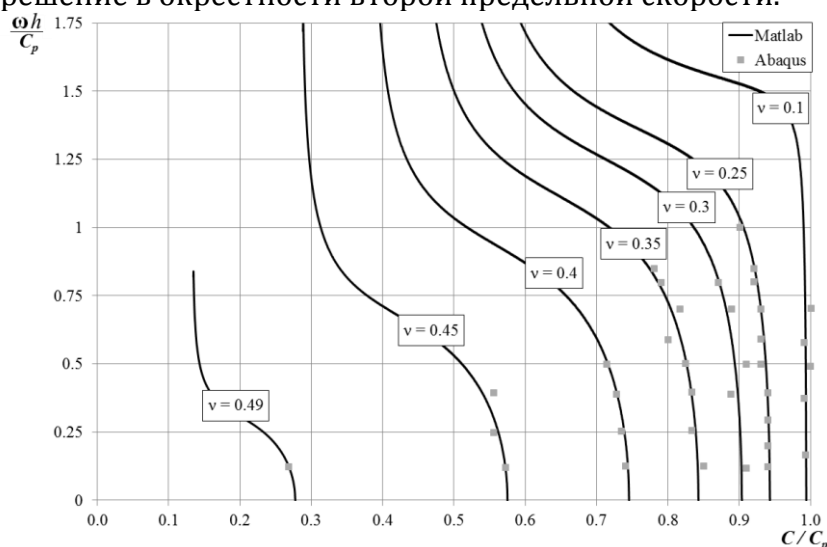


Рис.5 Сравнение аналитических и численных (конечноэлементных) решений, полученных для симметричной фундаментальной моды

Сравнительный анализ численных и аналитических результатов позволил определить круг проблем в реализации расчетов в КЭ комплексах, решение которых позволило свести к минимуму погрешности вызванные:

- выбором частотного диапазона и оптимизацией размера шага расчета по времени.
- размером конечных элементов;

Исследование дисперсионных зависимостей очень важно при определении оптимального волнового режима для определения физико-механических свойств материала и обнаружения внутренних повреждений, неоднородностей и дефектов. Взаимодействие волн с внутренними дефектами приводит к изменению этих зависимостей, что позволит нам судить о геометрических и физико-механических свойствах материала и внутренних дефектов. Полученные наработки позволяют приступить к непосредственному изучению взаимодействия волн Лэмба с внутренними дефектами.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Викторов И.А.* Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике. М.: Наука. 1966. 168 с.
2. *Djeran-Maigre I., Kuznetsov S.V.* Soliton-Like Lamb Waves in Layered. Waves in Fluids and Solids. 2011. Pp. 53-68.
3. *Ewing W.M., Jardetzky W.S., Press F.* Elastic waves in layered media. McGraw-hill book company, New-york, Toronto, London. 1957. 390 pp.
4. *Kuznetsov S.V.* Cauchy Six-Dimensional Formalism for Lamb Waves in Multilayered Plates. Hindawi Publishing Corporation. ISRN Mechanical Engineering. Article ID 698706. 2013. 11 pp.
5. *Lamb H.* On Waves in an Elastic Plate. Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Containing Papers of a Mathematical and Physical Character. 93(648). 1917. Pp. 114-128.

**С.Н. Бутырский**

*Аспирант кафедры теоретической механики и аэродинамики НИУ МГСУ*

**О.А. Ковальчук**

*Кандидат технических наук, профессор кафедры теоретической механики и аэродинамики НИУ МГСУ*

## **ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ И ПРИМЕНЕНИИ ВИБРО-СЕЙСМОГАСЯЩИХ ОПОР В ЗДАНИЯХ РАЗЛИЧНОЙ ЭТАЖНОСТИ. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ВИБРО-СЕЙСМОЗАЩИТЫ**

### **Аннотация**

Для определения влияния вибрационного воздействия на конструкции здания была замоделирована 3D конечно-элементная модель здания при помощи расчетного программного комплекса LIRA. В запрограммированной модели здания к несущим конструкциям было приложено сейсмическое воздействие с учетом наличия вибро-сейсмодемпфирующих резинометаллических опор (РМСО). В результате была определена и получена линейная зависимость податливости в РМСО от габаритных размеров опоры, а также деформационных свойств применяемого резинового материала, что позволило определить наиболее оптимальные характеристики РМСО, при которых действующие нагрузки на строительные конструкции здания не достигают предельных значений.

**Ключевые слова:** акселерограмма, сейсмограмма, деформации, сейсмозащита, конструкция, антифрикционная.

Известно, что работа несущих строительных конструкций зданий с высокой или малой этажностью существенно различается при воздействии на них динамических нагрузок (пульсация ветра, землетрясения, действие вибрационных нагрузок от ж/д транспорта: подземный городской транспорт (метрополитен), надземный трамвайный транспорт, а также железнодорожные магистрали.). Практически все рядовые здания, высота которых не превышает 30 метров, можно рассматривать как условно жесткие тела. К примеру, когда в таких зданиях колебания при ветровом воздействии практически не возникают и являются для здания не существенными, то при сейсмическом воздействии такие здания могут давать показания по горизонтальным перемещениям (деформациям). Однако здания, высотные отметки которых превышают 30 метров в аналогичных случаях, наоборот, в районе верхних этажей начинают перемещаться в горизонтальных плоскостях.

Как правило, рядовая система сейсмической защиты зданий и сооружений комплектуется из сейсмоизолирующих опор. Разработкам методов расчета разных типов и видов опор уделено особое внимание, что подтверждается значительным количеством научных исследований и публикаций научных трудов и статей известных российских ученых: Я.М. Айзенберг, М.А. Дашевский, Г.А. Джинчвелашвили, А.В. Дукарт, В.И. Жарницкий, Е.Н. Курбацкий, А.М. Курзанов, О.В. Мкртычев, В.Л. Мондрус, Ю.П. Назаров, А.Е. Саргсян, В.И. Смирнов, А.Г. Тамразян, А.М. Уздин, Ю.Т. Чернов, Г.Э. Шаблинский и др.

В настоящее время, учитывая большое количество конструкций запатентованных систем сейсмической защиты, которые отличает большое разнообразие, отличающиеся как по материалу исполнения, принципу действия так и по конструкции вибро-сейсмоопор, каждое из которых имеет свои преимущества достоинства и недостатки. На текущее время, анализируя существующие наиболее удачные современные методы сейсмозащиты зданий, можно заключить, что вибро-сейсмоизоляция зданий, выполнена на основе упругих, антифрикционных и пластических материалов.

Наиболее экономически целесообразным во всем мире признано использование систем резинометаллических опор (РМО) в основном представленных в виде резинометаллических сейсмоизоляторов (РМС) (резинометаллических сейсмоизолирующих опор (РМСО)). По конструкции РМСО выполнена в виде слоев высококачественной резины чередующихся со слоями металлических пластин. Стальные пластины в резинометаллической опоре устанавливаются как внутри конструкции РМСО (внутренние пластины), так и в качестве соединительных и фланцевых пластин [10].

В современном строительстве самыми распространенными для защиты зданий являются три типа РМСО [12], которые можно разделить на опоры:

- с низким принудительным гашением колебаний и установкой дополнительных гасителей (демпферов);
- с высокой степенью гашения колебаний;
- со стальным сердечником (наиболее распространен для установки в районах с повышенной сейсмоактивностью).

Но наиболее распространёнными опорами для защиты зданий и сооружений от сейсмического воздействия являются представленные на рисунке №1 слоеные резинометаллические опоры (ТРМО) [3, 9].

Исходя из конструктивной особенности здания, сейсмоизолирующие опоры располагаются в фундаментах здания.

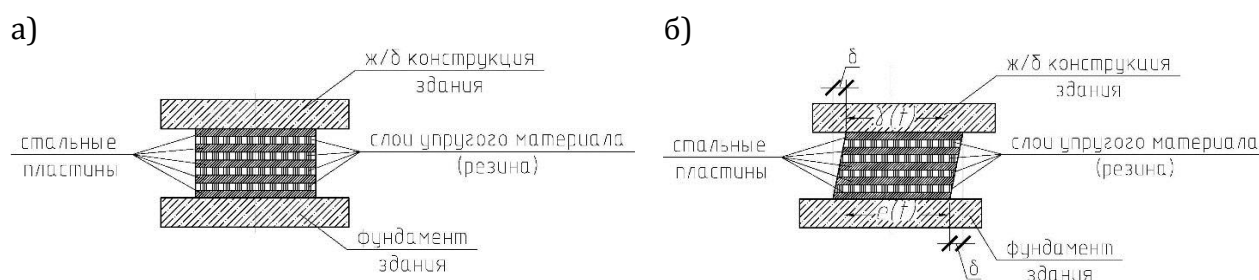


Рис. 1. а) Вид сейсмоизолирующие резинометаллической опоры. б) Работа опоры при воздействии сейсмического воздействия.

На сегодняшний день для упрощения и облегчения работы инженера-конструктора в расчете зданий и сооружений с применением систем вибро-сейсмоизоляции требуется разработка методики расчета и подбора характеристик РМСО на основе математической модели, которая с большей долей вероятности будет определять характер работы использованных вибро-сеймоопор. В настоящий момент разработано уже довольно большое количество таких моделей, которые можно условно разделить на модели:

- нелинейная постановка;
- линейная постановка;
- билинейная постановка.

В [6] был проведен сравнительный анализ выше указанных моделей, а также сделаны вывод о том, что модель (Bouc-Wen) наиболее оптимально подходит для описания фактической диаграммы работы РМСО. Линейная и билинейная математические модели существенно разнятся с фактическими результатами [12].

Для оценки надежности и устойчивости зданий и сооружений с системой сейсмозащиты с применением РМСО, требуется для проектируемого или анализа сейсмического воздействия на уже построенное здание, необходимо определиться с методикой и заложить сейсмическое воздействие в расчетную математическую модель здания. Данные методики в большом разнообразии широко представлены в самых распространенных программных конечно-элементных комплексах САПР по проектированию



и расчету строительных конструкций, а также представлены в своде правил [17]. В текущий момент времени уже разработаны [14] и широко применяются в той или иной модификации разные методы расчета на сейсмические воздействия.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Catalogue on lead rubber bearings series SI. «FIP Industriale S.P.A.», 2015.
2. Chopra A. K. Dynamic of structures. Theory and Applications to Earthquake Engineering. New Jersey: Prentice-Hall, 2006. – 794 p.
3. James M. Kelly, Earthquake-Resistant Design with Rubber, University of California, Richmond, California. 1997.
4. Martelli A., Forny M. Seismic isolation: present application and perspectives // International Workshop On Base Isolated High-rise Buildings. Yerevan, Armenia: 2006. Pp.1-26.
5. Masahiko Higashino, Shin Okamoto. Response Control and Seismic Isolation of Buildings. New York: Taylor & Francis, 2006. – 484 p.
6. Mavronicola E., Komodromos P. The effect of non-linear parameters on the modeling of multi-storey seismically isolated buildings. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Cyprus, 15 WCEE, LISBOA 2012.
7. Skinner R. I. An introduction to seismic isolation. New Zeland: John Wiley & Sons, 1993. – 353 p.
8. Skinner R. I., Robinson W. H., McVerry G. H. An introduction to seismic isolation. New York: Wiley, 2003. – 398 p.
9. Trevor E Kelly, Base Isolation of Structures, Holmes Consulting Group, Wellington, New Zealand. 2001.
10. Айзенберг Я.М., Смирнов В.И., Акбиев Р.Т. Методические рекомендации по проектированию сейсмоизоляции с применением резинометаллических опор. М.: РАСС, 2008. – 46 с.
11. Ансеметов М.Ч., Андашев А.Ж. Разработка надежных и технологичных конструкций сейсмоизолирующих опор из упругих, пластичных и антифрикционных материалов. Вестник КГУСТА. №3, 2012, с. 82-89.
12. Бунов А. А. Оценка надежности зданий с системой сейсмоизоляции в виде резинометаллических опор. Диссертация на соискание учений степени кандидата технических наук. М.: МГСУ, 2014.
13. Дерев А.В., Максимов Г.А., Поздняков С.Г. Расчет вибраций здания под действием сейсмической нагрузки при наличии тонкослойных резинометаллических опор. М: Научная сессия МИФИ, 2005, Моделирование физических процессов в окружающей среде, т. 5.
14. РБ 006-98. Определение исходных сейсмических колебаний грунта для проектных основ. — М.: 1999. – 36 с.
15. Рутман Ю.Л. Маятниковые сейсмоизолирующие опоры. Конструкция, расчет, эксперимент. Инженерно-строительный журнал, №1, 2012
16. Смирнов В.И., Вахрина Г.Н., Развитие моделей расчетных акселерограмм сейсмических воздействий. Журнал: Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. №1, 2013.
17. СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах СНиП II-7-81\* (актуализированного СНиП II-7-81\* "Строительство в сейсмических районах" (СП 14.13330.2011)).
18. Основы проектирования зданий в сейсмических районах, под ред. И. Л. Корчинского, М., 1961.
19. СНиП, ч. 2, разд. А, гл. 12. Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования, М., 1963.

**Е.П. Завадская**

*Аспирант кафедры теоретической механики и аэродинамики НИУ МГСУ*

**О.А. Ковальчук**

*Кандидат технических наук, профессор кафедры теоретической механики и аэродинамики НИУ МГСУ*

## **РОССИЙСКИЕ И ЕВРОПЕЙСКИЕ ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ РИСКА АВАРИИ, ИХ СРАВНЕНИЕ, ВЫЯВЛЕНИЕ ДОСТОИНСТВ И НЕДОСТАТКОВ**

### **Аннотация**

Настоящая статья посвящена рассмотрению европейских концепций оценки риска возникновения аварийной ситуации на объекте изотермического хранения газа и сравнению их с российскими методами.

**Ключевые слова:** первый уровень анализа, второй уровень анализа, эталонный газ.

Основными нормативными документами в сфере деятельности по экологическому, технологическому и атомному надзору на территории РФ, является "Документ по безопасности, надзорной и разрешительной деятельности в химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности" Серия 09 выпуск 38; "Декларирование промышленной безопасности и оценка риска" Серия 27 выпуск 8; "Декларирование промышленной безопасности и оценка риска" Серия 27 выпуск 11. Европейская система оценки риска аварий на ОПО отличается от российской тем, что в европейских методиках оценка риска является двухуровневой. Оценка риска по российским методикам на уровни не подразделяется.

К первому уровню анализа в европейских нормах относятся случаи:

- 1) пролива эталонных газов, т. е. газов, чьи физические и химические свойства известны [1];
- 2) для типовых механизмов повреждения, таких как утончения листа; коррозионное растрескивание; механическая усталость и т. п. [8]

Таким образом, на первом уровне анализа все вероятностные характеристики рассчитаны экспертами, являются табличными данными и неизменны во времени. Ко второму уровню анализа прибегают в случае нестандартности аварийной ситуации [5, 6, 7]. Например, в результате пролива, жидкий газ мешается с воздухом, грязью, осадками и т. п., в результате чего образуется новое опасное химическое вещество, не являющееся эталонным газом.

В европейских стандартах все возможные сценарии развития аварии на объектах хранения сжиженных газов сведены к двум наиболее вероятным и наиболее опасным, в то время как в российских нормах представлено десять типовых сценариев. В наших нормативных документах оценка риска не разбивается на уровни проведения анализа. Для каждого объекта индивидуально строится дерево событий и дерево отказов. Далее, в соответствии с деревом событий рассчитываются вероятностные характеристики, необходимые для анализа, в которых учитываются все аспекты возможной или случившейся аварии. За счет таких принципиальных отличий, наши количественные оценки риска точнее европейских, но в расчетах более затратные по времени.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. API RP 581. Risk-Based Inspection Technology, American Petroleum Institute, 2015.
2. API 579-1 / ASME FFS-1, American Petroleum Institute, 2015.
3. Ханухов Х.М., Алипов А.В. Нормативно-техническое и организационное обеспечение безопасной эксплуатации резервуарных конструкций. Сборник научных трудов «Предотвращение аварий зданий и сооружений», Москва, 2011.-440с., стр. 384-422.
4. Inspectioneering Journal. Asset integrity intelligence. Abnormal cracks led to premature decommissioning of boiler feed water exchanger – what happened and why? By Ana Benz, IRISNDT. volume 20, issue 5/ September/ October, 2014
5. Растворимость газов в воде Справочное пособие - Намиот А.Ю. , 1991г
6. Патент Российской Федерации. Сепаратор – авторы: Елин Н.Н.; Солодов А.В.; Масленников В.В.; Данилин А.П.; Жуков Б.В., г. Иванов 1998г
7. Абалтусов В. Е. , Немова Т. Н. , “Исследование взаимодействия высокотемпературных одно- и двухфазных потоков с элементами активной теплозащиты”, ТВТ, 30:4 (1992), 798–802
8. Mechanical Integrity assessment of NGL pressure vessel MAY/ JUNE, 2009 Vol. 15 Is. 3.

**В.А. Пшеничкина**

*Заведующая кафедрой строительных конструкций, оснований и надёжности сооружений Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета  
доктор технических наук, профессор*

**С.С. Рекунов**

*Кандидат технических наук, доцент кафедры строительной механики Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*

**В.В. Дроздов**

*Кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, оснований и надёжности сооружений Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*

**А.Ю. Чаускин**

*Аспирант кафедры строительных конструкций, оснований и надёжности сооружений Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*

## **ПРАКТИЧЕСКИЙ МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА СЕЙСМИЧЕСКОГО СМЕЩЕНИЯ ГРУНТА**

### **Аннотация**

В статье приведено решение задачи нахождения статистических характеристик случайного процесса сейсмического смещения грунта основания по заданным характеристикам случайного процесса его ускорения. Построены реализации – акселерограмма и сейсмограмма – рассматриваемых процессов для двух видов спектральных плотностей ускорения в виде полиэкстремальной функции и усредненной функции с одним экстремумом. Полученные результаты предназначены для проведения вероятностных расчётов сейсмостойких зданий и оценки их надёжности.

**Ключевые слова:** акселерограмма, сейсмограмма, случайный процесс, спектральная плотность, огибающая.

Вероятностный расчёт сооружений на сейсмические воздействия с учётом физической и геометрической нелинейности, а также оценка их надёжности связаны с необходимостью моделирования реализаций случайного процесса сейсмических смещений грунтового основания. Вычисление значений сейсмограммы интегрированием соответствующей акселерограммы приводит к появлению ярко выраженных низкочастотных трендов, качественно изменяющих картину фактических смещений. Это связано с неопределённостью начальных условий интегрирования, которые, как правило, принимаются нулевыми, и погрешностями измерительной аппаратуры, дающими низкочастотные искажения в спектре акселерограммы. Поэтому при построении расчётной модели сейсмограммы проводится корректировка исходной акселерограммы так, чтобы её второй интеграл был свободен от указанных недостатков [1].

Сейсмическое ускорение грунтового основания (акселерограмму) моделируем, согласно В.В. Болотину [2], в виде произведения нормального стационарного случайного процесса  $\tilde{X}(t)$  и детерминированной огибающей  $A(t)$

$$\tilde{a}(t) = A(t)\tilde{X}(t). \tag{1}$$

Статистические характеристики случайного процесса  $\tilde{X}(t)$ :

- математическое ожидание  $m_x(t) = 0$ ;
- корреляционная функция  $K_x(\tau)$ ;
- дисперсия  $D_x$ ;
- спектральная плотность  $S_x(\omega)$ .

Ставится задача нахождения статистических характеристик случайного процесса сейсмического смещения грунта основания  $\tilde{u}(t)$ , и построения его реализаций по заданным характеристикам случайного процесса ускорения  $\tilde{a}(t)$ .

Запишем случайный процесс  $\tilde{X}(t)$  в виде канонического разложения [3]

$$\tilde{X}(t) = \sum_{i=1}^{\infty} (\tilde{A}_i \cos(\omega_i t) + \tilde{B}_i \sin(\omega_i t)) \quad (2)$$

где  $\tilde{A}_i, \tilde{B}_i$  - случайные нормально распределенные величины с нулевыми математическими ожиданиями и попарно равными дисперсиями

$$D_{A_i} = D_{B_i} = D_i \quad (3)$$

Разложение (2) соответствует разложению дисперсии  $D_x$  случайной функции  $\tilde{X}(t)$  по частотам  $\omega_i$

$$D_i = D_x \cdot d_x(\omega_i) = D_x \int_{\omega_i - \frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_i + \frac{\Delta\omega}{2}} S_x^H(\omega) d\omega \quad (4)$$

Таким образом, исходный случайный процесс  $\tilde{X}(t)$  приводится к сумме некоррелированных полосовых белых шумов, с постоянной на интервале  $\left[ \omega_i - \frac{\Delta\omega}{2}, \omega_i + \frac{\Delta\omega}{2} \right]$  спектральной плотностью.

Корреляционная функция каждой  $i$ -й элементарной случайной функции разложения (2) является простой косинусоидой с частотой  $\omega_i$

$$\rho(\tau) = \cos(\omega\tau) \quad (5)$$

Тогда, с учётом (5) корреляционную функцию  $K_x(\tau)$  можно представить в виде

$$P(\tau) = D_x \sum_{i=1}^n d_x(\omega) \cdot \cos(\omega\tau) \quad (6)$$

Проинтегрируем дважды функцию (2), учитывая, что при линейном преобразовании случайной функции, заданной каноническим разложением, получим также каноническое разложение

$$\tilde{u}(t) = L\{\tilde{X}(t)\} = \sum_{i=1}^n [\tilde{A}_i \psi_i^c(t) + \tilde{B}_i \psi_i^s(t)] \quad (7)$$

с координатными функциями

$$\psi_i^c(t) = \int_0^t \int_0^t \cos(\omega_i \tau) d\tau d\tau = \frac{1 - \cos(\omega_i t)}{\omega_i^2} \quad (8)$$

$$\psi_i^s(t) = \int_0^t \int_0^\tau \sin(\omega_i \tau) d\tau d\tau = \frac{\sin(\omega_i t) - \omega_i t}{\omega_i^2}. \quad (9)$$

Исключив тренд, появляющийся при двойном интегрировании координатных функций, получим функцию перемещения в виде

$$\tilde{u}(t) = \sum_{i=1}^n \left[ -\tilde{A}_i \frac{\cos(\omega_i t)}{\omega_i^2} + \tilde{B}_i \frac{\sin(\omega_i t)}{\omega_i^2} \right]. \quad (10)$$

При двойном дифференцировании функции (10) приходим к процессу  $\tilde{X}_0(t)$ , который отличается от процесса  $\tilde{X}(t)$  знаком амплитуды  $\tilde{B}_i$ . Случайные величины  $\tilde{A}_i$  и  $\tilde{B}_i$  имеют нулевое математическое ожидание и появление их положительных и отрицательных значений равновероятно. Дисперсии и корреляционные функции процессов  $\tilde{X}(t)$  и  $\tilde{X}_0(t)$  равны между собой, поэтому в вероятностном смысле  $\tilde{X}(t) = \tilde{X}_0(t)$ .

Корреляционную функцию случайного процесса (10) находим по формуле

$$\begin{aligned} K_u(t_1, t_2) &= D_x \sum_{i=1}^n d_x(\omega_i) \left[ \frac{\cos(\omega_i t_1) \cos(\omega_i t_2)}{\omega_i^4} + \frac{\sin(\omega_i t_1) \sin(\omega_i t_2)}{\omega_i^4} \right] = \\ &= D_x \sum_{i=1}^n \frac{d_x(\omega_i)}{\omega_i^4} \cos[\omega_i(t_1 - t_2)] \end{aligned} \quad (11)$$

Предложенный подход применим для стационарных случайных процессов с любым видом спектральной плотности и огибающей функции.

При стохастическом расчёте сооружений на сейсмические нагрузки пользуются либо усредненными параметрами спектральной плотности [3], либо сейсмические спектры рассматриваются как полиэкстремальные функции [4], либо модель сейсмического воздействия представляется множеством случайных процессов, спектральные плотности которых заполняют некоторый заданный (известный из опыта) интервал несущих частот [5]. В качестве примера рассмотрим моделирование реализаций случайного процесса  $\tilde{u}(t)$  с входной нормированной спектральной плотностью  $S_x^H(\omega)$ , содержащей  $N=7$  основных экстремумов, и случайного процесса  $\tilde{u}_1(t)$ , входная нормированная спектральная плотность которого  $S_{1x}^H(\omega)$  содержит один основной экстремум ( $N=1$ ). Параметры спектральных плотностей получены при обработке компонент сейсмических движений грунта при Газлийском землетрясении (1976 г.) [4]. Спектральную плотность сейсмического ускорения аппроксимируем функцией

$$S_x^H(\omega) = \frac{2}{N\pi} \sum_{k=1}^7 \frac{m_k + \omega^2}{m_k^2 + 2a_k \omega^2 + \omega^4}, \quad (12)$$

где  $m_k = \alpha_k^2 + \beta_k^2$ ;  $a_k = \alpha_k^2 - \beta_k^2$ ;  $k = 1, \dots, N$ .

Параметры спектральной плотности (12) для двух рассматриваемых процессов приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Коэффициенты аппроксимации спектральных плотностей процессов  $\tilde{X}(t)$  и  $\tilde{X}_1(t)$

| Процессы         | $\tilde{X}(t)$ |           |           |           |           |           |           | $\tilde{X}_1(t)$ |
|------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|
|                  | 1              | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         | 1                |
| № экстремума     |                |           |           |           |           |           |           |                  |
| $\alpha, c^{-1}$ | 0,<br>208      | 0<br>,494 | 0,<br>291 | 0<br>,745 | 0<br>.583 | 0<br>,812 | 1,<br>378 | 3,21             |
| $\beta, c^{-1}$  | 0,<br>69       | 5<br>,86  | 8,<br>62  | 1<br>7,24 | 2<br>3,1  | 3<br>3,45 | 4<br>5,17 | 9,0              |

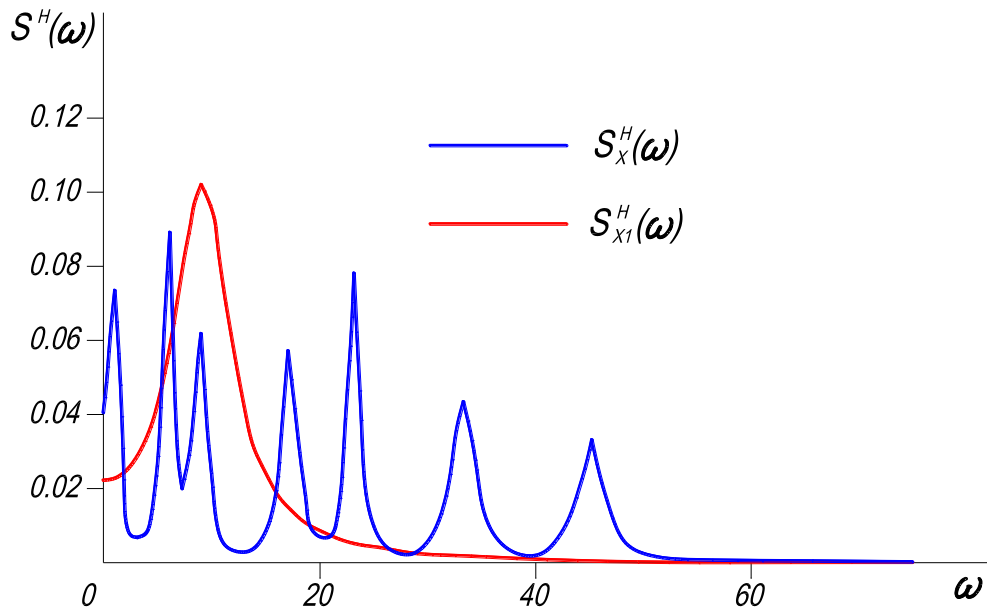


Рис.1. Спектральные плотности процессов  $\tilde{X}(t)$  и  $\tilde{X}_1(t)$

На рис.1 показаны графики спектральных плотностей, а на рис.2 – представление их в виде дискретных спектров  $dx(\omega_i)$  и  $dx_1(\omega_i)$  некоррелированных полосовых белых шумов.

Нормированные корреляционные функции, соответствующие спектральным плотностям (12) при  $N = 7$  и  $N = 1$ , имеют вид (рис.3)

$$K_x^H(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N e^{-\alpha_k \tau} \cos(\beta_k \tau) \approx \sum_{i=1}^n dx(\omega_i) \cos(\omega_i \tau), \quad (13)$$

$$K_{x1}^H(\tau) = e^{-\alpha \tau} \cos(\beta \tau) \approx \sum_{i=1}^n dx_1(\omega_i) \cos(\omega_i \tau). \quad (14)$$

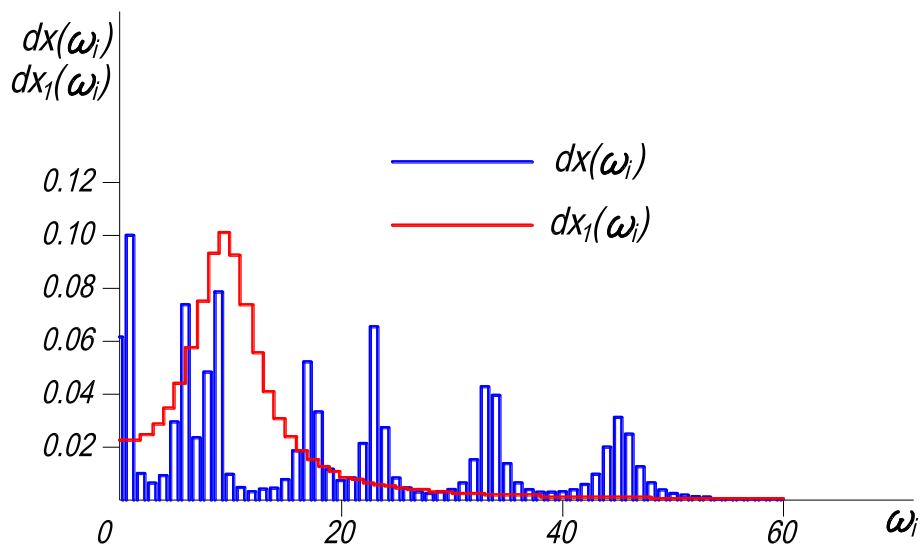


Рис.2. Дискретные спектральные плотности процессов  $\tilde{X}(t)$  и  $\tilde{X}_1(t)$

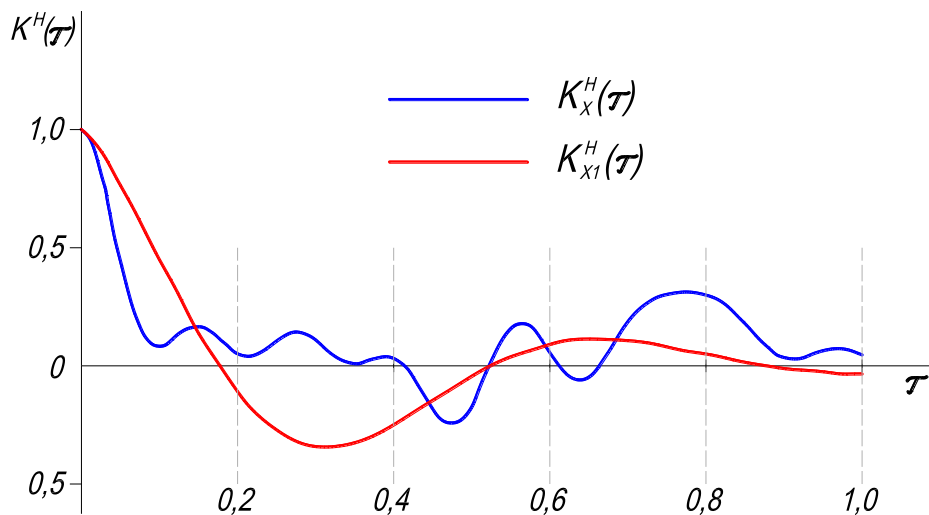


Рис.3. Нормированные корреляционные функции процессов  $\tilde{X}(t)$  и  $\tilde{X}_1(t)$

В качестве огибающей принимаем функцию [2]

$$A(t) = A_0 \gamma t e^{-\gamma t}. \quad (15)$$

Моделирование реализаций случайных процессов сейсмического ускорения и смещения грунтового основания, заданных в виде канонического разложения (2) и (10) сводится к моделированию случайных чисел  $\tilde{A}_i$  и  $\tilde{B}_i$  с известными статистическими характеристиками (3). Реализации процессов  $\tilde{a}(t)$  (рис.4) и  $\tilde{u}(t)$  (рис. 5) вычислены при следующих расчётных параметрах: интенсивность землетрясения 7 баллов, среднее значение пикового ускорения  $A_{\max} = 1 \text{ м/с}^2$ ; стандарт  $\sigma_{A_{\max}} = 0,408 \text{ м/с}^2$ ;  $A_0 = 2,718$ ;  $\gamma = 0,3$ .

Представленное решение задачи моделирования сейсмических нагрузок предназначено для проведения вероятностного расчёта зданий и сооружений на реализации случайных процессов ускорения или смещения грунта методом статистических испытаний на ЭВМ, а также аналитическими методами теории случайных функций. Расчёт ведётся на уровне корреляционных приближений с учётом первых двух статистиче-



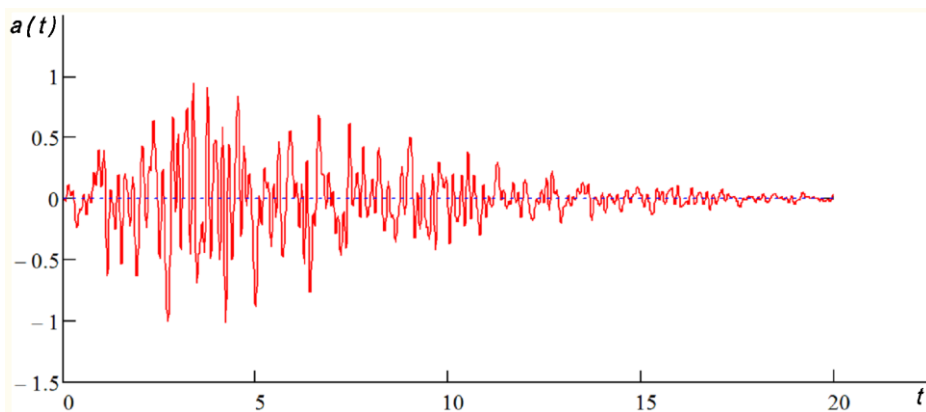


Рис.4. Реализация процесса  $\tilde{a}(t)$  (акселерограмма)

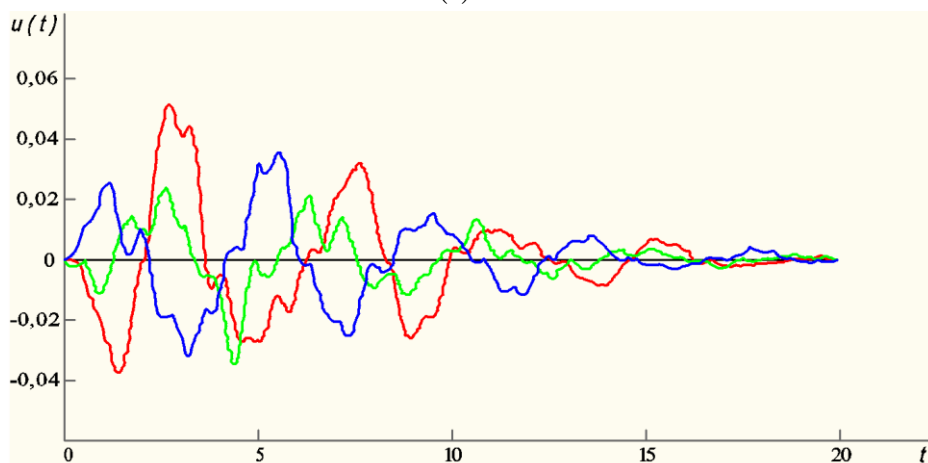


Рис.5. Реализации процесса  $\tilde{u}(t)$  (сейсмограмма)

ских моментов – математического ожидания и корреляционной функции (спектральной плотности). Применение метода канонических разложений для моделирования случайных процессов позволяет получить решение достаточно общего вида для различных параметров сейсмического движения грунта – огибающей функции, спектральной плотности, скорости затухания процесса, интенсивности и продолжительности землетрясения.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мишин Д.В. Корректирование акселерограмм при моделировании сейсмических воздействий // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2001, №2, с. 17-22.
2. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
3. Пугачев В.С. Теория случайных функций. – М.: Физматгиз, 1962. – 884 с.
4. Барштейн М.Ф. Приложение вероятностных методов к расчету сооружений на сейсмические воздействия // Строительная механика и расчет сооружений. – 1960, №2. С.6-14.
5. Николаенко Н.А., Назаров Ю.П. Динамика и сейсмостойкость сооружений. – М. Стройиздат, 1988. – 308 с.

**О.А. Ковальчук**

Кандидат технических наук, профессор кафедры теоретической механики и аэродинамики НИУ МГСУ

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КАРКАСА ЗДАНИЯ

### Аннотация

В статье рассматривается формирование аналитической модели стержня, который является элементом строительных конструкций (ригель, колонна). Получены уравнения состояния стержня, которые обеспечивают связь между состоянием внутри объекта исследований и состоянием в граничных узлах в виде аналитических выражений.

**Ключевые слова:** стержень, гипотезы Бернулли, уравнения движения, граничные условия, уравнения состояния стержня.

Стержневые элементы строительных конструкций – это, как правило, ригели и колонны. Стержень можно представить однородным прямолинейным элементом постоянной жесткости.

Используем при аналитическом описании стержневой модели гипотезы Бернулли о плоских сечениях, ненадавливании волокон [2, 3] и подходы, представленные в [4, 5].

Продольные перемещения распределяются линейно:

$$u(x, y, z) = u(x) - y \frac{dv}{dx}(x) - z \frac{dw}{dx}(x) = u(x) - y\theta_z(x) - z\theta_y(x). \quad (1)$$

$u, v, w$  – компоненты вектора перемещений.

С учетом принятых гипотез получим выражения для нормальной силы

$$N = \int_A \sigma dA = EA \left[ \frac{\partial u(x)}{\partial x} - \alpha \int_A \Delta T dA \right] = EA \frac{\partial u(x)}{\partial x} - q_{xT}, \quad (7)$$

закручивающего момента

$$M_x = \int_A \tau \sqrt{y^2 + z^2} dA = GJ_p \frac{\partial \theta_x}{\partial x}, \quad (8)$$

изгибающих моментов

$$M_z = - \int_A \sigma y dA = -EJ_z \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + EJ_z \alpha \int_A y \cdot \Delta T dA = -EJ_z \frac{\partial \theta_z}{\partial x} + m_{zT},$$
$$M_y = - \int_A \sigma z dA = -EJ_y \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + EJ_y \alpha \int_A z \cdot \Delta T dA = -EJ_y \frac{\partial \theta_y}{\partial x} + m_{yT} \quad (9)$$

где ось  $x$  – проходит по длине стержня через центр тяжести сечения, оси  $y$  и  $z$  – главные центральные оси поперечного сечения,  $A$  – площадь поперечного сечения,  $J_p$  –

полярный момент инерции,  $J_y, J_z$  – главные центральные моменты инерции,  $E$  – модуль Юнга,  $G$  – модуль сдвига; жесткости стержня на растяжение –  $EA$ , кручение –  $GJ_p$ , изгиб –  $EJ_y$  и  $EJ_z$ ;  $\alpha$  – коэффициент линейного температурного расширения

Получаем уравнения движения:

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial x} &= \rho A \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - q_x; \quad \frac{\partial M_x}{\partial x} = \rho J_p \frac{\partial^2 \theta_x}{\partial t^2} - m_x; \quad \frac{\partial M_y}{\partial x} = Q_z - m_y; \\ \frac{\partial M_z}{\partial x} &= -Q_y - m_z; \quad \frac{\partial Q_y}{\partial x} = \rho A \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} - q_y; \quad \frac{\partial Q_z}{\partial x} = \rho A \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - q_z \end{aligned} \quad (10)$$

где  $t$  – время,  $Q_y, Q_z$  – поперечные силы,  $q_x, q_y, q_z, m_x, m_y, m_z$  – компоненты распределенных по длине сил и моментов, которые считаем известными функциями  $x$  и  $t$ . Компоненты  $q_x, m_y, m_z$  включают температурные составляющие.

Получаем из (1), (7)...(10) систему, которая представляет собой уравнения состояния стержня:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} &= \frac{N}{EA}; \quad \frac{\partial v}{\partial x} = \theta_z; \quad \frac{\partial w}{\partial x} = \theta_y; \\ \frac{\partial \theta_x}{\partial x} &= \frac{M_x}{GJ_p}; \quad \frac{\partial \theta_y}{\partial x} = -\frac{M_y}{EJ_y}; \quad \frac{\partial \theta_z}{\partial x} = -\frac{M_z}{EJ_z}; \end{aligned} \quad (12)$$

$$\frac{\partial M_x}{\partial x} = \rho J_p \frac{\partial^2 \theta_x}{\partial t^2} - m_x; \quad \frac{\partial M_y}{\partial x} = Q_z - m_y; \quad \frac{\partial M_z}{\partial x} = -Q_y - m_z;$$

$$\frac{\partial N}{\partial x} = \rho A \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - q_x; \quad \frac{\partial Q_y}{\partial x} = \rho A \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} - q_y; \quad \frac{\partial Q_z}{\partial x} = \rho A \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} - q_z.$$

Начальные условия:

$$u(x,0) = u_1(x); \quad v(x,0) = v_1(x); \quad w(x,0) = w_1(x);$$

$$\theta_x(x,0) = \theta_{x1}(x); \quad \theta_y(x,0) = \theta_{y1}(x); \quad \theta_z(x,0) = \theta_{z1}(x);$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(x,0) = u_2(x); \quad \frac{\partial v}{\partial t}(x,0) = v_2(x); \quad \frac{\partial w}{\partial t}(x,0) = w_2(x); \quad (13)$$

$$\frac{\partial \theta_x}{\partial t}(x,0) = \theta_{x2}(x); \quad \frac{\partial \theta_y}{\partial t}(x,0) = \theta_{y2}(x); \quad \frac{\partial \theta_z}{\partial t}(x,0) = \theta_{z2}(x);$$

Граничные условия:

- кинематические условия:

$$u(0,t) = u_3(t); \quad v(0,t) = v_3(t); \quad w(0,t) = w_3(t);$$

$$\theta_x(0,t) = \theta_{x3}(t); \quad \theta_y(0,t) = \theta_{y3}(t); \quad \theta_z(0,t) = \theta_{z3}(t);$$

$$u(L,t) = u_4(t); \quad v(L,t) = v_4(t); \quad w(L,t) = w_4(t);$$

$$\theta_x(L,t) = \theta_{x4}(t); \quad \theta_y(L,t) = \theta_{y4}(t); \quad \theta_z(L,t) = \theta_{z4}(t); \quad (14)$$

- силовые условия:

$$\begin{aligned}
N(0,t) &= N_3(t); Q_y(0,t) = Q_{y3}(t); Q_z(0,t) = Q_{z3}(t); \\
M_x(0,t) &= M_{x3}(t); M_y(0,t) = M_{y3}(t); M_z(0,t) = M_{z3}(t); \\
N(L,t) &= N_4(t); Q_y(L,t) = Q_{y4}(t); Q_z(L,t) = Q_{z4}(t); \\
M_x(L,t) &= M_{x4}(t); M_y(L,t) = M_{y4}(t); M_z(L,t) = M_{z4}(t).
\end{aligned}
\tag{15}$$

Уравнения (12), (13), (14), (15) удобно преобразовать в матричную форму для выполнения расчетов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковальчук О.А. Моделирование пространственных стержневых систем методом конечных элементов. // Строительство: наука и образование. – 2012. – №1.
2. Александров А.В., Лащеников Б.Я., Шапошников Н.Н. Строительная механика. Тонкостенные пространственные системы. - М.: Стройиздат, 1983. - 488с.
3. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов. – М.: Высшая школа, 2003. – 560 с.
4. Тамразян А.Г. Матрица влияния модели суперэлемента прямого стержня с поперечными трещинами на динамическое состояние упругих и линейно-вязкоупругих тел / А.Г. Тамразян, О.А. Ковальчук // Вестник НИЦ. Строительство. – 2011. – № 3–4. – С. 120–130.
5. Гордон В.А. Динамические напряжения в арматурном стержне при внезапном образовании трещин / В.А. Гордон, А.Г. Тамразян, Т.В. Савостикова // Вестник НИЦ. Строительство. – 2010. – № 2. – С. 167–176.

**Ю.Н. Филин**

Консультант-преподаватель направления «Формографика» НИУ МГСУ

**Н.С. Картавец**

Ведущий инженер ООО «Стройэкспертиза»

**И.С. Картавец**

Дизайнер ОАО «Тулачермет»

**В.И. Веселов**

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры технико-экономических систем Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ФОРМОГРАФИКИ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ ИНФОРМАТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ ГИПЕРКУБИЧЕСКОЙ АРХИТЕКТУРЫ**

### **Аннотация**

В статье раскрываются аспекты технологии конструктивно-модульного образования формографики двухкомпонентных информативных объектов гиперкубической архитектуры, применяемых в современном строительстве и структурном дизайне на примере построения трёх основных моделей: инфокуба, инфоизокуба и полноинформативного формографического инфо-гиперкуба.

**Ключевые слова:** технология, инфокуб, инфо-гиперкуб, пр-матрица, проективно-графия, двухцветная формографика, метод протокуб-конструктора.

В настоящее время произошли качественные изменения в современной геометрии и методах построения изображений многогранных объектов, что подтверждается научными исследованиями в данных областях. Результаты проводимых исследований находят практическое применение в графических дисциплинах технических и строительных ВУЗов, а также имеют реальные перспективы использования в инженерных и архитектурно-строительных областях [1, 2].

Возникшая необходимость построения формографических объектов с двухкомпонентной гиперкубической структурой потребовала разработки новой технологии конструктивного формообразования. Инновационная технология построения формографики *двухкомпонентных информативных объектов гиперкубической архитектуры* (ДИОГА) будет интересна как с научной точки зрения, так и с позиции её практического применения.

Предпосылкой для практической разработки явились результаты последних исследований, полученных в смежных с геометрией научных областях, а именно, в дискретном формообразовании и проективнографии [3], топологии, компьютерном геометрическом моделировании и т.п. Наиболее удачные формографические решения кубических моделей уже находят необходимое архитектурное применение. Данная технология, будучи графической, использует компьютерную эмуляцию процесса объёмно-пространственного формообразования геометрических моделей.

На примере построения трёх основных формографических моделей: инфокуба, инфоизокуба и полноинформативного формографического инфо-гиперкуба рассмотрим особенности реального процесса формообразования и его эмуляцию с применением существующей гиперкубической симметрии, позволяющей однотипно получать изображения двухцветной формографики.

Ранее обосновано отмечалось, что любая модель кубической формы с образованной формографикой и производно восполненной на её основе внутренней структурой считается *информативным формографическим объектом* [4]. Процесс построения формографики данного объекта осуществляется на основе синтеза конструктивной формы модели и создаваемых на её поверхности проективнографических изображений методом протокуб-конструктора. При этом возникает необходимость двухцветного решения рисунка формографики моделей с различной степенью сложности.

Особого внимания заслуживает образование формографики ряда двухкомпонентных информативных объектов гиперкубической архитектуры (ДИОГА), например, известного полноинформативного формографического инфо-гиперкуба [3, 4], производно получаемого на базе предварительно построенной модели инфокуба [5].

Создание двухкомпонентных информативных формографических объектов различной архитектуры: гиперкубической, гиперромбоидной или звёздчатой осуществляется в *динамически преобразуемых композициях* (ДПК), которые строятся на основе комбинаторного перестроения соответствующих модульных компонентных пар, сообразно известному *феномену геометрической компонентности* (ФГК) [6].

Наибольший интерес вызывает объединение модульных компонентов ДПК в полностью завершённую модель ДИОГА. В связи с этим для создания моделей ДИОГА разработана технология построения формографики, включающая двухцветное решение рисунка граней. В нашем случае речь идёт о паре двухцветных компонентных триэдров, комбинаторно составляемых в общую *цветопластинчатую* кубическую форму.

Известны два принципиально отличающиеся цветовые решения рисунка компонентной формографики на сторонах граней рассматриваемых моделей.

Первым является относительно произвольный *творческий* способ конструктивно-геометрического цветового построения формографического рисунка со свободным заполнением заданным цветом полученных участков граней на базе первоначально образованных проективнографических матриц.

Второй способ – *технологический*, в котором цветовое решение компонентной формографики производится на основе *вертикально-угловой геометрической раскраски* линейного рисунка вышеупомянутых матриц.

Далее будем применять *технологический способ цветового решения формографики* ДИОГА на примере построения трёх моделей: инфокуба, инфоизокуба и полноинформативного формографического инфо-гиперкуба.

Итак, рассмотрим построение формографики данных объектов, получаемой по принципу универсального конструктивного заполнения проективнографической плоскости и с применением протокуб-конструктора.

Перечислим основные этапы технологического построения двухцветной компонентной формографики инфомодели кубической формы.

1) Конструктивное построение проективнографических изображений модели с получением графической эмуляции объёмно-пространственного процесса формообразования с использованием протокуб-изоконструктора, и упорядоченная раскраска рисунка чертежа, в частности, обеих сторон граней.

2) Образование пары пластинчатых триэдров из шести двухцветных граней с целью их последующего объединения в общую кубическую форму.

3) Получение двухцветной формографики искомой кубической модели.

Рассмотрим подробнее технологию построения формографики базовой модели инфокуба и варианты её цвето-формографического решения.

Применение инфокуба в качестве *базовой модели*, т.е. инфомодуля с простой структурой, позволяет строить на его основе формографическое многообразие двух-

компонентных структурных моделей гиперкубической архитектуры, среди которых отмеченные модульные структурообразования.

Построение проективнографического чертежа *основообразующего инфокуба* осуществляется методом протокуб-конструктора посредством сворачивания и разворачивания *исходной модели куба* (его триэдров) [4].

Шесть граней сборно-разборной кубической модели сворачиваются в две кассеты, совмещаемые в одной плоскости с частичным наложением друг на друга и получением суммируемой восьмиугольной пластинчатой конструкции. Для представления на чертеже исходного куба и результата его сворачивания в виде контурного изображения восьмиугольной конструкции воспользуемся косоугольной аксонометрической проекцией куба.

Будем строить изображение модели куба во фронтальной изометрии по исходно заданным аксонометрическим осям (Рис. 1, а) с последующим получением на базе данного изображения проективнографического чертежа. Размеры по осям  $OX$ ,  $OY$ ,  $OZ$  отмеряются в натуральную величину, т.е. 1:1.

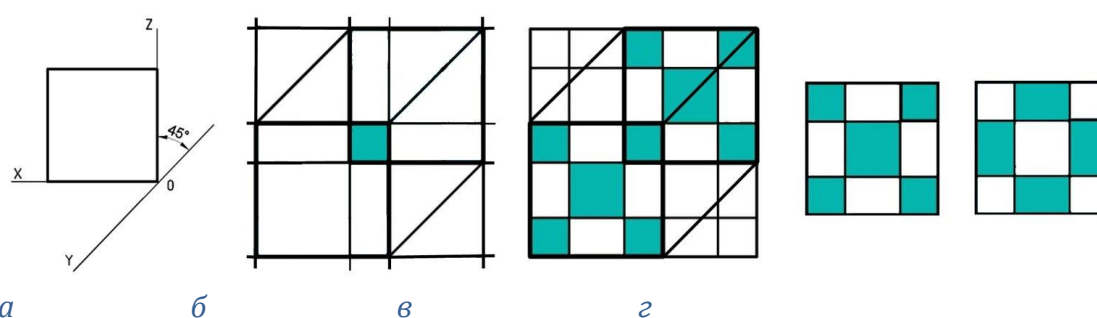


Рис 1. Построение формографического рисунка граней инфокуба

В целях наглядности покажем зеркальное отражение куба слева направо. При этом ось  $OZ$  расположим под прямым углом к горизонтальной оси  $OX$ , а ось  $OY$ , соответственно наклоним вправо к оси  $OZ$  под углом в 45 градусов. На Рис. 1, б представлены контурные квадратные очерки двух кассет по три грани в каждой, образующие при наложении общий квадратный участок (выделенный цветом), определяющий дальнейшее получение прямоугольной матричной решётки (Рис. 1, в) с предварительным построением проективнографического чертежа. На основе данной матричной решётки определяется двухцветный рисунок формографики единичной грани модели инфокуба. На Рис. 1, г показаны обе поверхности данной грани, где одинаковые фрагменты раскрашены двумя разными цветами. Такая раскраска фрагментов на внешней и внутренней поверхностях всех граней технологически упрощает графическое представление формообразующего процесса. Уточним, что в применяемой технологии *основная раскраска формографики граней всегда двухцветная, двухсторонняя и обращаемая по цвету* в одинаковых по форме участках с разных сторон граней, но, как исключение, цвет одинаковых по форме фрагментов с обеих сторон граней может быть тем же. Такой вариант *монотипной* цветовой раскраски, иначе *однотипной*, является самым простым в создании графических изображений.

Ранее рассматривалась эмуляция процесса формообразования инфокуба, где в качестве графического инструмента успешно использовался протокуб-изоконструктор [1, 3], представляющий собой модифицированный вариант известного протокуб-конструктора. Будем использовать тот же протокуб-изоконструктор для построения рисунка формографики на гранях инфокуба, в данном случае, применяя как исключение монотипную раскраску (Рис. 2).

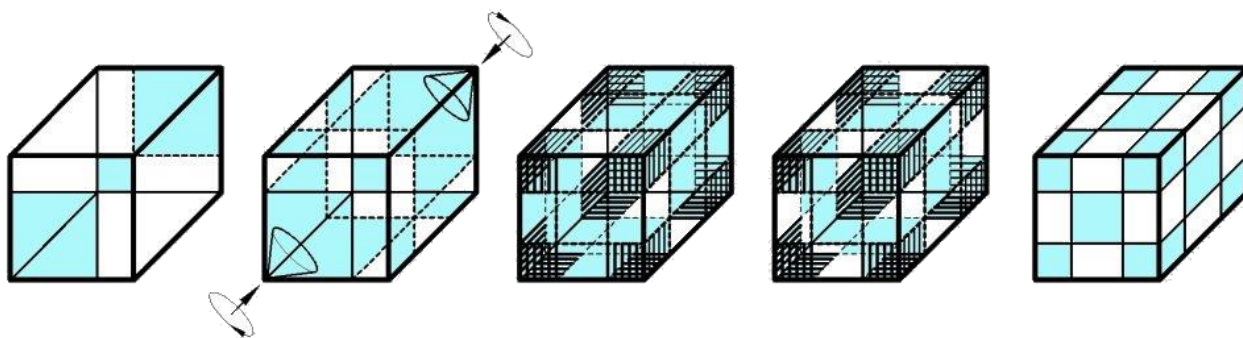


Рис. 2. Эмуляция построения **формографики** модели инфокуба

Применяемая графическая эмуляция позволяет конструктивно произвести *двухцветную вертикально-угловую раскраску* рисунка образующихся проективнографических матриц. Данная раскраска происходит одновременно с получением рисунка матричных решёток всех шести граней.

Сначала раскрасим тёмным цветом квадратные участки в матричном рисунке, образующиеся после частичного наложения граней друг на друга в результате касетирования. Затем аналогично раскрасим тем же цветом все диагонально примыкающие по углам к данным квадратам соответствующие квадратные фрагменты граней, имеющие с ними общие вертикальные углы.

В результате, наглядным образом выполнена вертикально-угловая монотипная раскраска противоположных поверхностей граней инфокуба.

В итоге, *разная по типу* раскраска обеих сторон граней (Рис. 1 и 2) обнаруживает проективную взаимосвязь элементов матричного рисунка.

Монотипная раскраска тех же элементов рисунка формографики на обеих поверхностях граней позволяет технологически упрощённо и наглядно эмулировать реальный формообразующий процесс и также применить в дальнейшем автоматизацию построения проективнографических чертежей.

Полное и одновременное выполнение двухцветной, двухсторонней и обращаемой цветовой раскраски всех граней модели инфокуба носит более сложный характер, чем монотипная раскраска их обеих сторон, но является более информативной и полнее отражает основную суть технологически доступного дискретного формообразования с наглядным проявлением ФГК.

Исходя из того, что преобразуемый в инфокуб исходный куб изначально состоит из двух триэдров в виде форм-антиподов, произведём сборку двух триэдров из ранее полученных шести граней инфокуба с учётом основной предварительно выполненной двухцветной раскраски их формографики.

Полученные триэдры составляют единую ДПК из пары форм-антиподов, позволяющую их представить в двух основных комбинациях: по-отдельности или разрозненно и в виде формографической модели инфокуба (Рис. 3).

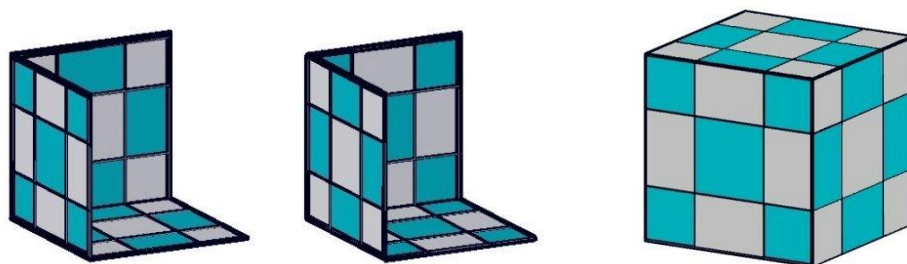


Рис. 3. Двухцветное решение формографики триэдров и инфокуба



В итоге сформированная двухцветная раскраска формографики компонентных триэдров аналогична двухцветному решению формографики компонентных *тетраэдров* [7], где раскраска одинаковых по форме участков на противоположных сторонах граней выполнена дополнительными цветами.

На основе единичной грани инфокуба и её полученной двухцветной раскраски образуем формографику других моделей ДИОГА (инфоизокуба и полноинформативного формографического инфо-гиперкуба).

Построим проективнографическую матрицу рисунка формографической грани модели инфоизокуба (Рис. 4) с получением её двухцветного решения.

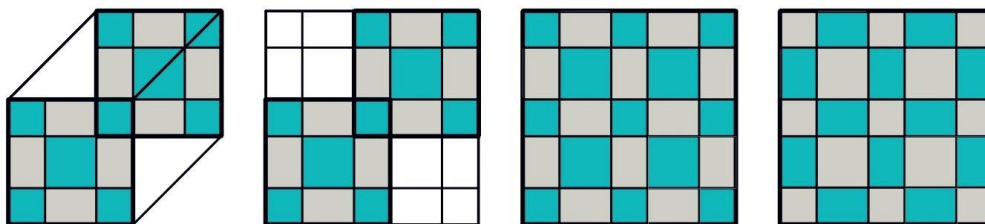


Рис. 4. Построение двухцветной формографики граней инфоизокуба

Образование двух триэдров инфоизокуба из шести граней производится аналогично сборке триэдров инфокуба с учётом их двухцветной раскраски.

Также, по аналогии с инфокубом, пара данных триэдров позволяет собрать формографическую модель инфоизокуба в составе ДПК (Рис. 5).

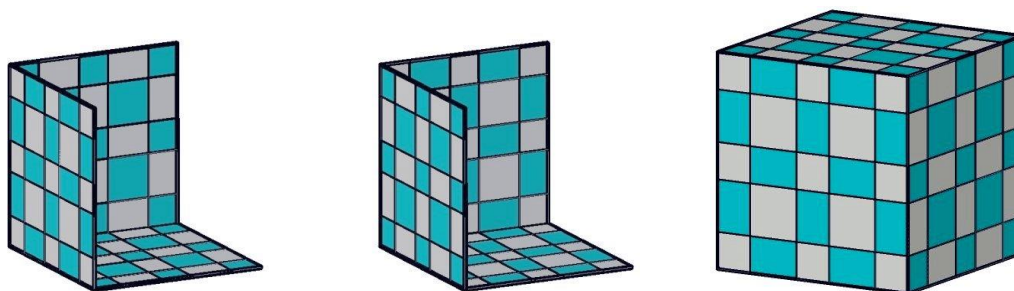


Рис. 5. Формографические триэдры инфоизокуба в составе ДПК

Рассмотренный способ цветового решения формографики компонентов инфокуба и инфоизокуба позволяет аналогично построить формографику полноинформативного формографического инфо-гиперкуба. На основе двухцветной грани инфокуба получим двухцветный рисунок формографики единичной грани полноинформативного инфо-гиперкуба (Рис. 6). Далее из шести одинаковых граней также соберём два его формографических триэдра.

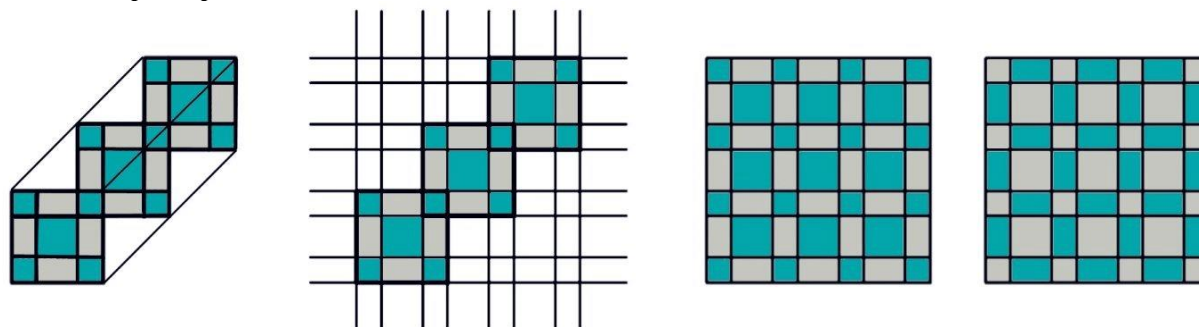


Рис. 6. Построение двухцветной формографики граней полноинформативного формографического инфо-гиперкуба

Затем из пары образованных триэдров соберём данный инфо-гиперкуб с формографикой и производно восполненной на её основе внутренней структурой (Рис. 7). Отметим закономерную регулярность и однородность чередования фрагментов полученного двухцветного рисунка формографики.

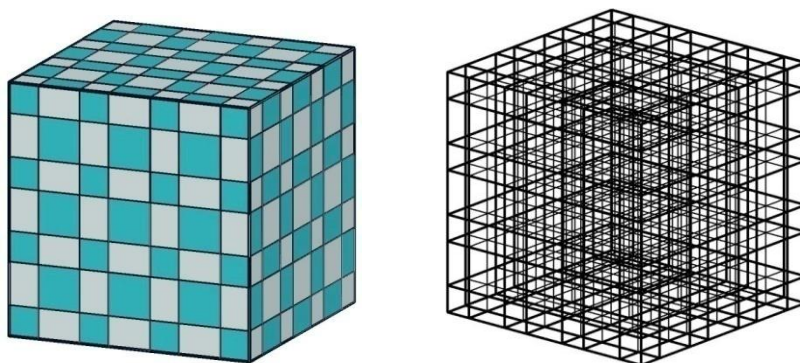


Рис. 7. Формографика и структура полноинформативного инфо-гиперкуба

Подчеркнём, что построенная модель полноинформативного формографического инфо-гиперкуба стала конструктивно завершённым геометрическим образованием кубической формы с гиперкубической симметрией своего строения, определяющей его информативно полное устройство с двухкомпонентной внутренней структурой, ограниченной двухцветной формографикой. При разной дискретности цветового рисунка формографики с учётом однородности применялось одинаковое двухцветное формографическое решение для компонентных триэдров моделей ДИОГА.

В итоге отметим, что технологическое построение формографики моделей ДИОГА включает в себя конструктивно однотипное получение двухцветных граней для их комбинаторно компокуемых триэдров в составе ДПК, образующих модели разной степени сложности. В результате была найдена стандартная схема конструктивного формообразования моделей ДИОГА на основе компонентных триэдров. Такие модели с двухцветной компонентной формографикой и вторично восполненной на её основе внутренней структурой являются информативно исчерпывающими.

Итак, вне зависимости от степени дискретности двухцветного рисунка граней и сложности получаемого проективнографического чертежа, данная технология построения двухцветной компонентной формографики моделей остаётся практически неизменной. При этом сохраняется проективная взаимосвязь однотипных элементов поверхностей парных форм-антиподов, которая соответствующим образом реализуется проективнографически в процессе конструктивного преобразования формографических изображений.

Разработанная технология конструктивно-модульного образования формографики ДИОГА позволяет эффективно строить формографическое многообразие двухкомпонентных информативных объектов и может найти широкое применение в современном строительстве и структурном дизайне.

Применяемое решение формографики влияет на формирование внешнего облика здания или сооружения и на построение их каркасов.

### ***Примеры решения формографики***

Сравним два известных способа цветового решения рисунка формографики (творческий и технологический), которые используются в архитектурно-строительном проектировании (Рис. 8, а, б). При их существенном различии, они оба могут успешно реализованы. Наиболее перспективным является избирательный синтез обоих способов с целью проектной оптимизации получаемой формографики создаваемых моделей.

В новом комплексном решении (Рис. 8, в) применены дополнительные цвета для формографики граней, что является творческим развитием технологии с увеличением потенциальных возможностей её практического применения.

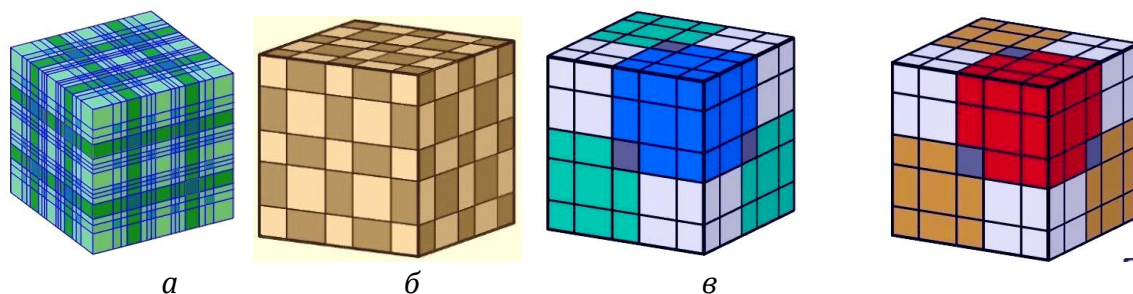


Рис. 8. Цветовое решение формографической модели творческое (а), технологическое (б), проектное (в)

Таким образом, проектно-технологическое построение формографики позволит получать геометрически адаптированные структурообразующие решения, способствующие развитию формографической технологии с целью её применения в архитектонике и комбинаторике формообразования. Целесообразно и далее совершенствовать технологию построения формографических изображений ряда моделей ДИОГА на основе проективографии, продолжив совершенствование методов и способов формообразования двухкомпонентных информативных объектов гиперкубической архитектуры, с последующей эффективной реализацией в проектировании современных зданий и сооружений, и в том числе, в создании уникальных строительных конструкций.

**Терминология:** ДИОГА – двухкомпонентный информативный формографический объект (модель) гиперкубической архитектуры, т.е. структурообразование с гиперкубической симметрией строения, определяющей его информативно полное и конструктивно завершённое геометрическое устройство и обладающее двухкомпонентной внутренней структурой, ограниченной двухцветной компонентной формографикой.

**Восполняемая проективография** – проективография, построенная в графически формализованном виде на основе плоских контуров или предварительно полученных матричных изображений.

**Компонентная формографика модели** – геометрическое определение конструктивного единства внешней и внутренней формы модели в виде двух компонентных составляющих с соответствующей производно образованной на её поверхности графикой.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Филин Ю.Н., Веселов В.И., Георгиевский О.В.* Инновационное преобразование формографики кубических моделей в свете решения проблем развития экологически значимых форм / Сборник трудов международной научно-практической конференции «Инновации: перспективы, проблемы, достижения». Москва 27 мая 2013 года. РЭУ им. Г.В. Плеханова. М., 2013. С. 277-282.

2. *Филин Ю.Н.* Формографика информативных объектов гиперкубической архитектуры // EUCSEET Conference : 2-nd EUCSEET Association Conference: CONFERENCE BOOK "Civil Engineering Education: are we Meeting the Needs of the Industry and Society?": Russia, Moscow, October 14-15, 2013. Moscow State University of Civil Engineering (MGSU). Moscow. 2013. С. 109—116.

3. *Филин Ю.Н., Кофанов А.В., Картавцев И.С., Картавцев Н.С.* Проективнографическое формообразование инфо-гиперкубов: теоретические и методические аспекты. // Строительство: наука и образование. 2015. №1. Ст. 5. Режим доступа: <http://ns-journal.ru>.

4. *Филин Ю.Н., Картавцев Н.С., Картавцев И.С.* Построение формографики инфо-гиперкуба методом Протокуб-конструктора // Вестник МГСУ. 2013, №5. С. 230-238.

5. *Георгиевский О.В., Филин Ю.Н.* Особенности конструктивной геометрии модели Инфокуба // Вестник МГСУ. 2010, №4, т.5. С.210–215.

6. *Москвин М.А., Филин А.Ю., Филин Ю.Н.* Раскрытие феномена геометрической компонентности в архитектурном приложении-презентации Архикуб-конструктора «Квадроизокуб» // Вестник МГСУ. 2010, № 2. С.85-88.

7. *Филин Ю.Н., Картавцев И.С., Картавцев Н.С.* Двухцветное решение формографики компонентных тетраэдров // Вестник МГСУ. 2012. №5. С. 12-16.

## РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ С ПЕРЕМЕННОЙ ИЗГИБНОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Металлические конструкции имеют широкое распространение в разных отраслях промышленности – буровые вышки, копры, опоры ветрогенераторов и линий электропередач, башни теле-радио-коммуникаций и прочее. В процессе своей работы высотные сооружения подвергаются воздействию переменных и ударных нагрузок: нагрузки, связанные с работой оборудования, ветровая нагрузка, сейсмические возмущения, а также нагрузки, возникающие в процессе монтажных работ и при аварийных ситуациях. Особо следует выделить масштабность аварий связанных с разрушениями опор линий электропередач [1]. В работах [1, 2] подробно изложены аспекты аварии, произошедшей на высоковольтной линии напряжением 330 кВ "Каховская — Джанкой". В процессе аварии было полностью разрушено 14 опор от динамического воздействия, возникшего за счет падения 2-х фаз на одной из промежуточных опор [2].

При исследовании динамического воздействия на такие конструкции, преимущественно, используются численные методы расчета [3], в частности метод конечных элементов. Однако, в этом случае имеется существенный недостаток на стадии проектирования, так как использование объектного моделирования предполагает наличие готового конструкторского решения. Другой подход заключается в упрощении расчетной модели путем замены ее моделью эквивалентной балки и последующим расчетом, как системы с распределенными параметрами.

Общие подходы к построению математических моделей поперечных колебаний стержней известны и рассмотрены в литературе [4, 5], тем не менее, аналитические решения представлены только для однородных стержней. Задача о поперечных колебаниях стержней, у которых изгибная жесткость и масса изменялись по степенным зависимостям, рассматривалась А.Н. Динником [6], однако в своих исследованиях он ограничился вычислением частот собственных колебаний для некоторых частных случаев остrokонечных стержней.

Разработка аналитической модели для исследования динамических процессов в стержнях с переменной изгибной жесткостью позволит определить динамические характеристики объекта на стадии проектных работ, а также может быть использована в качестве эталонной модели при проведении проверочных расчетов в программных комплексах на базе метода конечных элементов.

Для широкого класса конструкций (решет-

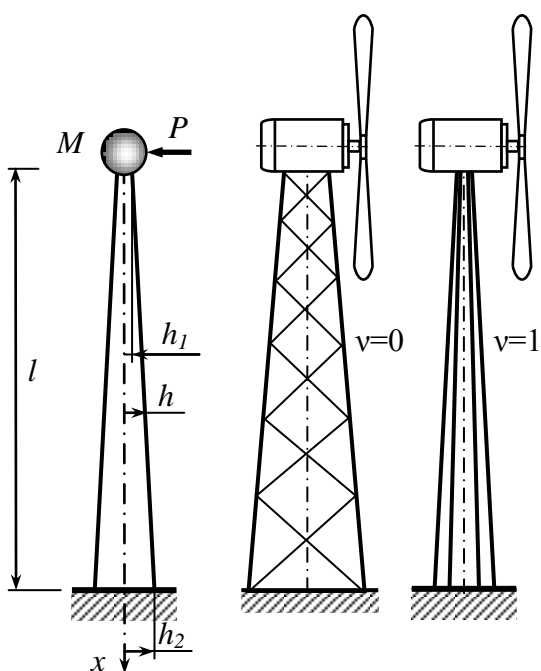


Рис. 1. Расчетная схема стержня переменной изгибной жесткости, моделирующего конструкции решетчатых башен и многогранных гнутых стоек.

чатые башни, стержни и трубы разных очертаний) характерны следующие зависимости распределенной массы и коэффициента изгибной жесткости от продольной координаты  $x$ :

$$m = \gamma F_2 z^\nu; EJ = EJ_2 z^{\nu+2}, \quad z = (1-k)\frac{x}{l} + k, \quad k = \frac{h_1}{h_2}, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – плотность,  $E$  – модуль упругости,  $F_2$  и  $J_2$  – площадь поперечного сечения и момент инерции основания стержня,  $h_1$  и  $h_2$  – радиусы инерции верхнего и нижнего сечений,  $l$  – длина стержня, показатель степени  $\nu = 0, 1, 2, \dots$  зависит от геометрии конструкции (рис. 1). Принятое соотношение изгибной жесткости и массы представляет наибольший практический интерес [6].

Из условий равновесия элемента такого стержня следует система уравнений

$$EJ \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = M(x); \quad \frac{\partial M}{\partial x} = Q(x); \quad \frac{\partial Q}{\partial x} = p(x,t) - m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}. \quad (2)$$

Функция  $y(x,t)$  описывает форму изогнутой оси стержня,  $M(x)$  – изгибающий момент,  $Q(x)$  – поперечная сила.

Из системы уравнений (2) приходим к уравнению относительно прогибов  $y(z,t)$  (здесь и далее штрихом обозначена производная по  $z$ )

$$\begin{aligned} z^{\nu+2} y'''' + 2(\nu+2)z^{\nu+1} y''' + (\nu+2)(\nu+1)z^\nu y'' = \\ = \frac{p(z,t)l^4}{EJ_2(1-k)^4} - \frac{\gamma F_2 l^4}{EJ_2(1-k)^4} z^\nu \ddot{y} \end{aligned}$$

Найдем общее решение этого уравнения при  $p(z,t) \equiv 0$  (случай свободных колебаний).

Разделяя переменные, получаем уравнение для собственных функций, решение которого имеет вид [7]

$$Z_n(z) = z^{-\nu/2} (C_1 J_\nu(\lambda_n \sqrt{z}) + C_2 Y_\nu(\lambda_n \sqrt{z}) + C_3 I_\nu(\lambda_n \sqrt{z}) + C_4 K_\nu(\lambda_n \sqrt{z})) \quad (3)$$

где

$$\lambda_n^2 = \frac{4\omega_n l^2}{(1-k)^2} \sqrt{\frac{\gamma F_2}{EJ_2}}$$

$\omega_n$  – собственные частоты колебаний,  $J_\nu(z)$  и  $Y_\nu(z)$  – функции Бесселя,  $I_\nu(z)$  и  $K_\nu(z)$  – модифицированные функции Бесселя.

Для удобства решения задач с разными граничными условиями введем следующие обозначения функций:

$$\begin{aligned} A_{\lambda\zeta} = \frac{1}{2} \lambda_n \zeta_0 [2(I_\nu(\lambda_n \zeta) K_{\nu+1}(\lambda_n \zeta_0) + K_\nu(\lambda_n \zeta) I_{\nu+1}(\lambda_n \zeta_0)) - \\ - \pi(J_\nu(\lambda_n \zeta) Y_{\nu+1}(\lambda_n \zeta_0) - Y_\nu(\lambda_n \zeta) J_{\nu+1}(\lambda_n \zeta_0))]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{A}_{\lambda\zeta} = \frac{1}{2} \lambda_n \zeta_0 [2(I_{\nu+1}(\lambda_n \zeta) K_{\nu+1}(\lambda_n \zeta_0) - K_{\nu+1}(\lambda_n \zeta) I_{\nu+1}(\lambda_n \zeta_0)) + \\ + \pi(J_{\nu+1}(\lambda_n \zeta) Y_{\nu+1}(\lambda_n \zeta_0) - Y_{\nu+1}(\lambda_n \zeta) J_{\nu+1}(\lambda_n \zeta_0))]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
B_{\lambda\zeta} &= \frac{1}{2}\lambda_n\zeta_0[2(I_v(\lambda_n\zeta)K_{v+1}(\lambda_n\zeta_0) + K_v(\lambda_n\zeta)I_{v+1}(\lambda_n\zeta_0)) + \\
&\quad + \pi(J_v(\lambda_n\zeta)Y_{v+1}(\lambda_n\zeta_0) - Y_v(\lambda_n\zeta)J_{v+1}(\lambda_n\zeta_0))]; \\
\tilde{B}_{\lambda\zeta} &= \frac{1}{2}\lambda_n\zeta_0[2(I_{v+1}(\lambda_n\zeta)K_{v+1}(\lambda_n\zeta_0) - K_{v+1}(\lambda_n\zeta)I_{v+1}(\lambda_n\zeta_0)) - \\
&\quad - \pi(J_{v+1}(\lambda_n\zeta)Y_{v+1}(\lambda_n\zeta_0) - Y_{v+1}(\lambda_n\zeta)J_{v+1}(\lambda_n\zeta_0))]; \\
C_{\lambda\zeta} &= \frac{1}{2}\lambda_n\zeta_0[2(I_v(\lambda_n\zeta)K_v(\lambda_n\zeta_0) - K_v(\lambda_n\zeta)I_v(\lambda_n\zeta_0)) - \\
&\quad - \pi(J_v(\lambda_n\zeta)Y_v(\lambda_n\zeta_0) - Y_v(\lambda_n\zeta)J_v(\lambda_n\zeta_0))]; \\
\tilde{C}_{\lambda\zeta} &= \frac{1}{2}\lambda_n\zeta_0[2(I_{v+1}(\lambda_n\zeta)K_v(\lambda_n\zeta_0) + K_{v+1}(\lambda_n\zeta)I_v(\lambda_n\zeta_0)) + \\
&\quad + \pi(J_{v+1}(\lambda_n\zeta)Y_v(\lambda_n\zeta_0) - Y_{v+1}(\lambda_n\zeta)J_v(\lambda_n\zeta_0))]; \\
D_{\lambda\zeta} &= \frac{1}{2}\lambda_n\zeta_0[2(I_v(\lambda_n\zeta)K_v(\lambda_n\zeta_0) - K_v(\lambda_n\zeta)I_v(\lambda_n\zeta_0)) + \\
&\quad + \pi(J_v(\lambda_n\zeta)Y_v(\lambda_n\zeta_0) - Y_v(\lambda_n\zeta)J_v(\lambda_n\zeta_0))]; \\
\tilde{D}_{\lambda\zeta} &= \frac{1}{2}\lambda_n\zeta_0[2(I_{v+1}(\lambda_n\zeta)K_v(\lambda_n\zeta_0) + K_{v+1}(\lambda_n\zeta)I_v(\lambda_n\zeta_0)) - \\
&\quad - \pi(J_{v+1}(\lambda_n\zeta)Y_v(\lambda_n\zeta_0) - Y_{v+1}(\lambda_n\zeta)J_v(\lambda_n\zeta_0))];
\end{aligned}$$

здесь  $\zeta = \sqrt{z}$ ,  $\zeta_0 = \sqrt{k}$  - значение аргумента при  $x = 0$ . В точке  $\zeta = \zeta_0$  представленные функции принимают значения:

$$A_{\lambda\zeta_0} = \tilde{C}_{\lambda\zeta_0} = 1; B_{\lambda\zeta_0} = C_{\lambda\zeta_0} = D_{\lambda\zeta_0} = \tilde{A}_{\lambda\zeta_0} = \tilde{B}_{\lambda\zeta_0} = \tilde{D}_{\lambda\zeta_0} = 0,$$

таким образом, данные функции можно рассматривать как некоторый аналог функций Крылова.

Используя принятые зависимости, произвольные постоянные в уравнении (3) можно выразить через начальные параметры, тогда уравнения прогибов, углов поворота, изгибающих моментов и поперечных сил для произвольной гармоники можно представить в виде:

$$\begin{aligned}
y(\zeta) = Z_n = \zeta^{-v} &\left[ y_0\zeta_0^v A_{\lambda\zeta} + u_0\zeta_0^{v+1} \frac{2l}{\lambda_n(1-k)} \left( C_{\lambda\zeta} + \frac{2(v+1)}{\lambda_n\zeta_0} B_{\lambda\zeta} \right) + \right. \\
&\left. + \frac{M_0}{EJ_2} \zeta_0^{-v-2} \left( \frac{2l}{\lambda_n(1-k)} \right)^2 B_{\lambda\zeta} + \frac{P_0}{EJ_2} \zeta_0^{-v-1} \left( \frac{2l}{\lambda_n(1-k)} \right)^3 D_{\lambda\zeta} \right]; \tag{4}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
u(\zeta) = \frac{1-k}{l} Z'_n = \zeta^{-v-1} &\left[ y_0\zeta_0^v \frac{\lambda_n(1-k)}{2l} \tilde{A}_{\lambda\zeta} + u_0\zeta_0^{v+1} \left( \tilde{C}_{\lambda\zeta} + \frac{2(v+1)}{\lambda_n\zeta_0} \tilde{B}_{\lambda\zeta} \right) + \right. \\
&\left. + \frac{M_0}{EJ_2} \zeta_0^{-v-2} \frac{2l}{\lambda_n(1-k)} \tilde{B}_{\lambda\zeta} + \frac{P_0}{EJ_2} \zeta_0^{-v-1} \left( \frac{2l}{\lambda_n(1-k)} \right)^2 \tilde{D}_{\lambda\zeta} \right]; \tag{5}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M(\zeta) &= EJ_2 \left( \frac{1-k}{l} \right)^2 z^{v+2} Z_n'' = y_0 EJ_2 \zeta_0^v \left( \frac{\lambda_n(1-k)}{2l} \right)^2 \left( \zeta^{v+2} B_{\lambda\zeta} - \frac{2(v+1)}{\lambda_n} \zeta^{v+1} \tilde{A}_{\lambda\zeta} \right) + \\
&+ u_0 EJ_2 \zeta_0^{v+1} \frac{\lambda_n(1-k)}{2l} \left[ \zeta^{v+2} \left( D_{\lambda\zeta} + \frac{2(v+1)}{\lambda_n \zeta_0} A_{\lambda\zeta} \right) - \frac{2(v+1)}{\lambda_n} \zeta^{v+1} \left( \tilde{C}_{\lambda\zeta} + \frac{2(v+1)}{\lambda_n \zeta_0} \tilde{B}_{\lambda\zeta} \right) \right] + \quad (6) \\
&+ M_0 \zeta_0^{-v-2} \left( \zeta^{v+2} A_{\lambda\zeta} - \frac{2(v+1)}{\lambda_n} \zeta^{v+1} \tilde{B}_{\lambda\zeta} \right) + P_0 \zeta_0^{-v-1} \frac{2l}{\lambda_n(1-k)} \left( \zeta^{v+2} C_{\lambda\zeta} - \frac{2(v+1)}{\lambda_n} \zeta^{v+1} \tilde{D}_{\lambda\zeta} \right); \\
Q(\zeta) &= EJ_2 \left( \frac{1-k}{l} \right)^3 (z^{v+2} Z_n'')' = \zeta^{v+1} \left[ y_0 EJ_2 \zeta_0^v \left( \frac{\lambda_n(1-k)}{2l} \right)^3 \tilde{B}_{\lambda\zeta} + \right. \\
&+ u_0 EJ_2 \zeta_0^{v+1} \left( \frac{\lambda_n(1-k)}{2l} \right)^2 \left( \tilde{D}_{\lambda\zeta} + \frac{2(v+1)}{\lambda_n \zeta_0} \tilde{A}_{\lambda\zeta} \right) + M_0 \zeta_0^{-v-2} \frac{\lambda_n(1-k)}{2l} \tilde{A}_{\lambda\zeta} + P_0 \zeta_0^{-v-1} \tilde{C}_{\lambda\zeta} \left. \right]. \quad (7)
\end{aligned}$$

На основании теоремы о взаимности работ [8], при отсутствии сосредоточенных масс, собственные функции будут ортогональны с весом  $\rho(z) = z^v$ . Для нахождения квадрата нормы собственных функций вначале поступим аналогично как в работе [4] для собственных функций с различными индексами

$$\frac{1}{16} (\lambda_n^4 - \lambda_m^4) \int_k^1 z^v Z_n(z) Z_m(z) = \left\{ (z^{v+2} Z_n'')' Z_m - (z^{v+2} Z_m'')' Z_n - z^{v+2} Z_n' Z_m' + z^{v+2} Z_m' Z_n' \right\}_k^1.$$

Перейдя к пределу при  $m \rightarrow n$ , получаем

$$\frac{1}{4} \lambda_n^3 \int_k^1 z^v Z_n^2(z) dz = \left( Z_n \frac{\partial(z^{v+2} Z_n'')}{\partial \lambda_n} - (z^{v+2} Z_n'')' \frac{\partial Z_n}{\partial \lambda_n} + z^{v+2} Z_n'' \frac{\partial Z_n'}{\partial \lambda_n} - Z_n' \frac{\partial(z^{v+2} Z_n'')}{\partial \lambda_n} \right)_k^1.$$

Определив частные производные по  $\lambda_n$ , квадрат нормы собственных функций находим в виде

$$\begin{aligned}
\Delta_n^2 &= \left\{ \frac{1}{2} z^{v+1} Z_n^2 + 4 \frac{2v+3}{\lambda_n^4} Z_n' (z^{v+2} Z_n'') + \frac{8}{\lambda_n^4} z^{-v-1} (z^{v+2} Z_n'')^2 - \right. \\
&- 4 \frac{2v+1}{\lambda_n^4} Z_n (z^{v+2} Z_n'')' - \left. \frac{16}{\lambda_n^4} z Z_n' (z^{v+2} Z_n'')' \right\}_k^1. \quad (8)
\end{aligned}$$

Теперь рассмотрим случай вынужденных колебаний, для этого требуется найти решение  $y_2(z, t)$  неоднородного уравнения

$$(z^{v+2} y'')'' + \beta z^v \ddot{y} = \frac{\beta}{\gamma F_2} p(z, t), \quad \beta = \frac{\gamma F_2 l^4}{(1-k)^4 EJ_2}. \quad (9)$$

Решение уравнения (9) представим в виде ряда по собственным функциям

$$y_2(z, t) = \sum_{n=1}^{\infty} W_n(t) Z_n(z).$$

Подставив этот ряд в уравнение (9) и принимая во внимание соотношение

$$\frac{1}{16} \lambda_n^4 = \beta \omega_n^2, \text{ получаем}$$



$$\left(\ddot{W}_n + \omega_n^2 W_n\right) z^\nu Z_n = \frac{p(z, t)}{\gamma F_2}. \quad (10)$$

Применив метод Фурье к уравнению (10), при учете свойства собственных функций, получим уравнение относительно коэффициентов  $W_n$

$$\ddot{W}_n + \omega_n^2 W_n = \frac{1}{\gamma F_2 \Delta_n^2} \int_0^1 p(z, t) Z_n(z) dz. \quad (11)$$

В качестве примера, рассмотрим случай вынужденных колебаний от внезапного приложения силы  $P_0$  к сосредоточенной массе  $M$ , которая находится на верхнем конце стержня (рис. 1). В этом случае, начальные параметры будут:

$$M_0 = 0; P_0 = M\dot{y}(0, t).$$

Граничные условия на защемленном конце стержня:

$$y(l, t) = 0; y'(l, t) = 0. \quad (12)$$

Удовлетворив второму условию (12), выражение прогибов и изгибающих моментов для произвольной формы получим в виде

$$y(\zeta) = y_0 Z_n = y_0 \zeta^{-\nu} \left[ \zeta_0^\nu A_{\lambda\zeta} + \lambda_n \xi \frac{1 - \zeta_0^{2\nu+2}}{2(\nu+1)} \zeta_0^{-\nu-1} D_{\lambda\zeta} - \alpha_n \left( C_{\lambda\zeta} + \frac{2(\nu+1)}{\lambda_n \zeta_0} B_{\lambda\zeta} \right) \right];$$

$$M(\zeta) = y_0 EJ_2 \left( \frac{1-k}{l} \right)^2 z^{\nu+2} Z_n'' = y_0 EJ_2 \left( \frac{\lambda_n(1-k)}{2l} \right)^2 \left[ \zeta_0^\nu \left( \zeta^{\nu+2} B_{\lambda\zeta} - \frac{2(\nu+1)}{\lambda_n} \zeta^{\nu+1} \tilde{A}_{\lambda\zeta} \right) + \right. \\ \left. + \lambda_n \xi \frac{1 - \zeta_0^{2\nu+2}}{2(\nu+1)} \zeta_0^{-\nu-1} \left( \zeta^{\nu+2} C_{\lambda\zeta} - \frac{2(\nu+1)}{\lambda_n} \zeta^{\nu+1} \tilde{D}_{\lambda\zeta} \right) - \right. \\ \left. - \alpha_n \left( \zeta^{\nu+2} \left( D_{\lambda\zeta} + \frac{2(\nu+1)}{\lambda_n \zeta_0} A_{\lambda\zeta} \right) - \frac{2(\nu+1)}{\lambda_n} \zeta^{\nu+1} \left( \tilde{C}_{\lambda\zeta} + \frac{2(\nu+1)}{\lambda_n \zeta_0} \tilde{B}_{\lambda\zeta} \right) \right) \right],$$

$$\alpha_n = \frac{\lambda_n}{2(\nu+1)\zeta_0^\nu} \frac{2(\nu+1)\zeta_0^{2\nu+1} \tilde{A}_\lambda + \lambda_n \xi (1 - \zeta_0^{2\nu+2}) \tilde{D}_\lambda}{\lambda_n \zeta_0 \tilde{C}_\lambda + 2(\nu+1) \tilde{B}_\lambda},$$

здесь  $\xi = M / M_0$ ,  $M_0$  – масса стержня.

Из первого граничного условия (12) получаем уравнение для нахождения собственных значений

$$\zeta_0^\nu A_\lambda + \lambda_n \xi \frac{1 - \zeta_0^{2\nu+2}}{2(\nu+1)} \zeta_0^{-\nu-1} D_\lambda - \alpha_n \left( C_\lambda + \frac{2(\nu+1)}{\lambda_n \zeta_0} B_\lambda \right) = 0. \quad (13)$$

С учетом того, что во многих приближенных методах динамического расчета [8] используется значение первой собственной частоты, оценим влияние параметра  $k$  на значения первого собственного числа уравнения (13)

$$\omega_1 = \frac{\tilde{\lambda}_1^2}{l^2} \sqrt{\frac{EJ_2}{\gamma F_2}}, \quad \tilde{\lambda}_n = \frac{1}{2} \lambda_n (1-k),$$

аналогичным образом определяются частоты стержней постоянной жесткости [4, 5]. Численные исследования зависимости  $\tilde{\lambda}_1$  от величины параметра  $k$ , без учета сосредоточенной массы ( $\xi = 0$ ), представлены на рис. 2. Из графика видно, что для крайних случаев  $k$  величина  $\tilde{\lambda}_1$  совпадает с известными значениями, так при  $k = 1$  –

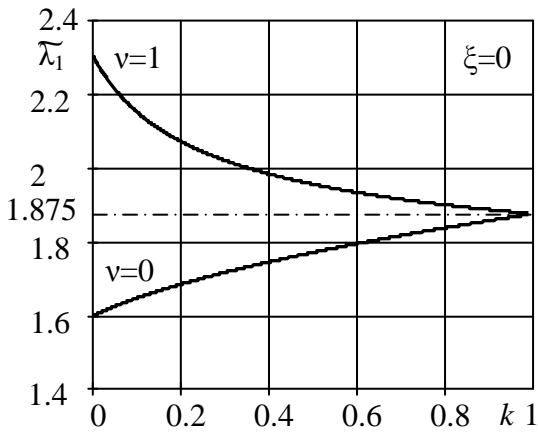


Рис. 2. Зависимость  $\tilde{\lambda}_1$  от величины параметра относительного поперечного размера  $k$

$\tilde{\lambda}_1 = 1,875$ , что соответствует собственному значению для консольной балки постоянной жесткости [5], а при  $k = 0$  -  $\tilde{\lambda}_1 = 1,595$  для  $\nu = 0$  и  $\tilde{\lambda}_1 = 2,305$  для  $\nu = 1$ , данные значения получены при исследовании колебаний остроконечных конструкций [6].

С учетом наличия сосредоточенной массы на верхнем торце стержня (рис. 1), собственные функции будут ортогональны с весом

$\rho(z) = z^\nu + \xi \frac{1-k^{\nu+1}}{\nu+1} \delta(z-k)$ , где  $\delta(z)$  - дельта функция Дирака. Тогда из соотношения (8) квадрат нормы собственных функций будет

определяться по формуле

$$\Delta_n^2 = \frac{8}{\lambda_n^4} (Z_n''(1))^2 - \frac{k^{\nu+1}}{2} + \xi \frac{1-k^{\nu+1}}{2(\nu+1)} (\nu+1 - \alpha_n \lambda_n k^{(1-\nu)/2}).$$

С учетом внезапного приложения силы  $P$  уравнение (11) будет иметь вид

$$\ddot{W}_n + \omega_n^2 W_n = P \frac{1-k}{l\gamma F_2 \Delta_n^2},$$

а его решение

$$W_n(t) = \tilde{y}_0 \frac{16}{\Delta_n^2 \lambda_n^4} (1 - \cos \omega_n t); \quad \tilde{y}_0 = \frac{Pl^3}{(1-k)^3 EJ_2}.$$

Таким образом, в окончательном виде получим уравнения прогибов и изгибающих моментов

$$y(z, t) = 16\tilde{y}_0 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\Delta_n^2 \lambda_n^4} Z_n(z) (1 - \cos \omega_n t); \quad (14)$$

$$M(z, t) = 16 \frac{Pl}{1-k} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\Delta_n^2 \lambda_n^4} z^{\nu+2} Z_n''(z) (1 - \cos \omega_n t). \quad (15)$$

В случае статического приложения силы  $P$ , уравнения изогнутой оси стержней будут

$$f(z) = \tilde{y}_0 ((z+k) \ln z + (1-z)(1+k)), \text{ для } \nu = 0;$$

$$f(z) = \tilde{y}_0 \left( \left(1 - \frac{k}{2}\right) z - 1 + k - \ln z - \frac{k}{2z} \right), \text{ для } \nu = 1.$$

Введем обозначение для безразмерного времени

$$\tau = \frac{t}{l^2} \sqrt{\frac{EJ_2}{\gamma F_2}}.$$

Тогда выражения для динамических коэффициентов по максимальному прогибу и изгибающему моменту в заделке получим в виде

$$K_y(\tau) = \frac{y(k, \tau)}{f(k)} = \frac{(1-k)^4}{2k \ln k + 1 - k} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\Delta_n^2 \tilde{\lambda}_n^4} (1 - \cos \tilde{\lambda}_n^2 \tau) \text{ для } \nu = 0; \quad (16)$$

$$K_y(\tau) = \frac{y(k, \tau)}{f(k)} = \frac{2(1-k)^4}{4k - k^2 - 3 - 2 \ln k} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\Delta_n^2 \tilde{\lambda}_n^4} (1 - \cos \tilde{\lambda}_n^2 \tau) \text{ для } \nu = 1; \quad (17)$$

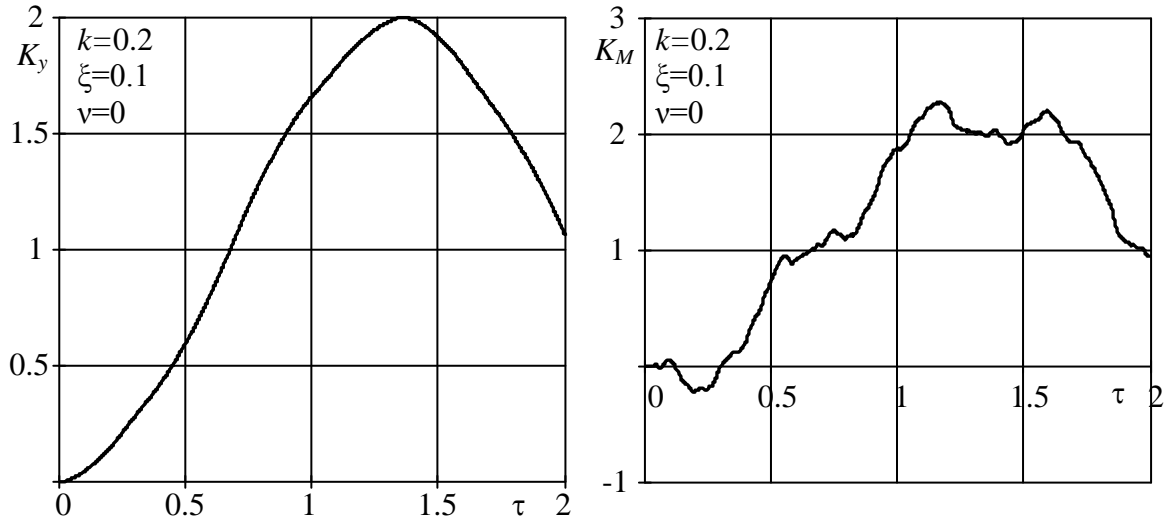


Рис. 3. Динамические коэффициенты по максимальному прогибу и изгибающему моменту в заделке стержня, моделирующего конструкцию решетчатой башни.

$$K_M(\tau) = \frac{M(1, \tau)}{Pl} = (1-k)^3 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\Delta_n^2 \tilde{\lambda}_n^4} Z_n''(1) (1 - \cos \tilde{\lambda}_n^2 \tau) \quad (18)$$

На рис. 3 показаны зависимости от  $\tau$  значений коэффициентов (16) и (18) для конструкции опоры с параметрами  $k = 0.2$ ;  $\xi = 0.1$ ;  $\nu = 0$ . Максимальные значения коэффициентов составляют:  $K_y = 2$ ;  $K_M = 2.27$ . На рис. 4 показаны зависимости от  $\tau$  значений коэффициентов (17) и (18) для конструкции с параметрами  $k = 0.2$ ;  $\xi = 0.1$ ;  $\nu = 1$ . В этом случае максимальные значения:  $K_y = 1.95$ ;  $K_M = 2.45$ . Расчеты при

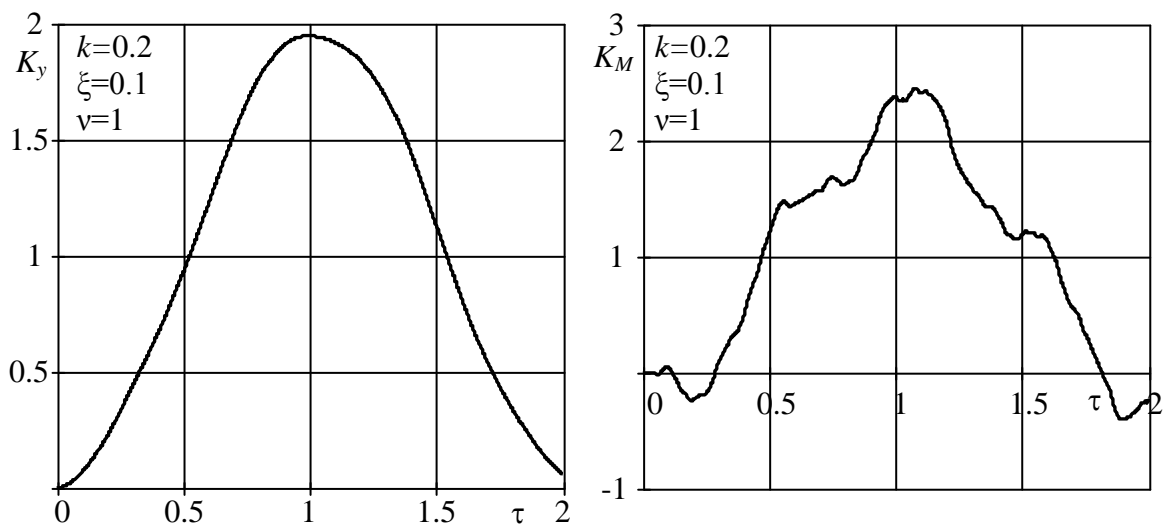


Рис. 4. Динамические коэффициенты по максимальному прогибу и изгибающему моменту в заделке стержня, моделирующего конструкцию многогранной гнутой стойки.

разных значениях параметров  $k$  и  $\xi$  показали, что максимальное значение коэффициента по прогибам для всех моделей конструкций близко к двум, что характерно и для стержней постоянной жесткости [8]. Максимальное значение коэффициента по изгибающим моментам в зависимости от комбинаций величин  $\nu$ ,  $k$  и  $\xi$  может меняться в широких пределах. Следует отметить, что в случае внезапного приложения момента на верхнем конце решетчатой конструкции (случай разрушения одной из траверс опоры линии электропередач) динамические коэффициенты составляют:  $K_y = 1,95$ ;  $K_M = 4,2$ . Данная задача была рассмотрена в работе [9]. В работе рассмотрен общий подход для построения математических моделей в случае динамических воздействий на стержни переменной изгибной жесткости, моделирующие разного вида конструкции, которые применяются в отраслях промышленности: городском хозяйстве (осветительные опоры), энергетике (опоры ЛЭП, стойки ветрогенераторов), теле-радио связи (антенные опоры) и т.д. В представленной математической модели изгибная жесткость и погонная плотность изменяются по степенным законам, в частности рассмотрен случай, когда их отношение выражается квадратичной зависимостью от безразмерного радиуса инерции поперечного сечения конструкции. Решение дифференциального уравнения колебаний представлено через специальные функции, что позволило для данной задачи применить метод начальных параметров, который широко используется для однородных стержней. В качестве примера, рассмотрен расчет консольного стержня, с наличием инерционной нагрузки, на внезапно приложенную силу. Результаты расчетов сведены к нахождению динамических коэффициентов, что дает возможность проводить исследования, используя минимальное количество варьируемых параметров.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ причин и последствий аварий на участках ВЛ 330 кВ Джанкойских МЭС Крымской электроэнергетической системы НЭК «Укрэнерго» / Е. В. Горохов, С. Н. Бакаев, Я. В. Назим [и др.] // Металеві конструкції. – 2010. – Том 16, № 2. – С. 75–92.
2. Назим Я. В. Сравнительный анализ подходов к определению климатических нагрузок на ВЛ на примере Крымской ЭС / Я.В. Назим, А. А. Лещенко, В. В. Костин // Металеві конструкції. – 2010. – Том 16, № 1. – С. 61–74.
3. Editor Madugula. Dynamic response of lattice towers and guyed masts (Committee rapport) / Editor Madugula. — M.K.S. Reston (US) : ASCE, 2002. — 266 p.
4. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. М.: Физматгиз, 1959. 440 с.
5. Филиппов А.П. Колебания механических систем. Киев: Наукова думка, 1965. 716 с.
6. Динник А.Н. Избранные труды. Т. 2. Приложение функций Бесселя к задачам теории упругости. Киев: Изд-во АН УССР, 1955. 220 с.
7. Kamke, E. Differentialgleichungen: Lösungsmethoden und Lösungen. Leipzig: Teubner, 1977 = Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М.: Наука, 1976. 576 с.
8. Киселев В.А. Строительная механика. Специальный курс. Динамика и устойчивость сооружений. М.: Стройиздат, 1964. 332 с.
9. Улитин Г.М. Царенко С.Н. Изгибные колебания стержня с переменной жесткостью и распределенной массой // ПММ. 2015. Т. 79. № 6. С. 817 – 823

**Р.Р. Шигапов**

*Аспирант кафедры теоретической механики и аэродинамики НИУ МГСУ*

**О.А. Ковальчук**

*Кандидат технических наук, профессор кафедры теоретической механики и аэродинамики НИУ МГСУ*

## **ОБЗОР УПРОЩЕННЫХ МЕТОДИК РАСЧЕТА РЕЗЕРВУАРОВ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ**

### **Аннотация**

В статье приводится обзор базовых упрощенных методик, которые были включены в нормы нескольких стран.

**Ключевые слова:** резервуары; сейсмические воздействия; гидродинамическое давление; импульсивная мода; конвективная мода.

Большое количество резервуаров для хранения нефти, нефтепродуктов и других жидких углеводородов находятся в сейсмоопасных районах.

Имеющийся в РФ нормативный документ по сейсмостойкости – СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах» [2] регламентирует лишь простейшую консольную схему, которая слабо применима или не применима к оболочкам с жидкостью. Расчет резервуаров на сейсмические воздействия является сложной междисциплинарной задачей. Существует необходимость разработки современного нормативного документа, который заключал бы в себе положения по такому расчету.

В рамках нормотворческой деятельности ООО «НПК Изотермик» был произведен обзор основополагающих работ, составляющих базис норм сейсмического проектирования разных стран, в частности, США [11,4], Новой Зеландии [10] и стран Европейского Союза [5].

Базовой является механическая модель Хаузнера [7], в которой гидродинамическое воздействие жидкости замещается механическим взаимодействием точечных масс – импульсивной (масса, жестко соединенная со стенкой) и конвективной (масса, соединенная со стенкой при помощи пружин). Стенки резервуара в исходной схеме были приняты абсолютно жесткими, а жидкость – несжимаемой и невязкой. В работе Велетсоса и Янга [12] было показано, что допущение о гибкости стенок резервуара и связи с фундаментом часто приводит к некорректным результатам. Харуном и Хаузнером [6] была проведена работа по выработке теории расчёта с учетом гибкости стенок резервуара. Малхотра [8] предложил упрощенную методику, включенную впоследствии в Еврокод 8. Наиболее подробной является методика, изложенная в нормативном документе Новозеландского общества инженеров-сейсмологов [10]. Ключевой особенностью этих норм является их универсальность; спектр их применения охватывает как стальные, так и железобетонные резервуары.

Таким образом, в указанных выше работах применяются две основные механические модели резервуаров (рис.1).

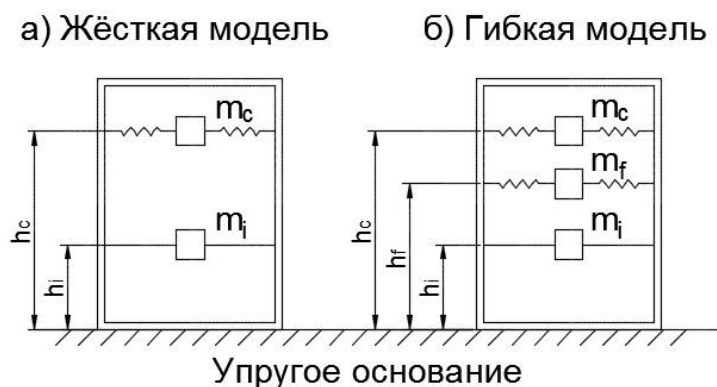


Рис. 1. Механические модели резервуара

Модифицированная модель Хаузнера нашла отражение в российском стандарте «Ростехэкспертизы» [3].

Ученые и инженеры из ЦНИИСК [1] применяли другой подход к этой проблеме. В 60-е годы ими были выпущены рекомендации по проектированию резервуаров и газгольдеров, в которых приводились шаги по определению гидродинамического давления. Эпюры давления при этом были аналогичны тем, что получили Велетсос и Янг.

Альтернативной методикой является работа Дж. Маноса [9]. Отказываясь от сложного математического моделирования процессов, происходящих внутри резервуара, он предложил метод, основанный на экспериментальных данных и реальных повреждениях резервуаров, полученных в результате землетрясений в Калифорнии.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гольденблат И. И. Рекомендации по расчету резервуаров и газгольдеров на сейсмические воздействия/И. И. Гольденблат, Н. А. Николаенко, А. Т. Штоль, В. Р. Тумасов. - ЦНИИСК М: Стройиздат, 1969. - 45 с.
2. СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах (актуализированная редакция СНиП II-7-81\*). Минстрой России. - М.: ОАО "НИЦ "Строительство", 2014.
3. СТО-СА-03-002-2009. Правила проектирования, изготовления и монтажа вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов. - Ассоциация Ростехэкспертиза. М., 2009. - 216 с.
4. AWWA Standard D100-05. Welded Steel Tanks for Water Storage, 2005.
5. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 4: Silos, tanks, and pipelines, 2003.
6. Haroun M. A., Housner G. W. Seismic design of liquid storage tanks//Journal of the Technical Councils of ASCE. - 1981. - Т. 107. - №. 1. - С. 191-207.
7. Housner G.W. Earthquake Pressures on Fluid Containers//California Institute of Technology, 1954
8. Malhotra P. K. Simple Procedure for Seismic Analysis of Liquid-Storage Tanks/P. K. Malhotra//Structural Engineering International. - 2000. - 1997. - №3. - p.197-201
9. Manos G.C. Earthquake Tank-Wall Stability of Unanchored Tanks /G. C. Manos//J. Struct. Eng. - 1986. - pp. 1863-1880
10. Seismic Design of Storage Tanks – Recommendations of a Study Group of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering. - New Zealand National Society for Earthquake Engineering, 1986
11. Standard A. P. I. 650, Welded steel tanks for oil storage //American Petroleum Institute. - 1988.
12. Veletsos A.S., Yang JY Earthquake response of liquid storage tanks//Proc. of 2nd Engg. Mechanics specialty conf. ASCE Raleigh, 1977, 1-24.



**СЕКЦИЯ**  
**«ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА,**  
**АЭРОДИНАМИКА И**  
**АЭРОАКУСТИКА»**

**Ф.Б. Киселёв**

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теоретической механики и аэродинамики НИУ МГСУ

**Ф.В. Сергеев**

Аспирант кафедры теоретической механики и аэродинамики НИУ МГСУ

## МОДЕЛЬ УПРУГО-ВЯЗКО-ПЛАСТИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ СООРУЖЕНИЯ СОВМЕСТНО С ГРУНТОВЫМ ОСНОВАНИЕМ

### Аннотация

Предложена модель, основанная на неассоциированном законе пластического течения, описывающая совместное деформирование грунтового основания и сооружения. Модель применима при описании высокоинтенсивных воздействий, таких, как сейсмические, вибрационные или ударные. Приведен анализ решения модельной задачи в динамической постановке по явной и по неявной схемам.

**Ключевые слова:** модель Рыкова, неассоциированный закон, мягкий удар, схема Ньюмарка.

Несмотря на то, что неупругое поведение грунтов и армированного железобетона весьма различно, можно построить общую математическую модель их совместного деформирования на основе теории упруго-вязко-пластичности. Задействуя различные параметры общей модели, можно получать описание либо грунта, либо железобетона.

Причиной использовать уравнения упруго-вязко-пластичности для грунта является необходимость проектировать и возводить сооружения на глинистых, водонасыщенных, слабых основаниях. В работах [1-3] показано, что при этом важно учитывать пластические свойства грунта как при сдвиговых деформациях, так и при объемных. Кроме того, важно, чтобы мягкой кривой пластичности по сдвигу соответствовала жесткая кривая по объемному сжатию. Что означает невозможность использовать ассоциированный закон пластического течения сразу для всех компонент тензора напряжения.

Нормативы, используемые при проектировании и расчете промышленных и гражданских объектов строительства, не предполагают работы конструкций в области их неупругого поведения. Тем самым исключается из рассмотрения свойство вязкого поведения бетона при быстроменяющихся нагрузках, как и пластическое течение металлической арматуры, имеющее место при интенсивных воздействиях как на сооружение, так и на окружающий его массив грунта. От подобных ограничений часто свободны объекты специального строительства. Предложенная Г.В. Рыковым [3-5] модель их расчета обобщена авторами данной работы на трехмерный случай.

А именно, ассоциированный закон пластического течения Прандтля-Рейсса связывает компоненты девиаторов тензора напряжения  $s_{ij}$  и скоростей пластических де-

формаций  $\dot{\epsilon}_{ij}^p$  в пятимерном пространстве Ильюшина:

$$\dot{\epsilon}_{ij}^p = \dot{\lambda} \frac{\partial f}{\partial s_{ij}}, \quad (1)$$

где функции нагружения  $f$  учитывает кинематическое и изотропное упрочнение материала:



$$f_{s_{ij}, \sigma} = \frac{1}{2} \xi_{ij} \xi_{ij} - \frac{1}{2} \mathbf{F}^2 \sigma, \chi$$

$$\mathbf{F} \sigma, \chi = \tau + \varphi \sigma + \frac{1}{2} \chi \quad , \quad (2)$$

$$\xi_{ij} = s_{ij} - \alpha_{ij}$$

с параметрами кинематического упрочнения  $\alpha_{ij}$  и изотропного упрочнения  $\chi$ , пределом упругости по сдвигу  $\tau$ , выраженным в напряжениях, углом внутреннего трения  $\varphi$  грунта.

Для одномерного соотношения между объемным напряжением  $\sigma$  и деформацией  $\theta$  используется соотношение типа Кристеску - Малверна:

$$\dot{\theta} = \frac{1}{K \theta} \dot{\sigma} + g \sigma - f^{st} \theta \quad , \quad K \theta = \frac{d f^d \theta}{d \theta} \quad , \quad (3)$$

где  $f^{st} \theta$  и  $f^d \theta$  - предельные функции статического и динамического нагружения по объемным деформациям,  $K \theta$  - динамический модуль объемного сжатия (растяжения) при нагружении и разгрузке,  $g$  - функция, учитывающая объемную вязкость среды.

В практических расчетах возможно принять линейную зависимость упрочнения по сдвигу от девiatorа пластических деформаций:

$$\alpha_{ij} = \mu_p \epsilon_{ij}^p \quad , \quad (4)$$

$$\chi = 2\mu_p \int_0^t \sqrt{\dot{\epsilon}_{ij}^p \dot{\epsilon}_{ij}^p} dt \quad ,$$

где секущий модуль сдвига  $\mu_p$  выражается через касательный модуль сдвига  $\mu_t$  в области пластических деформаций:

$$\mu_p = \frac{\mu \mu_t}{\mu - \mu_t} \quad . \quad (5)$$

Вид статической и динамической диаграмм при высокоинтенсивных воздействиях в модели Г.В. Рыкова для грунта следующий [5]:

$$f^{st} \theta = k \theta + m_2 \theta^{v_2}$$

$$f^d \theta = E_0 \theta + m_2 \theta^{v_2} \quad , \quad (6)$$

где  $E_0$  - мгновенный модуль объемного сжатия в области упругих деформаций,  $k$ ,  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $v_1$ ,  $v_2$  - экспериментально определяемые константы.

Вид статической и динамической диаграмм для бетона:

$$f^{st} \theta = \begin{cases} R_c \left( 1 - \left( 1 - \frac{\theta}{\theta_R} \right)^n \right) , & 0 \leq \theta \leq \theta_R \\ R_c \left( \frac{\theta}{\theta_R} \exp \left( 1 - \frac{\theta}{\theta_R} \right) \right)^\alpha , & \theta > \theta_R \end{cases} \quad , \quad (7)$$

$$f^d \theta = \begin{cases} 1,08 E_0 \left( 1 - 0,074 \left( 1 - \frac{\theta}{\theta_E} \right)^2 \right) , & 0 \leq \theta \leq \theta_E \\ 1,08 E_0 \left( 1 - m \left( \frac{\theta}{\theta_E} - 1 \right)^{1,5} \right) , & \theta > \theta_E \end{cases}$$

где  $R_c$  - среднее значение прочности бетона ( $20 \text{ МПа} \leq R_c \leq 88,1 \text{ МПа}$ ),  $\theta_R$  - объемная деформация при максимальном напряжении  $\theta_R = 198 + 0,54 \cdot R_c \cdot 10^{-5}$ ,  $E_0$  - мгновенный модуль объемного сжатия в области упругих деформаций  $E_0 = 27,2 \cdot 10^{-3} + 373 \cdot R_c$ ,  $\theta_E$  - деформации начала микротрещинообразования  $\theta_E = 0,616 \cdot 1 + 1,83 \cdot 10^{-3} \cdot R_c$ ,  $n, a, m$  - экспериментальные коэффициенты  
 $n = 9,31 \cdot R_c^{-0,434}$ ,  $a = 9,11 \cdot 10^{-3} \cdot R_c^{1,69}$ ,  $m = 1,79 \cdot 10^{-3} \cdot R_c$ .

Вид функции  $g$ , задающей свойство вязкости для грунта, в соответствии с моделью Г.В. Рыкова [5]:

$$g(\sigma - f^{st} \theta) = \begin{cases} \frac{1}{\eta} (\sigma - f^{st} \theta)^\beta, & \sigma > f^{st} \theta \\ 0, & \sigma \leq f^{st} \theta \end{cases}, \quad (8)$$

где  $\eta$  - объемная вязкость грунта,  $\beta$  - экспериментальная константа.

Вид функции  $g$ , задающей свойство вязкости для бетона:

$$g(\sigma - f^{st} \theta) = \begin{cases} \frac{1}{\eta} (\sigma - f^{st} \theta)^\beta, & \sigma > f^{st} \theta \\ 0, & \sigma \leq f^{st} \theta \end{cases}, \quad (9)$$

где  $\eta$  - объемная вязкость бетона ( $2 \leq \eta \leq 2,5 \text{ МПа} \cdot \text{с}$ ),  $\beta$  - экспериментальная константа ( $\beta \approx 4$ ).

Закон одноосного растяжения - сжатия арматурной стали, армирующей бетон в направлении оси  $x_\alpha$ :

$$\frac{d\epsilon_\alpha}{dt} = \frac{1}{\eta} (\sigma_\alpha - \sigma_{\alpha 0}), \quad (10)$$

где  $\sigma_{\alpha 0}$  - статический предел текучести,  $\eta$  - линейная вязкость стали  $0,04 \leq \eta \leq 0,14 \text{ МПа} \cdot \text{с}$ ,  $\sigma_\alpha - \sigma_{\alpha 0}$  - текущее динамическое напряжение.

Соотношения (1) - (10) приводят к уравнениям состояния для активного нагружения, выполняемым как для грунта, так и для бетона:

$$\frac{d\sigma_{ij}}{dt} = \sum_{k,l=1}^3 C^*_{ijkl} \frac{d\epsilon_{kl}}{dt} + \sigma_{ij}^*, \quad i, j = 1, 2, 3$$

$$C^*_{ijkl} = 2\mu \left( I_{ijkl} - \frac{\mu \xi_{ij} \xi_{kl}}{F^2 \sigma, \chi \mu + \mu_p} \right) + \left( K \theta - \frac{2\mu}{3} \right) \delta_{ij} \delta_{kl} +$$

$$+ K \theta \frac{\mu \varphi \xi_{ij} \delta_{kl}}{F \sigma, \chi \mu + \mu_p}$$

$$\sigma_{ij}^* = -K \theta g(\sigma - f^{st} \theta) \left( \delta_{ij} + \frac{\mu \varphi \xi_{ij}}{F \sigma, \chi \mu + \mu_p} \right)$$

где компоненты единичного тензора 4-го ранга:  $I_{aaaa} = 1$ , остальные  $I_{ijkl} = 0$ ,  $\delta_{ij}$  - дельта Кронекера.

Подстановка соотношений (11) в уравнения движения, продифференцированные по времени, приводит к краевой задаче нелинейной упруго-вязко-пластичности в приращениях:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j,k,l=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mathbf{C}_{ijkl}^* \vec{u} \cdot \frac{\partial \Delta u_k}{\partial x_l} \right) + \sum_{j=1}^3 \frac{\partial \sigma_{ij}^*}{\partial x_j} \vec{u} \cdot \Delta t + \rho \cdot \Delta F_i = \rho \cdot \Delta a_i \vec{u}, t \\ \Delta u_i \Big|_{\Sigma_u} = \Delta u_i^0 \\ \sum_{j=1}^3 \left( \sum_{k,l=1}^3 \mathbf{C}_{ijkl}^* \vec{u} \cdot \frac{\partial \Delta u_k}{\partial x_l} + \sigma_{ij}^* \vec{u} \cdot \Delta t \right) \cdot \mathbf{n}_j \Big|_{\Sigma_\sigma} = \Delta S_i^0, \quad i=1,2,3 \end{array} \right. ,$$

где  $\mathbf{n}_j$  - компоненты вектора нормали к границе  $\Sigma_\sigma$ , через  $\Delta u_k = u_k(t) - u_k(t - \Delta t)$  обозначено приращение пространственных перемещений по времени,  $\Delta u_i^0$ ,  $\Delta S_i^0$  - компоненты приращений граничных перемещений и поверхностных сил.

Линеаризация данной краевой задачи проводится методом Эйлера и, в зависимости от способа аппроксимации приращения ускорения  $\Delta a_i$ , приводит к явной схеме по времени:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j,k,l=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mathbf{C}_{ijkl}^{*n} \cdot \frac{\partial \Delta u_k^n}{\partial x_l} \right) + \sum_{j=1}^3 \frac{\partial \sigma_{ij}^{*n}}{\partial x_j} \cdot \Delta t + \rho \cdot \Delta F_i^n = \rho \cdot \Delta a_i^{n+1} \\ \Delta u_i^n \Big|_{\Sigma_u} = \Delta u_i^{0n} \\ \sum_{j=1}^3 \left( \sum_{k,l=1}^3 \mathbf{C}_{ijkl}^{*n} \cdot \frac{\partial \Delta u_k^n}{\partial x_l} + \sigma_{ij}^{*n} \cdot \Delta t \right) \cdot \mathbf{n}_j \Big|_{\Sigma_\sigma} = \Delta S_i^{0n}, \quad i=1,2,3 \end{array} \right. \quad (12)$$

или, соответственно, к неявной:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j,k,l=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mathbf{C}_{ijkl}^{*n} \cdot \frac{\partial \Delta u_k^{n+1}}{\partial x_l} \right) + \sum_{j=1}^3 \frac{\partial \sigma_{ij}^{*n}}{\partial x_j} \cdot \Delta t + \rho \cdot \Delta F_i^{n+1} = \rho \cdot \Delta a_i^{n+1} \\ \Delta u_i^{n+1} \Big|_{\Sigma_u} = \Delta u_i^{0n+1} \\ \sum_{j=1}^3 \left( \sum_{k,l=1}^3 \mathbf{C}_{ijkl}^{*n} \cdot \frac{\partial \Delta u_k^{n+1}}{\partial x_l} + \sigma_{ij}^{*n} \cdot \Delta t \right) \cdot \mathbf{n}_j \Big|_{\Sigma_\sigma} = \Delta S_i^{0n+1}, \quad i=1,2,3 \end{array} \right. \quad (13)$$

где верхний индекс  $n$  у функции означает, что данная функция отнесена к  $n$ -му временному слою  $t_n = \Delta t \cdot n$ ,  $\Delta t > 0$  - шаг по времени.

Для неявной схемы аппроксимация приращения компонент вектора ускорения  $\Delta a_i^{n+1}$  осуществляется методом Ньюмарка:

$$a_i^{n+1} = A_1 u_i^{n+1} - u_i^n - A_2 v_i^n - A_3 a_i^n \quad (14)$$

с константами Ньюмарка  $A_1, A_2, A_3$ :

$$A_1 = \frac{1}{\alpha \Delta t^2}, \quad A_2 = \frac{1}{\alpha \Delta t}, \quad A_3 = \frac{1}{2\alpha} - 1, \quad \alpha \geq \frac{1}{4} (1 + \gamma^2), \quad \gamma > 0$$

Окончательный вид линеаризованной краевой задачи с начальными условиями на скорости  $v_i^0$  и ускорения  $a_i^0$ , сформулированной для приращения перемещений, имеет вид:

$$\begin{cases} \sum_{j,k,l=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_j} \left( C_{ijkl}^* \cdot \frac{\partial \Delta u_k^{n+1}}{\partial x_l} \right) - \rho \cdot A_1 \cdot \Delta u_i^{n+1} + \sum_{j=1}^3 \frac{\partial \sigma_{ij}^*}{\partial x_j} \cdot \Delta t + \\ \rho \cdot \Delta F_i^{n+1} + \rho \cdot A_2 \cdot v_i^n + \rho \cdot A_3 \cdot a_i^n = 0, \quad n=0,1,2,\dots \\ \Delta u_i^{n+1} \Big|_{\Sigma_u} = \Delta u_i^0 \\ \sum_{j=1}^3 \left( \sum_{k,l=1}^3 C_{ijkl}^* \cdot \frac{\partial \Delta u_k^{n+1}}{\partial x_l} + \sigma_{ij}^* \cdot \Delta t \right) \cdot n_j \Big|_{\Sigma_\sigma} = \Delta S_i^0, \quad i=1,2,3 \end{cases} \quad (15)$$

Конечноэлементная реализация данного алгоритма осуществлена авторами в сотрудничестве с С.В. Ковалем и Д.А. Жуковским в виде пакета программ с графическим пре- и постпроцессором. В качестве тестовой рассмотрена задача о сейсмическом воздействии магнитудой 7 баллов продолжительностью 1 сек., которое моделировалось заданием велосиграм определенных точек основания с максимальной амплитудой  $v = 10$  см/сек.

Для динамического расчета по явной схеме задавался минимальный шаг по времени, обеспечивающий устойчивость решения в соответствии с критерием Куранта и равный  $5 \times 10^{-5}$  сек. При этом для проведения расчета продолжительностью 1 сек. требуемое количество шагов по времени равнялось 100000. Время, затраченное на расчет 1000 шагов равнялось 5 минутам. Время решения всей задачи составило 500 минут или 8 часов 20 минут.

Расчет по неявной схеме проводился с шагом по времени, равным 0.01 сек. Количество необходимых шагов по времени составило 100. Время расчета одного шага по времени равнялось 20 сек. Время решения всей задачи составило 32 минуты. Графики полученных перемещений, скоростей и ускорений в точках расчетной области по неявной схеме являются «оггибающими» для графиков соответствующих переменных, полученных по явной схеме, что отвечает условию сходимости решения по неявной схеме к решению по явной при измельчении временного шага. Вид расчетной области с учетом волновой картины в сооружении и грунте, акселерограмма ускорения в заданной точке сооружения, распределение вертикальных перемещений в сооружении и вертикальные осевые напряжения в сооружении в момент времени 0,02 с, так же как и распределение скоростей в направлении оси  $Ox$  от источника возмущений, расположенного перед сооружением, приведены на рис.1-5.

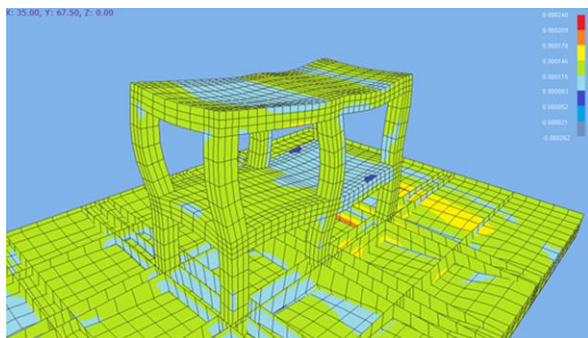


Рис. 1. Общий вид модельного сооружения в деформированном состоянии в момент времени 0,02с.

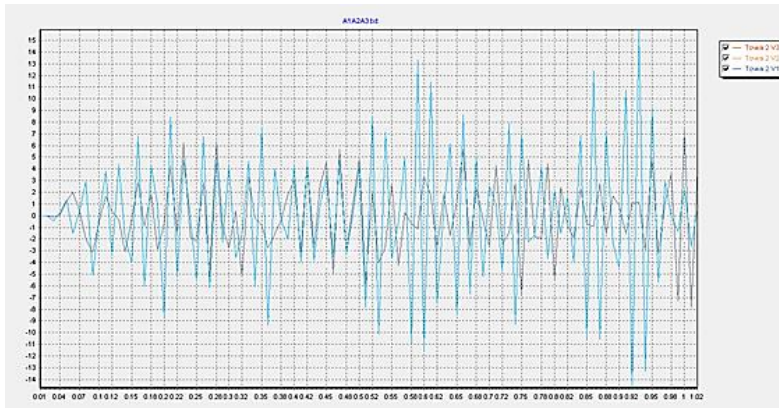


Рис. 2. Акселерограмма колебания ригеля покрытия в заданной точке.

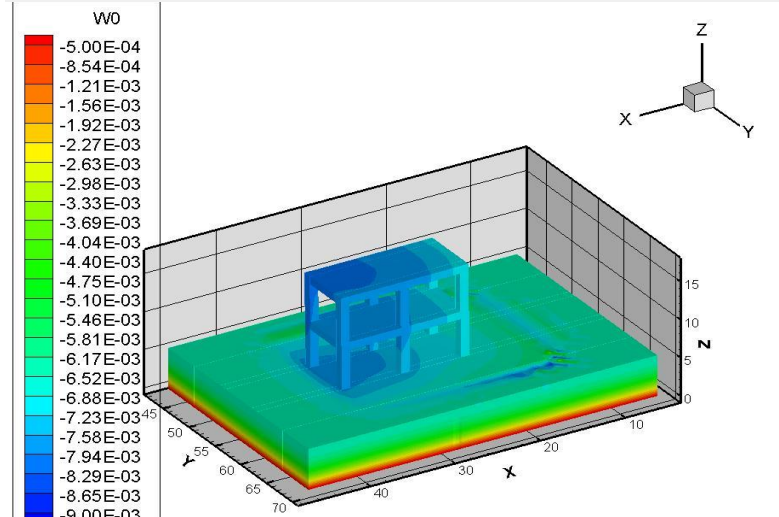


Рис. 3. Распределение вертикальных перемещений в сооружении в момент времени 0,02 с.

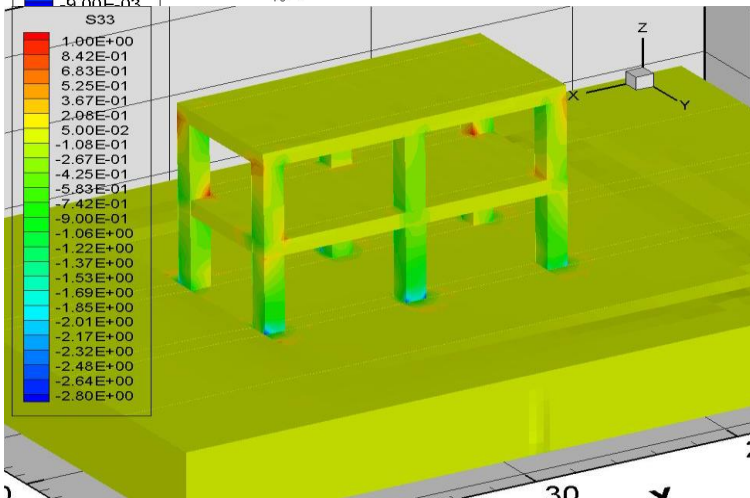


Рис. 4. Вертикальные осевые напряжения в сооружении в момент времени 0,02 с.

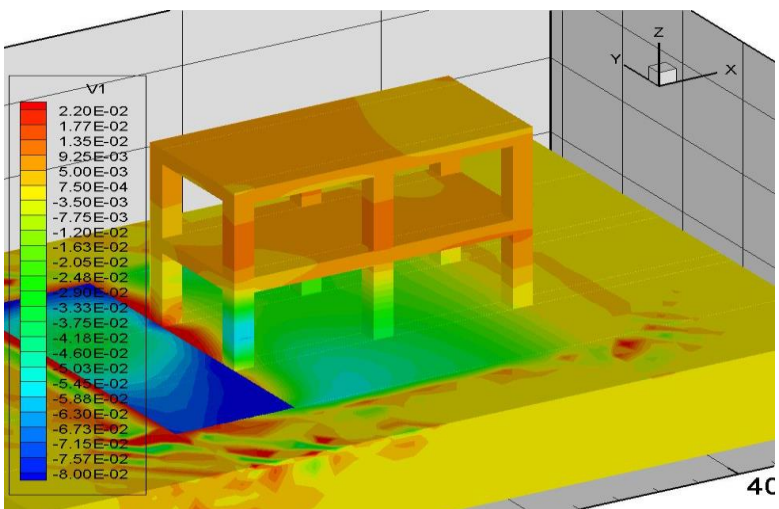


Рис. 5. Распределение скоростей в направлении оси Ox от источника возмущений, расположенного перед сооружением.

Возможность использования собственного конечноэлементного решателя с графическим пре- и постпроцессором оставляет свободу в выборе наиболее подходящих в каждом конкретном случае определяющих соотношений модели и снимает вопрос лицензионного использования заимствованных пакетов программ.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Иосилевич В.А., Рассказов Л.И., Сысоев Ю.М.* Об особенностях развития поверхности нагружения при пластическом упрочнении грунта. // В.А.Иосилевич. Избранные труды. Изд. Московского Университета, 2005.

2. *Улицкий В.М., Шашкин А. Г., Шашкин К.Г.* Геотехническое сопровождение развития городов. СПб.: Изд-во «Стройиздат Северо-Запад» совместно с «Геореконструкция», 2010. 547 с.

3. *Клованич С.Ф., Безушко Д.И.* Метод конечных элементов в нелинейных расчетах пространственных железобетонных конструкций / Клованич С.Ф., Безушко Д.И. – Одесса: Издательство ОНМУ, 2009.-89с.

4. *Замышляев Б.В., Евтерев Л.С.* Модели динамического деформирования и разрушения грунтовых сред. М.: Наука, 1990. – 215 с.

5. *Кулинич Ю.В., Нарожная З.В., Рыков Г.В.* Механические характеристики песчаных и глинистых грунтов с учетом их вязкопластических свойств при кратковременных динамических нагрузках. М.: ИПМ АН СССР, 1976, препринт №69, 96 с.

6. *Рыков Г.В., Скобеев А.М.* Измерение напряжений в грунтах при кратковременных нагрузках. М.: «Наука», 1978, 168 с.

**А.А. Локтев**

*Декан факультета «Информатизация, экономика и управление», заведующий кафедрой «Транспортное строительство», доктор физико-математических наук., профессор Московского государственного университета путей сообщения Императора Николая II*

**К.Д. Степанов**

*Аспирант кафедры Теоретической механики и аэродинамики НИУ МГСУ*

**А.Г. Поляков**

*старший преподаватель кафедры «Транспортное строительство» Московского государственного университета путей сообщения Императора Николая II*

## **МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОЛОТНА С УЧЕТОМ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

### **Аннотация**

В работе рассматривается процесс динамического контакта «колесо – рельс», для его моделирования предлагается рассмотреть несколько моделей взаимодействия, позволяющих учесть различные реологические свойства контактирующих тел, а именно, модель контакта Герца, линейно-упругую модель, вязкоупругую модель, две упругопластические модели, модель, учитывающую отдельно нагрузку и разгрузку и вязкоупругую модель с дробными производными. Соотношения, связывающие контактную силу и местное смятие тел, подставляются в уравнения, описывающие движение колеса и рельса в вертикальном направлении, которые затем решаются с использованием начальных условий и численной итерационной схемы, предполагающей, что на малых временных интервалах отдельные величины ведут себя линейно. В работе модифицирован волновой подход к проблеме определения динамических характеристик деформирования насыпи железнодорожного полотна из-за динамического воздействия. Сам метод построения волновой картины в пластинке основан на принципе суперпозиции двух отдельных задач: контактной задачи приложения первоначальной динамической нагрузки и волновой задачи деформирования насыпи с течением времени, в том числе и за счет распространения с конечными скоростями упругих волн.

**Ключевые слова:** модель взаимодействия, динамический контакт, волновые процессы, гиперболические уравнения, механические свойства грунта, верхнее строение пути, земляное полотно

При строительстве высокоскоростных железнодорожных магистралей и магистралей для тяжеловесного движения необходимо учитывать изменение классической модели контакта колесной пары и рельса, поскольку нагрузка от транспортного средства на рельс передается по достаточно маленькой площадке и эта зона контакта движется со скоростью самого подвижного состава. В отечественной и зарубежной практике существует множество подходов для определения динамических, кинематических и геометрических характеристик деформируемого твердого тела после приложения к нему динамической нагрузки [1-3]. Для определения конечных характеристик могут быть использованы численные [4-6] и аналитические [7,8] методы, первые основаны на линеаризации искомых функции путем ввода большого числа неизвестных [9], которые затем определяются из решения систем линейных уравнений. Потребности инженерной практики в транспортной отрасли заставляют исследователей модернизировать существующие модели контактирующих тел, более детально учитывать их

реологические свойства, более точно описывать характер их взаимодействия и учитывать широкий спектр явлений, происходящие в них [10].

В настоящей работе при исследовании процесса динамического контактного нагружения «колесо – рельс» (рис. 1) предлагается рассмотреть несколько контактных моделей взаимодействия и учесть различные реологические свойства взаимодействующих тел.

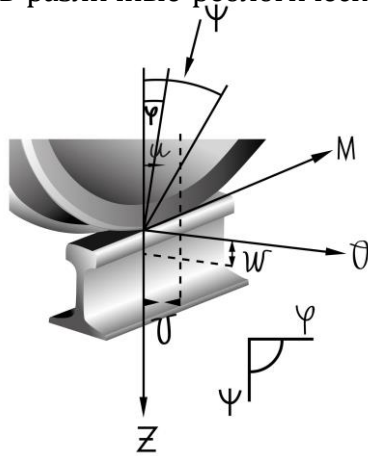


Рис. 1 Модель контактного взаимодействия колеса и рельса

В качестве основных соотношений, связывающих силу взаимодействия двух тел и местное смятие в системе «колесо-рельс», используем следующие выражения:

- 1) квазистатическая модель Герца [2,5]

$$P = k \alpha^{3/2}, \quad (1)$$

- 2) линейно-упругая модель [5,8]

$$P = E_1 \alpha - w, \quad (2)$$

- 3) вязкоупругая модель [8]

$$P(t) = E_1(\alpha - w) - \frac{E_1}{\tau_1} \int_0^t (\alpha - w) e^{-\frac{t-t'}{\tau_1}} dt', \quad (3)$$

- 4) модель Кильчевского [6], учитывающая упругопластические свойства в зоне контакта

$$\alpha = \begin{cases} bP^{2/3}, & dP/dt > 0, P < P_b, \\ bP^{2/3} + Pd, & dP/dt > 0, P > P_b, \\ bP^{2/3} + P_{\max}d, & dP/dt < 0, P_{\max} > P_b, \end{cases} \quad (4)$$

- 5) модель Александрова-Кадомцева [6], учитывающая упругопластические свойства в зоне контакта

$$\alpha = \begin{cases} bP^{2/3}, & dP/dt > 0, P_{\max} < P_1, \\ (1 + \beta)c_1 + (1 - \beta)Pd, & dP/dt > 0, P_{\max} > P_1, \\ b_f P^{2/3} + \alpha_p(P_{\max}), & dP/dt < 0, P_{\max} > P_1, \end{cases} \quad (5)$$

- 6) модель, в которой сила взаимодействия разделена на несколько этапов (нагружение и разгрузка) [10]

$P = k\alpha^{3/2}$ , характеризует этап нагружения верхнего строения пути,

$$P = P_m \left[ \frac{(\alpha - \alpha_0)}{(\alpha_m - \alpha_0)} \right]^q, \text{ характеризует этап разгрузки верхнего строения пути,} \quad (6)$$



$$\alpha_0 = \begin{cases} \beta(\alpha_m - \alpha_{cr}) & ; \alpha_m > \alpha_{cr}, \\ 0 & ; \alpha_m \leq \alpha_{cr}, \end{cases}$$

7) вязкоупругая модель Максвелла с дробными производными Римана-Лиувилля [10]

$$P + \tau^\gamma D^\gamma P = E_1 \tau^\gamma D^\gamma (\alpha - w), \quad D^\gamma P = \frac{d}{dt} \int_0^t \frac{P(t-t')}{\Gamma(1-\gamma) t'^\gamma} dt', \quad (7)$$

в данных выражениях использованы следующие обозначения:  $\alpha$  - смятие материалов рельса и колеса в области их взаимодействия,  $k$  - коэффициент, учитывающий геометрические и механические свойства взаимодействующих тел,  $E_1$  - приведенный модуль Юнга области взаимодействия колесной пары и рельса,  $w$  - перемещение нижней грани рельса,  $\lambda=5.7$ ,  $b = \left( (9\pi^2(k_1+k)^2) / 16R \right)^{1/3}$ ,  $k_1 = (1-\sigma_1^2)/E_1$ ,  $k = (1-\sigma^2)/E$ ,  $\chi = \pi k_{pl} \lambda$ ,  $d = 1/2 \chi R$ ,  $P_1 = \chi^3 (3R(k_1+k)/4)^2$ ,  $b_f = R_f^{-1/3} (3(k_1+k)/4)^{2/3}$ ,  $R_p^{-1} = R^{-1} - R_f^{-1}$ ,  $R_f = (4/3(k_1+k)) P_{\max}^{1/2} \chi^{-3/2}$ ,  $\alpha_p(P_{\max}) = (1-\beta) P_{\max} (2\chi R_p)^{-1}$ ,  $\beta = 0.33$ ,  $c_1 = 3\chi^{1/2} (k_1+k)/8$ ,  $k_{pl}$  - наименьшая из пластических констант, взаимодействующих тел,  $\sigma_1$  - коэффициент Пуассона для колесной пары [2,8],  $\tau_1 = \eta_1/E_1$ ,  $\tau_1$  - время релаксации вязкоупругого тела,  $\eta_1$  - коэффициент вязкого сопротивления,  $\gamma$  ( $0 < \gamma \leq 1$ ) - параметр дробности,  $P_m$  - максимум силы взаимодействия, который обычно наблюдается в замом конце этапа нагружения,  $\alpha_m$  - максимум местной деформации материалов двух тел в зоне контакта,  $\alpha_0$  - текущее значение местной деформации,  $q$  и  $\beta$  - экспериментально определяемые константы,  $\alpha_{cr}$  - критическое значение смятия.

Для моделирования динамического взаимодействия колеса и рельса с учетом однородности и изотропности материалов двух тел и гладкости контактирующих поверхностей, можно использовать подход Тимошенко.

В данной задаче уравнения движения колеса и рельса после начала взаимодействия принимают вид

$$m\ddot{y} = -P(t), \quad (8)$$

$$EI \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \rho F \ddot{w} = P(t) \delta(x - \xi), \quad (9)$$

где  $m$  - масса колеса,  $y$  - перемещение колеса,  $w(x,t)$  - прогиб рельса,  $E$  - модуль упругости,  $I$  - момент инерции поперечного сечения рельса относительно нейтральной оси,  $F$  - площадь поперечного сечения рельсошпальной решетки,  $\rho$  - плотность материала рельса,  $\delta(x-\xi)$  - единичная дельта функция типа Дирака,  $x$  - линейная координата, отсчитываемая вдоль оси рельса, точка над функцией показывает частную производную по времени с начала контакта.

Определяющие соотношения (8), (9) необходимо проинтегрировать с учетом начальных условий в момент соприкосновения тел

$$\dot{w} \Big|_{t=0} = 0, \quad \dot{\alpha} \Big|_{t=0} = V_0 \quad (10)$$

и зависимости между силой взаимодействия и местным смятием (1) - (6)

После интегрирования определяющих выражений приходим к функциональному интегро-дифференциальному уравнению, позволяющему вычислить силу взаимодействия тел  $P(t)$

$$V_0 t - \frac{1}{m} \int_0^t \int_0^{t_1} P(t_2) dt_2 dt_1 = k' P^{2/3} + \sum_n A_n \int_0^t P(\tau) \sin \omega_n (t - \tau) d\tau, \quad (11)$$

здесь системные коэффициенты  $A_n$  определяются типом собственных функций и собственных значений  $\omega_n$  применительно к конкретной задаче.

Определяющее интегро-дифференциальное уравнение (11) можно представить относительно местного смятия материалов контактирующих тел  $\alpha$ , в случае его дифференцирования по времени два раза и подстановки соответствующей формулы для контактной силы. В результате получим

$$\ddot{\alpha} + k \left( \frac{1}{m} + \sum_{(n)} \omega_n A_n \right) \alpha^{3/2} - k \int_0^t \alpha^{3/2}(\tau) \sum_{(n)} \omega_n^2 A_n \sin \omega_n (t - \tau) d\tau = 0. \quad (12)$$

Решение интегро-дифференциальных уравнений типа (11), (12) для соотношений (1) – (6) ищется в численном виде с помощью современных математических комплексов и программных приложений, вычислительные схемы которых записаны в предположении, что на каждом отдельном интервале  $(n-1)\tau \leq t \leq n\tau$ , достаточно малом относительно общего времени взаимодействия, неизвестные функции ведут себя линейно

$$\dot{P}(n\tau) = (P_n - P_{n-1})/\tau. \quad (13)$$

Подобная вычислительная итерационная схема обычно используется, когда неизвестные функции представляются в виде разложений в ряды, члены которых записываются с помощью специальных функций [6-10], показывающих зависимость производных различных порядков между собой. Это связано с тем, что итоговое определяющее уравнение, содержит суммирование по двум индексам.

При использовании в качестве определяющих соотношений (4) принимаются во внимание упругопластические свойства материалов в области контакта двух тел при их местном деформировании, интервал взаимодействия колеса и рельса в отдельно взятом контактном пятне делится на три отрезка. Область возрастания силы взаимодействия двух тел делится на два интервала при  $dP/dt > 0$ ,  $P < P_b$  и  $dP/dt > 0$ ,  $P > P_b$ , где  $P_b = (4/3) E a_0^2 R^{-1}$ ,  $a_0 = \pi k R (0.52 E)^{-1}$ , а область убывания представляется одним интервалом  $dP/dt < 0$ ,  $P_{\max} > P_b$ . Математическую модель упругопластической местной деформации при смятии была модернизирована: функция  $P_b$  была заменена на  $P_1 = \chi^3 (3R(k_1 + k)/4)^2$ , именно с этой величиной сравнивался максимум контактной силы  $P_{\max}$  [6]. Изменился и характер функциональных зависимостей, показывающих взаимосвязь функций  $\alpha$  и  $P$ . При этом предлагается рассматривать не нелинейное определяющее соотношение (11), а функциональную систему трех уравнений, причем решение каждого соотношения задает взаимосвязь силы взаимодействия двух тел и времени на определенном интервале с момента начала контакта [6].

Если использовать для моделирования динамического контакта колеса и рельса соотношение, соответствующее вязкоупругому буферу, свойства которого задаются при помощи дробных производных, то подставляя выражение (7) в уравнение, описывающее движение колеса в выбранном направлении (8), и выражение, определяющее перемещение и деформирование рельса (9), то можно прийти к системе уравнений относительно перемещений  $\alpha$  и  $w$ , которую целесообразно решать в пространстве изображений Лапласа. После вычисления искоемых функций силу взаимодействия можно определить в пространстве оригиналов используя известное соотношение Меллина-Фурье

$$P(t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} \bar{P}(p) \exp(pt) dp, \quad (14)$$

где  $p$  – характеристика пространства изображений Лапласа.

Вычисление интегрального выражения (14) возможно после определения корней характеристического уравнения, которые представляют собой особые точки функции  $\bar{P}(p)$ , которые описывают соотношение вязких и упругих параметров модели

$$p^3 + p^{3-\gamma} \zeta + Bp^2 + B\zeta p^{2-\gamma} + Cp + BC_0 = 0, \quad (15)$$

здесь  $B = 2r_0^{-1}G^{(2)}$ ,  $\zeta = \tau^{-\gamma}$ ,  $C = E_1(2M^{-1} + m^{-1})$ ,  $C_0 = E_1m^{-1}$ .

Определяющее уравнение (15) в зависимости от соотношения вязких и упругих характеристик вязкоупругой модели и параметра дробности может иметь либо три действительных корня, либо два комплексных и один действительный корень. После разрешения уравнения (15) для конкретных значений параметров выражение для силы взаимодействия двух тел можно записать в пространстве оригиналов в виде многочлена, некоторые слагаемые которого характеризуют перемещение положения равновесия тел, а другие отвечают за собственные затухающие колебания вблизи дрейфующего положения равновесия.

Параметры общей конструкции железнодорожного пути, влияющие на показатели его эффективной эксплуатации, чаще всего описываются в помощью двух групп характеристик, первая группа учитывает инженерно-геологические свойства местности, по которой проходит путь, а также параметры грунта насыпи и коренного грунта основания полотна. Вторая группа факторов зависит от условий и режимов эксплуатации, частоты и качества проведения текущих, средних и капитальных ремонтов пути, к этим параметрам относится упругая осадка при действии на верхнее строение пути расчетной и фактической нагрузки, уровень накопленных остаточных осадков, уровень основания в зависимости от времени года. Из большого многообразия факторов и критериев, характеризующих работу железнодорожного пути, предлагается выбрать силу взаимодействия колеса и рельса, от которой легко можно перейти к напряжениям в верхнем строении пути и насыпи, а также динамическое нормальное перемещение рельсошпальной решетки в вертикальном направлении. Эти две величины предлагается определять с учетом волновых процессов в элементах конструкции пути, анизотропных свойств в трех главных направлениях, а также с учетом характеристик коренного грунта основания (рис.2).

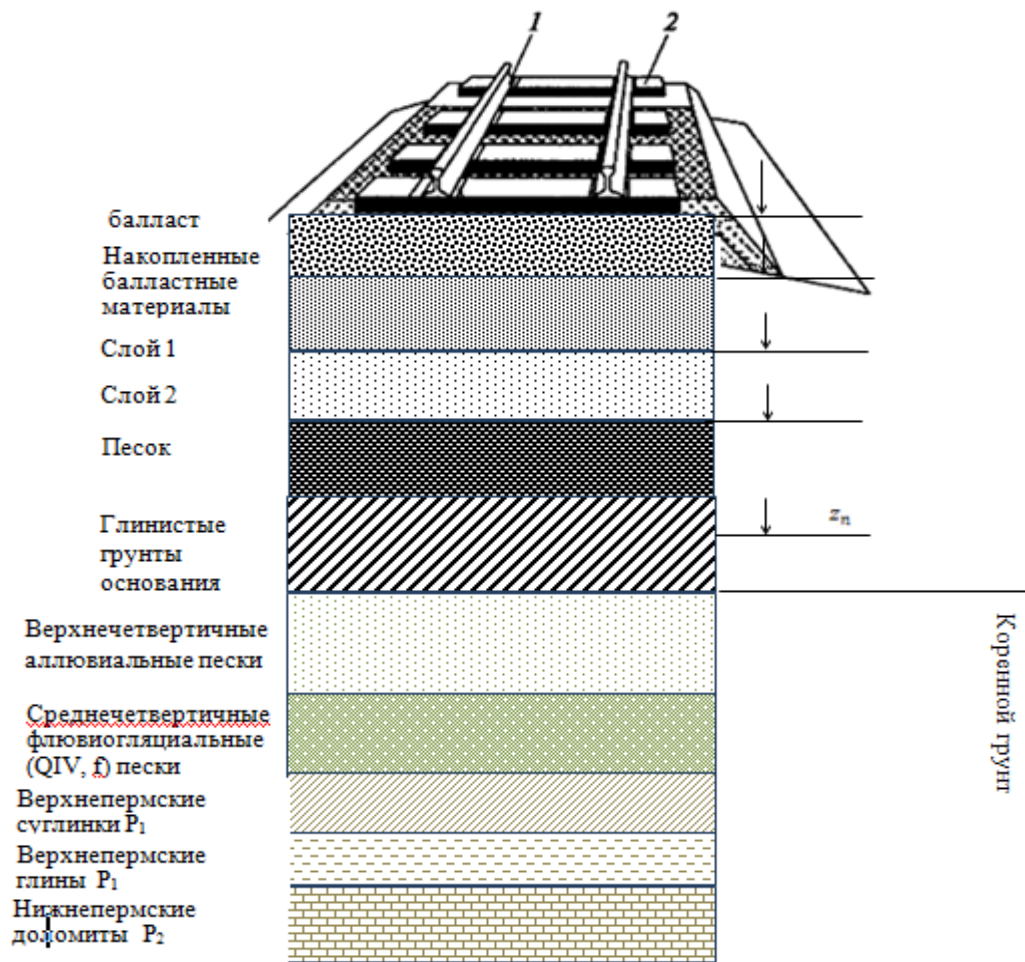


Рис.2. Модель железнодорожного полотна

Для описания динамического поведения железнодорожного полотна, предлагается представить его в виде системы слоев начиная от верхнего строения пути и заканчивая слоями коренного грунта местности, по которой проходит железная дорога, поведение каждого слоя пути на прямом участке можно описать гиперболическими уравнениями типа Уфлянда-Миндлина-Рейснера, записанные в цилиндрической системе координат в виде:

$$D_r \left( \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) - D_\theta \frac{\varphi}{r^2} + hKG_{rz} \left( \frac{\partial w}{\partial r} - \varphi \right) = -\rho \frac{h^3}{12} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2}, \quad (16)$$

$$KG_{rz} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} - \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + KG_{rz} \frac{1}{r} \left( \frac{\partial w}{\partial r} - \varphi \right) = \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \quad C_r \left( \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) - C_\theta \frac{u}{r^2} = \rho h \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \quad (17)$$

$$C_k \left( \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r^2} \right) = \rho h \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}, \quad D_k \left( \frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} - \frac{\psi}{r^2} \right) - KhG_{\theta z} \psi = -\rho \frac{h^3}{12} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} \quad (18)$$

здесь  $D_r = \frac{h^3}{12} B_r, D_\theta = \frac{h^3}{12} B_\theta, D_k = \frac{h^3}{12} B_k, C_r = hB_r, C_\theta = hB_\theta, C_k = hB_k, D_{r\theta} = D_r \sigma_\theta + 2D_k,$

$B_r = \frac{E_r}{1 - \sigma_r \sigma_\theta}, B_\theta = \frac{E_\theta}{1 - \sigma_r \sigma_\theta}, B_k = G_{r\theta}, E_r \sigma_r = E_\theta \sigma_\theta, K = \frac{5}{6}, D_r, D_\theta$  и  $C_r, C_\theta$  - характеристики

жесткости для изгиба и сжатия-растяжения для двух направлений анизотропии в плоскости рельсошпальной решетки  $r, \theta$ ;  $D_k$  - характеристика жесткости кручения;  $C_k$  - характеристика жесткости при сдвиговых деформациях;  $E_r, E_\theta$  и  $\sigma_r, \sigma_\theta$  - модуль Юнга и коэффици-

ент поперечной деформации для направлений  $r, \theta$  соответственно;  $G_{rz}, G_{\theta z}$  – модули сдвига в вертикальных плоскостях  $rz$  и  $\theta z$ ;  $w(r, \theta)$  – вертикальное перемещение медианной плоскости,  $u(r, \theta)$  и  $v(r, \theta)$  – горизонтальные перемещения медианной поверхности по координатам  $r, \theta$  (т.е. вдоль рельс и вдоль шпал);  $\varphi(r, \theta)$  и  $\psi(r, \theta)$  – угловые перемещения нормалей к медианной поверхности в направлениях координат  $r, \theta$ .

Для разрешения системы (16) – (18) ее нужно переписать в пространстве изображений Лапласа, заменив первоначальные величины  $\varphi, \psi, w, u, v, q_1$  и  $M$  их представлением в пространстве изображений Лапласа –  $\bar{\varphi}, \bar{\psi}, \bar{w}, \bar{u}, \bar{v}, \bar{q}_1$  и  $\bar{M}$ . Линейные и угловые перемещения, которые являются основными неизвестными системы (16) – (18), и функцию внешней нагрузки  $q(t, r, \theta)$  (связана с силой взаимодействия двух тел  $P(t)$ ) нужно представить в виде степенных рядов [3,6,7], члены которых содержат сферические функции на основе полиномов Лежандра [6]. Использование таких полиномов позволяет установить связь между искомыми неизвестными функциями и их производными разных порядков, при этом дифференциальное представление сводится к алгебраическому, в котором необходимо определить неизвестные коэффициенты разложения, это также не позволит увеличить число неизвестных функций после их дифференцирования

$$\bar{x} = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} x_{2n+m} P_{2n+1} \left( \cos \frac{\pi r}{2R} \right) \cos(m\theta), \quad (19)$$

$$\bar{q}_1 = \frac{P(p)}{\pi R_c^2} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} (4n+3) P_{2n+1} \left( \cos \frac{\pi r_1}{2R} \right) P_{2n+1} \left( \cos \frac{\pi r}{2R} \right) \cos(m\theta), \quad (20)$$

в данных выражениях  $R$  – характерный размер несущей плиты основания;  $r_1$  – координата места динамического воздействия колеса на верхнее строение железнодорожного пути;  $x$  – приведенная величина, которая может быть любым из неизвестных линейных или угловых перемещений  $\varphi, \psi, w, u, v$ ; черта сверху определенной функции показывает ее представление в пространстве изображений,  $P(p)$  – функция, определяющая зависимость контактной силы от параметра пространства Лапласа (вместо времени в пространстве оригиналов).

Для вычисления коэффициентов рядов (19) и (20) необходимо представить их в виде рядов Лорана, которые записываются вблизи исследуемой точки верхнего строения пути [8,9]

$$x_{2n+m} = x_{2n+m}^0 \varepsilon^0 + x_{2n+m}^1 \varepsilon^1 + x_{2n+m}^2 \varepsilon^2 + x_{2n+m}^3 \varepsilon^3, \quad (21)$$

где  $\varepsilon = p^{-2}$ ,  $p$  – параметр пространства Лапласа.

Для подстановки в уравнения (16) – (18) механических характеристик необходимо выполнить инженерно-геологическое обследование местности, результаты расчетов в таблице.

| Наименование грунта/<br>обозначения величин | Коэффициент пористости | Показатель текучести | Модуль деформации, кгс/см <sup>2</sup> | При расчетах                            |                                |                              |                                        |                                |                              |  |
|---------------------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--|
|                                             |                        |                      |                                        | По несущей способности                  |                                |                              | По деформации                          |                                |                              |  |
|                                             |                        |                      |                                        | Удельное сцепление, кгс/см <sup>2</sup> | Угол внутреннего трения, град. | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Удельное сцепление кгс/см <sup>2</sup> | Угол внутреннего трения, град. | Плотность, г/см <sup>3</sup> |  |
|                                             |                        |                      |                                        |                                         |                                |                              |                                        |                                |                              |  |

| *пр<br>иве<br>ден<br>ны<br>е<br>зна<br>че<br>ни<br>я<br>пло<br>тно<br>сти<br>в |  | $e$   | $\mu$ | $E$ | $c_1$ | $\varphi I$ | $\rho I$           | $c_{II}$ | $\varphi_{II}$ | $\rho_{II}$         |
|--------------------------------------------------------------------------------|--|-------|-------|-----|-------|-------------|--------------------|----------|----------------|---------------------|
| 1. Песок мелкий<br>влажный                                                     |  | 0,612 | -     | 324 | 0,022 | 32          | 1,92               | 0,029    | 33             | 1,79                |
| 2. Суглинок по-<br>лутвердый                                                   |  | 0,648 | 0,36  | 194 | 0,19  | 21          | 1,92               | 0,30     | 21             | 1,89                |
| 3. Глина туго-<br>полутвердая                                                  |  | 0,910 | 0,39  | 142 | 0,26  | 14          | 1,90               | 0,38     | 17             | 1,90                |
| 4. Песок мелкий<br>влажный и насыщен-<br>ный водой*                            |  | 0,614 | -     | 318 | 0,020 | 30          | $\frac{1,9}{2,03}$ | 0,031    | 33             | $\frac{1,82}{2,06}$ |
| 5. Суглинок туго-<br>полутвердый                                               |  | 0,715 | 0,30  | 161 | 0,17  | 19          | 1,83               | 0,26     | 23             | 1,86                |

числителе соответствуют влажным пескам, а в знаменателе – пескам насыщенным водой.

На рис. 3 представлены графические зависимости силы взаимодействия двух тел от времени с начала динамического контакта. Линии 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 получены при поочередном использовании выражений (1), (2), (3), (4), (5), (6) и (7), а линия 8 получена в [2] при экспериментальных исследованиях, при получении кривых учитывалось, что скорость движения экипажа  $V_0 = 80$  км/ч. Из рис.3 видно, что модельные соотношения (3) и (5) позволяют более точно повторить результаты экспериментальных исследований, а также сделать существенный вывод, что при скоростях  $\approx 80$  км/ч вязкоупругие и упругопластические свойства колесной пары и рельса оказывают существенное влияние на максимум как силы взаимодействия двух тел, так и на продолжительность этого взаимодействия. Последний вывод особенно важен для проектирования высокоскоростных магистралей со скоростями движения более 400 км/ч, при этом необходимо отходить от традиционных контактных моделей.

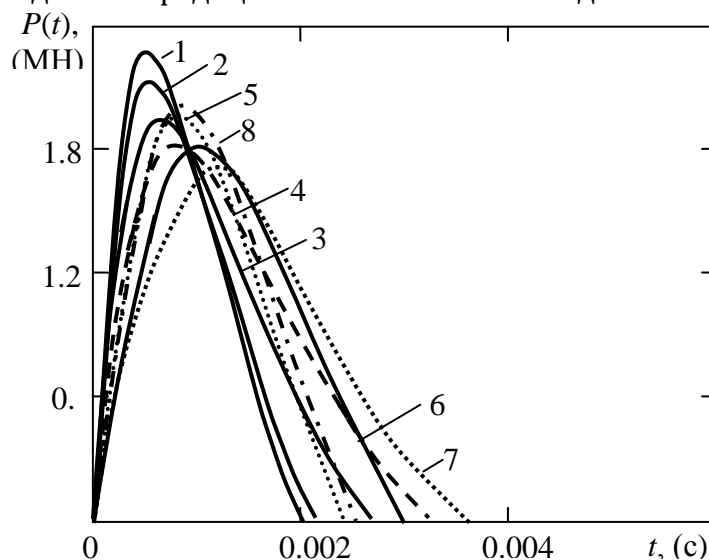
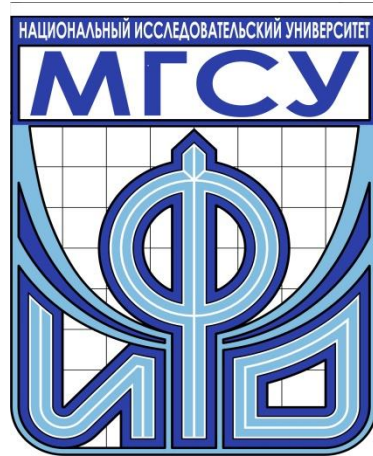


Рис.3 Временная зависимость силы взаимодействия двух тел для разных моделей динамического контакта колесо-рельс

Модификация имеющихся соотношений для контактной силы и местного смятия позволила приблизить получаемые графические зависимости к результатам эксперимента. Предлагаемая модель динамического поведения железнодорожного пути может быть использована для расчета параметров жесткости и устойчивости при проектировании высокоскоростных магистралей и путей для тяжеловесного движения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Agostinacchio M., Ciampa D., Diomedì M., Olita S. Parametrical analysis of the railways dynamic response at high speed moving loads // *Journal of Modern Transportation*, 2013, V. 21, № 3, P. 169 – 181.
2. Fang M., Cerdas S. F., Qiu Ya. Numerical determination for optimal location of sub-track asphalt layer in high-speed rails // *Journal of Modern Transportation*, 2013, V. 21, № 2, P. 103 – 110.
3. Коган А.Я. Взаимодействие колеса и рельса при качении // *Трение и смазка в машинах и механизмах*. – 2008. - №8. С. 26-38.
4. Olsson R., Donadon M.V., Falzon B.G. Delamination threshold load for dynamic impact on plates // *International Journal of Solids and Structures*, 2006, V.43., P.3124-3141.
5. Бирюков Д.Г., Кадомцев И.Г. Упругопластический неосесимметричный удар параболического тела по сферической оболочке // *ПМТФ*. 2005, Т.46., № 1, С. 181-186.
6. Локтев А.А., Вершинин В.В. Моделирование систем противоударной изоляции с вязкоупругими элементами // *Вестник МГТУ им. Баумана. Серия Естественные науки*. N2(42). 2012 – С. 52-63
7. Локтев А.А., Сычева А.В. Исследование динамических характеристик верхнего строения железнодорожного пути при динамическом воздействии // *Наука и техника транспорта*. 2013. №4. – С. 58-64
8. Loktev A.A., Sycheva A.V., Vershinin V.V. Modeling of Work of a Railway Track at the Dynamic Effects of a Wheel Pair // *Proceeding of the 2014 International Conference on Theoretical Mechanics and Applied Mechanics, Venice, Italy, March 15-17, 2014*. – С. 78-81
9. Мазов Ю.Н., Локтев А.А., Сычев В.П. Оценка влияния дефектов колес подвижного состава на состояние железнодорожного пути // *Вестник МГСУ*, 2015. №5. С. 54-65
10. Schonberg W.P. Low velocity impact of transversely isotropic beams and plates / W.P. Schonberg, L.M. Keer, T.K. Woo // *International Journal of Solids and Structures* – 1987. – V.23. – P.871-896.



**СЕКЦИЯ**  
**«ФИЛОСОФИЯ ГОРОДА. ПРОБЛЕМЫ**  
**ОХРАНЫ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ**  
**ПАМЯТНИКОВ ИСТОРИИ И**  
**АРХИТЕКТУРЫ (ИСТОРИЧЕСКИЙ И**  
**КУЛЬТУРОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ)»**



**Т.А. Молокова**

*Заведующий кафедрой истории и философии НИУ МГСУ,  
кандидат исторических наук, профессор, член Российского национального комитета  
ИКОМОС*

## **ЗНАЧЕНИЕ ИЗУЧЕНИЯ АРХИТЕКТУРНЫХ ПАМЯТНИКОВ МОСКВЫ ДЛЯ СТУДЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

### **Аннотация**

В статье рассматривается значение изучения памятников архитектуры Москвы для студентов строительных специальностей. Обращается особое внимание на сохранение и восстановление историко-культурного наследия столицы. Автор отмечает важность проблем восстановления исторически ценной городской среды, проводит сравнительный анализ понятий реконструкции и реставрации архитектурного наследия, показывает необходимость его изучения для будущих специалистов строительной отрасли.

**Ключевые слова:** памятник архитектуры, градостроительный ансамбль, реконструкция, реставрация, восстановление, изучение, охрана.

Памятники культуры - важнейшая составляющая нашей истории, материальные свидетельства многовекового опыта развития человечества. Поэтому не случайно проблемы всестороннего их изучения, знакомства с наиболее интересными, известными и мало изученными памятниками мировой и отечественной истории в последнее десятилетие органично вошли в учебные программы дисциплин "История" и "Культурология", а также разнообразных спецкурсов. Проблема изучения памятников особенно актуальна в строительном вузе, так как приоритет среди их многообразия принадлежит архитектурным и градостроительным, то есть памятникам строительного искусства [1-4]. Кроме этого в учебном процессе особое внимание уделяется проблемам современного строительства, которое сегодня невозможно без реконструкции градостроительных ансамблей, реставрации памятников архитектуры и модернизации зданий, а все это непосредственно связано с работой строителей в исторических центрах, в частности, в центре Москвы, где сосредоточены многочисленные памятники архитектуры и градостроительства.

Одна из сложностей реконструкции исторически ценной городской среды состоит в недостаточной теоретической разработке многих проблем изучения и сохранения архитектурного наследия. Известно, как бездумно уничтожались памятники культуры Москвы в 1920-30-е гг., да и позже в 1970-80-е гг. И лишь в начале XXI столетия наши строители и реставраторы всерьез задумались о решении задачи использования историко-архитектурного наследия как средства сохранения исторического прошлого. Сегодня будущий инженер-строитель уже в студенческой аудитории должен понять, что все специфические мероприятия по охране исторического наследия являются не субъективными предписаниями, а объективными мерами, вытекающими из сущности человеческой культуры.

Понятие "реконструкция" в переводе с латыни означает "возобновление". В строительной деятельности различаются две области этого понятия: 1) перестройка города, архитектурного комплекса, здания, вызванная новыми жизненными требованиями; 2) археологическое восстановление первоначального облика памятника архитектуры. При этом второй вид реконструкции не предполагает практической реализации, а является результатом исследования историков и археологов, которыми должны воспользоваться строители при возобновлении памятника.

Памятником архитектуры может стать не всякая постройка, а лишь произведение строительного искусства. Не представляют историко-культурной ценности многие жилые дома Москвы, построенные в 1960-70-х гг., поэтому сегодня мы являемся свидетелями сноса или реконструкции типовых пятиэтажек, построенных в этот период.

Важным условием причисления того или иного объекта к памятникам является необходимая степень характерности архитектурных форм, которая позволяет достаточно определенно судить об объеме сооружения, его композиции, пропорциях, стиле. примером может служить восстановленный в Китай-городе Гостиный двор, сохранившийся с XVIII в. в том виде, который позволил его реконструировать.

Таким образом, изучение памятников архитектуры в строительном университете в ходе учебного процесса по гуманитарным дисциплинам закладывает основы знаний, непосредственно связанных с будущей специальностью выпускников.

Статья выполнена в рамках гранта РГНФ №15-01-00312/16 «Архитектурные памятники Москвы: прошлое и настоящее».

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Молокова Т.А.* Проблемы развития строительства в курсах «История» и «Культурология» // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: сборник докладов Международной научной конференции. М.: МГСУ, 2013. С.112-116.

2. *Молокова Т.А.* Проблемы охраны культурного наследия в преподавании гуманитарных дисциплин в строительном университете // Актуальные проблемы гуманитарного знания в техническом вузе: Сборник научных трудов IV Международной научно-методической конференции, посвященной 240-летию Горного университета. 31 октября – 2 ноября 2013 г. / Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб., 2013. С.288-291.

3. *Фролов В.П.* Гуманитарные аспекты изучения памятников архитектуры в строительном вузе // Актуальные проблемы гуманитарного знания в техническом вузе: Сборник научных трудов IV Международной научно-методической конференции, посвященной 240-летию Горного университета. 31 октября – 2 ноября 2013 г. / Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб., 2013. С.300-302.

4. *Фролов В.П.* Системный подход к преподаванию истории строительной науки и техники // Современные образовательные технологии в преподавании естественнонаучных и гуманитарных дисциплин: Труды международной научно-методической конференции 27-29 мая 2014 г. / «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – Санкт-Петербург, 2014. - 562 с. С.546-551.

**О.М. Бызова**

*Кандидат исторических наук, доцент кафедры истории и философии НИУ МГСУ*

## **О ПОСЛЕДНЕЙ РЕСТАВРАЦИИ БЛАГОВЕЩЕНСКОГО СОБОРА МОСКОВСКОГО КРЕМЛЯ**

### **Аннотация**

В статье рассматривается основное содержание и результаты комплексных научно-исследовательских и реставрационных работ, произведенных в последнее десятилетие в Благовещенском соборе Московского Кремля.

**Ключевые слова:** архитектура, строительство, реставрация, Московский Кремль, Благовещенский собор.

Сохранение, реставрация уникальных объектов культурного наследия является важнейшей задачей общества и государства, и привлекает внимание исследователей [1-5]. Среди архитектурных памятников Москвы особое место занимает ансамбль Московского Кремля, который включен в Список Всемирного наследия ЮНЕСКО. Плановые реставрационные работы в Кремле начались со второй половины XIX в. В настоящее время научная реставрация кремлевских объектов проводится музеями Московского Кремля. Производству работ по реставрации памятников предшествуют архивные, архитектурно-археологические и натурные исследования. За последние годы в Кремле был осуществлен ряд крупных проектов. Одним из них стала реставрация Благовещенского собора, который на протяжении веков являлся великокняжеской и царской домовою церковью.

Нынешнее здание Благовещенского собора является третьим, возведенным на этом месте. Первое здание собора было построено в конце XIV в., перестроено в начале XV в. В 1482-1483 гг. обветшавший храм был разобран. В 1484-1489 гг. по приказу Ивана III псковскими мастерами на прежнем основании был выстроен новый собор, окруженный со всех сторон галереями-папертями. Собор был увенчан тремя главами. Во второй половине XVI в. на сводах галерей были сооружены четыре придела со своими главами и еще добавлены две главы. Храм стал девятиглавым и приобрел пирамидальное завершение, которое подчеркивают килевидные закомары и кокошники. В XVI в. главы и крышу покрыли золоченой медью, и собор стали называть "златоверхим". Внутренняя роспись включает библейские сюжеты, а также изображения византийских императоров, русских князей, античных философов.

Масштабная реставрация Благовещенского собора была осуществлена в 2006-2010 гг. Проект реставрации был разработан на основе натурных исследований, выполненных авторским коллективом Первой архитектурно-строительной мастерской Центральных научно-реставрационных проектных мастерских (ЦНРПМ). Научный руководитель авторского коллектива - И.В. Калугина, авторы проекта - Г.С. Евдокимов, А.М. Дзисько [6, с.3]. В ходе работ на фасадах была произведена расчистка старых отделочных слоев, починка и реставрация кирпичной кладки и декоративных белокаменных деталей, новая обмазка и покраска стен. На восточном и северном фасадах отреставрирована наружная живопись. Были расчищены и окрашены оконные решетки, заново позолочены медные кровли апсид. На северной и западной галереях собора были восстановлены первоначальные профилированные кирпичные карнизы и архивольты арок, частично переделанные позднее. После завершения реставрации кирпичной и белокаменной кладки на всех фасадах и на барабанах малых глав были проведены отделочные работы: обмазка и покраска. В древнем подклете собора, датируемом

второй половиной XIV в., осуществлены работы по реставрации стен и сводов из белокаменных блоков. В соборе была выполнена реставрация настенной росписи. В интерьерах приделов кирпичные стены и своды очищены от старых отделочных слоёв, отреставрирована кладка [7].

Таким образом, в последние годы был выполнен целый комплекс работ по натурному исследованию и научной реставрации Благовещенского собора Московского Кремля. На основе полученных в ходе исследований данных были выполнены графические реконструкции первоначального вида Благовещенского собора, который изменялся со временем. Раскрытые в ходе реставрационных работ первозданные элементы конструкций и декора были расчищены, частично восстановлены и оформлены в виде экспозиционных зондажей, демонстрирующих сохранившиеся от того или иного строительного периода детали и фрагменты.

Статья выполнена в рамках гранта РГНФ №15-01-00312/16 «Архитектурные памятники Москвы: прошлое и настоящее».

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Молокова Т.А. Проблема сохранения культурного наследия: исторический аспект // Вестник МГСУ. 2007. № 2. С. 13-16.
2. Бызова О.М. Охрана архитектурных памятников Москвы: особенности нормативной базы // Научное обозрение. 2015. № 14. С. 398-401.
3. Гацунаев К.Н. Новые черты в организации строительного дела на Руси (XV-XVI вв.) // Вестник МГСУ. 2010. № 4-3. С. 70-74.
4. Молокова Т. А., Фролов В. П. Памятники культуры Москвы: из прошлого в будущее. М.: Изд-во АСВ, 2007.
5. Правители России и развитие строительства: монография / Молокова Т.А., Бунина Е.В., Бызова О.М. [и др.], под общ. ред. проф. Т.А. Молоковой. М: МГСУ, 2012.
6. Благовещенский собор Московского Кремля: итоги реставрации 2006-2010 годов / Автор текста канд. архитектуры Т.И. Крашенинникова ; науч. ред. д-р искусствоведения А.Л. Баталов. М., 2011.
7. Музеи Московского Кремля. <http://www.kreml.ru/research/research-and-projects/muzei-moskovskogo-kremlya--25-let-v-yunesko-rezultaty-issledovaniy-i-itogi-restavratsii/> (Дата обращения 21.04.2016 г.).

**К.Н. Гацунаев**

*Кандидат философских наук, доцент кафедры истории и философии НИУ МГСУ*

## **ДОМ Ф.О. ШЕХТЕЛЯ НА БОЛЬШОЙ САДОВОЙ УЛИЦЕ КАК ИТОГ ЭВОЛЮЦИИ ТВОРЧЕСКОГО МЕТОДА МАСТЕРА**

### **Аннотация**

Доклад посвящен принципиально важной постройке Ф.О. Шехтеля - дому на Большой Садовой улице. В последнем из построенных зодчим домов для своей семьи были воплощены композиционные, декоративные и организационно-технические принципы, ставшие итогом всего творческого пути мастера. На рубеже XX - XXI веков дом, сильно пострадавший в 1991 году, был отреставрирован по инициативе фонда "Стратегия".

**Ключевые слова:** архитектура, композиция, кредо, особняк, система декора, социокультурный феномен, творческий метод, Ф.О. Шехтель

Московская архитектура рубежа XIX – XX веков стала объектом пристального научного интереса. Как архитектурному процессу в целом, так и творчеству крупнейшего мастера эпохи московского модерна – Ф.О. Шехтеля, посвящены фундаментальные монографии и научные статьи. В частности, следует отметить работы Е. И. Кириченко [1], М. Фединой [2], М.В. Нащокиной [3,4], Т.А. Молоковой и В.П. Фролова [5]. В поле зрения исследователей попадает неоклассицистическая версия модерна и, в целом, влияние античного наследия на русскую архитектуру XIX – XX веков. Этим проблемам посвящены отдельные работы М.В. Нащокиной [6], Т.А. Молоковой и В.П. Фролова [7]. В контексте данной статьи, эти исследования представляют несомненный интерес, поскольку последний дом Ф.О. Шехтеля был построен именно в стилистике неоклассицизма.

Следует отметить значительность этой постройки в категории жилых домов совершенно особого рода, а, именно, зданий, спроектированных и построенных архитекторами для самих себя. Подобная деятельность была свойственна многим московским предшественникам Ф. О. Шехтеля. Известны примеры таких сооружений, выполненных В.И. Баженовым, М.Ф. Казаковым, А.Г. Григорьевым и, даже в советский период – К.С. Мельниковым. Одной из главных задач при проектировании дома для себя становится выражение личностного самосознания и понимания своего места в мире, представление о личности как о самоценном и неповторимом явлении. Собственные дома архитекторов, как правило, отмечены ярко выраженным индивидуальным началом и воплощением творческого программного кредо.

Новое здание, несмотря на наличие приставных дорических колонн, отличается от большинства неоклассических построек, распространившихся в начале XX столетия. В композиции ощущается свойственная модерну и чуждая неоклассицизму приверженность к сложным ритмическим соответствиям, взаимоисключающим характеристикам, контрастным сочетаниям симметрии и асимметрии. Облик здания многообразен и декларативен. Использование ордера возрождает строгий и простой образ архитектуры эпохи классицизма. При этом отсутствует прямое цитирование, буквальное воссоздание приемов, применяемых зодчими послепожарной Москвы. На облик здания повлияли не какие-то конкретные постройки О. Бове, Д. Жилярди или А.Г. Григорьева. Речь идет о метафорическом переосмыслении московского ампирического наследия в целом. Композиционное решение фасада отражает умонастроения тревожной, предреволюционной эпохи. Степень зрелости мастера, накопленный организационный опыт с

блеском проявились в процессе строительства дома на Большой Садовой. Если разрешение на строительство было оформлено лишь в 1909 г., то к концу августа 1910 г. здание фактически было готово. То есть, весь цикл строительных работ был выполнен в течение одного сезона. Такой темп ведения работ был обусловлен предварительным согласованием всех условий с подрядчиками и поставщиками строительного оборудования. Шехтель в этом процессе проявил себя не только как архитектор, дизайнер, организатор, но и как инженер. Здание имело систему парового отопления, выполненную по проекту хозяина дома. Все элементы и части здания говорят о стремлении автора проекта создать семейное гнездо для человека, в полной мере реализовавшего свои творческие возможности, и мастера, который более не чувствовал необходимости кому-либо что-либо доказывать, а стремился достойно встретить старость именно в этом доме.

В ходе эксплуатации здания на Большой Садовой сменявшимися друг друга владельцами (а в их числе были – глава ОСОАВИАХИМа Р.П. Эйдеман и знаменитый скульптор И. Д. Шадр) фасады сохранились почти полностью за исключением отдельных фрагментов кованого ограждения балкона. Однако, в начале 1990-х гг. здание на некоторое время оказалось бесхозным и подверглось варварскому опустошению. Большая часть интерьера была уничтожена. Невосполнимой утратой стала разборка и уничтожение имевшейся в холле открытой парадной лестницы, ведущей на антресоли. Простые кессоны потолка столовой, выполненные Шехтелем, еще во время переделок 1930-х гг. были заменены пышной лепниной. Однако и она была уничтожена в начале 1990-х гг.. После того, как здание было передано фонду «Стратегия», по его инициативе был осуществлен комплекс ремонтно-восстановительных и реставрационных работ.

Статья выполнена в рамках гранта РГНФ №15-01-00312/16 «Архитектурные памятники Москвы: прошлое и настоящее».

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Кириченко Е.И.* Архитектурное наследие Федора Шехтеля в Москве. – М.: Издательский дом Руденцовых, 2009. – 360 с.
2. *Федина М., Кириченко Е., Сайгина Л. и др.* Архитектурная сказка Федора Шехтеля: к 150-летию со дня рождения Мастера. – М.: Русский импульс, 2010. – 264 с.
3. *Нащокина М.В.* Архитекторы московского модерна. Творческие портреты. – 3-е изд. – М.: Жираф, 2005. – 560 с.
4. *Нащокина М.В.* Московский модерн – 3-е изд., пересм., испр. и доп. – СПб.: Коло, 2011. – 792 с.
5. *Молокова Т.А., Фролов В.П.* Памятники культуры Москвы: из прошлого в будущее. 2-е изд., испр. и доп. - М.: Изд-во АСВ, 2010. - 168 с.
6. *Нащокина М.В.* Античное наследие в русской архитектуре николаевского времени. – М.: Прогресс – Традиция, 2011. – 776 с.
7. *Молокова Т.А., Фролов В.П.* Влияние итальянской архитектуры на градостроительство России // Вестник МГСУ, № 4, 2011, с. 128-134.

**М.Г. Ефремова**

*Кандидат исторических наук, доцент кафедры истории и философии НИУ МГСУ*

**В.В. Азупова**

*Студентка ИСА НИУ МГСУ*

## ПАМЯТНИКИ АРХИТЕКТУРЫ ГОРОДА ВОРОНЕЖА

### **Аннотация**

В статье говорится о строительстве г. Воронежа, его роли в истории России, рассматриваются наиболее значимые памятники архитектуры города.

**Ключевые слова:** Воронеж, архитектура, флот, строительство, памятники истории.

Город Воронеж построен на берегах реки Воронеж, недалеко от ее впадения в реку Дон. Воронеж сыграл важную роль в Российской истории: много раз враги пытались его захватить, разрушали, но город возрождался, восстанавливался, становился в ряд наиболее значимых экономических, научных и культурных центров России. Официальной датой рождения города считается 1585 г., в этом году на берегах реки была воздвигнута небольшая крепость. Более чем через сто лет, а именно в 1696 г., Воронеж по указу Петра I, стал центром кораблестроения [1]. Благословение на строительство флота Петр I получил от своего духовного наставника и друга первого епископа воронежского Святителя Митрофана. С воронежских верфей были спущены на воду первые корабли российского флота, удивившие Европу и устранившие Азию.

Постепенно город рос, становясь промышленным центром России, здесь строились мануфактуры, мастерские, заводы. Некоторое время Воронеж играл роль второй столицы России: в городе жил царь Петр со своим двором, находились представительства европейских государств, здесь, как и в Москве, появилась немецкая слобода. В начале XVIII в. его население составляло 60 тыс. человек [2]. В 1711 г. Воронеж стал административным центром Азовской губернии. В 1725 г. эта губерния получила название Воронежской, ее территория простиралась на северо-востоке до Волги, на юге до Азовского моря. В 1928 г. Воронеж стал центром Центрально-Черноземной области, в 1934 г. была создана Воронежская область как самостоятельная административно-территориальная единица.

В годы Великой Отечественной войны с июля 1942 по январь 1943 гг. Воронеж был основным местом сражения с немецко-фашистскими войсками на Верхнем Дону. Городу был нанесен огромный ущерб. 6 мая 1975 г. за мужество и героизм в годы Великой Отечественной войны и трудовые успехи Воронеж был награжден орденом Отечественной войны I степени, в 2008 г. удостоен почетного звания «Город воинской славы». Сегодня Воронеж – один из крупных промышленных, научных и культурных центров России

Воронеж часто называют городом-первопроходцем. Так, 2 августа 1930 г. здесь впервые в СССР была осуществлена высадка войскового десанта. Этот день считается в России днем рождения воздушно-десантных войск. На заводах города был создан двигатель для космического корабля «Восток», на котором в 1961 г. осуществил свой первый космический полет Ю.А. Гагарин. Здесь были построены сверхзвуковой пассажирский самолет ТУ-144, знаменитый аэробус – ИЛ-84 и др.

Воронеж – город поэтов и писателей. Здесь родились А.В. Кольцов, С.Н. Никитин, И.А. Бунин, С.Я. Маршак и др. Многим из них в Воронеже поставлены памятники. В со-

ветское время Воронеж был местом ссылки диссидентов. Среди них был О. Мандельштам, для которого Воронеж стал не только тюрьмой, но и местом вдохновения - именно здесь поэт создал большую часть всех своих стихов. [3].

Воронеж - город удивительный! Здесь находятся памятники истории и архитектуры различных периодов развития города.

Самый древний храм Воронежа - Благовещенский собор. Первый деревянный храм с таким названием появился в городе в конце XVI в. Во второй половине XVII в. на его месте построили каменный собор. В нем присутствовал на Литургии и Пасхальной службе в 1696 г. Петр Великий, бывший в Воронеже по военным делам. В XIX в. к храму пристроили высокую колокольню, рядом возвели Митрофановский монастырь, вместе с собором они составляли единый архитектурный ансамбль, украсивший город. В XX в. собор пережил самые сложные и трагические времена. В 1919 г. его закрыли, а архиепископа Тихона, будущего священномученика, повесили на воротах храма большевики. Мощи святого Митрофана, одну из главных реликвий храма, тогда же перенесли в краеведческий музей. В Великую Отечественную войну собор пострадал от бомбежек, а в начале 50-х годов XX в. его развалины снесли. Благовещенский кафедральный собор - главный храм Воронежа был заново отстроен на новом месте по проекту архитектора В.П. Шевелёва (1998-2009 гг.). Освящал строительство Патриарх Алексей II, а принимал работу уже Патриарх Кирилл. Высота храма — 85 м, а его высшей точки — 97 м. Сегодня он входит в тройку самых больших и высоких храмов России и православного мира, поражает великолепием, размахом и возрождает традиции русско-византийского церковного стиля.

В 1736 г. в центре Воронежа был возведен каменный Покровский собор по проекту архитектора И.А. Блицына в стиле классицизма. В 1932 г. Покровский собор был закрыт, здесь разместили антирелигиозный музей, просуществовавший до 1942 г. В 1948 г. собор был передан русской православной церкви. [4].

Уникален главный железнодорожный вокзал Воронежа, он был построен в 1868 г. В 1895 г. вокзал и площадь были перестроены по проекту архитектора Н.А. Артёмовского. В 1942 г. здание вокзала было разрушено фашистами, в 1945 г. для вокзала построено временное сооружение. В 1954 г. было возведено новое здание железнодорожного вокзала по проекту известного советского архитектора К.С. Алабяна в стиле сталинского ампира. В 1990 г. вокзал был отреставрирован, на фасаде появились новые бронзовые скульптуры рабочих взамен старых.

Здание Управления Юго-Восточной Железной дороги в Воронеже - величественное сооружение, увенчанное высоткой. Оно построено в 1949-1952 гг. по проекту архитектора Н.В. Троицкого в стиле сталинского ампира и является одним из крупнейших подразделений РЖД.

Дом «Утюжок» - одно из примечательных зданий Воронежа. До революции на этом месте, на узкой полоске земли располагались торговые ряды. Территория, на которой стоял дом, напоминала клин, или утюг, и поэтому была прозвана «утюжком». В советское время дом был снесен, и на его месте в 1932 г. построено новое здание в стиле конструктивизма по проекту архитектора А.И. Попова-Шамана. В 1942 г. «утюжок» был стерт с лица земли во время бомбежки фашистской авиацией. В 1950-х г. его отстроили заново по проекту архитектора В.С. Левицкого [5].

Достопримечательностью города является Каменный мост. История его строительства связана с тем, что здесь тащили готовые корабли, которые строились на верфи по приказу Петра I. В итоге получилась рытвина, или овраг, через который перекинули мост. Рядом с Каменным мостом находится еще один памятник истории и архитектуры - здание бывшего Александринского детского приюта. Вместе они составляют единый архитектурный ансамбль.



Воронеж немыслим без памятника Петру I. В 1860 г. по проекту скульптора А.Е. Шварца, архитекторов А.А. Кюи и Д.И. Грима в Петровском парке бы установлен памятник Великому российскому императору. Рядом с памятником находятся пять корабельных орудий, как символы российского флота.

Это лишь малая часть памятников истории и архитектуры одного из старейших городов России - Воронежа. Город продолжает жить, застраиваться, при этом его жители бережно относятся к историческому наследию своего края.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Правители России и развитие строительства: монография / Т.А. Молокова [и др.]. Под общей редакцией Т.А. Молоковой. М., 2012. 296 с.
2. Акиншин А.Н., Ласунский О.Г. Два века воронежского краеведения: люди, труды, события: краткий обзор. Воронеж, 2000. 60 с.
3. Шулепова Э.А., Чернявская Е.Н., Старцева Т.С. Историко-культурное наследие Воронежа. Воронеж, 2000. 575 с.
4. Воронеж. История края в его музеях. Воронеж, Поларис. 2007. 96 с.
5. Загоровский В.П. Воронеж: историческая хроника. Центр. - Чернозем. кн. изд-во. 1989.

**А.А. Мурашев**

*Кандидат исторических наук, доцент кафедры истории и философии НИУ МГСУ*

## **НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СТРОИТЕЛЬСТВА РУССКИХ ДВОРЯНСКИХ УСАДЕБ В РАБОТАХ БАРОНА Н.Н.ВРАНГЕЛЯ**

### **Аннотация**

Статья посвящена жизни и творчеству замечательного искусствоведа барона Н.Н. Врангеля. История русской усадьбы (XVIII–начала XIX вв.) рассматривается на основе его книги «Помещичья Россия».

**Ключевые слова:** барон, Врангель, усадьба, Ринальди, Кусково, Ляличи, Почеп, Яготин

Барон Николай Николаевич Врангель родился 2 июля 1880 года в усадьбе Головкивка в Чигиринском уезде Киевской губернии Российской империи. Это был второй сын – первенец Петр, будущий «черный барон» Белого движения, появился на свет двумя годами ранее, – в семье баронессы Марии Дмитриевны и Николая Егоровича Врангелей.

Вскоре семья баронов Врангелей переезжает в Ростов-на-Дону, где глава семейства получил место представителя Русского Общества пароходства и торговли.

Воспитанием детей занималась мать – Мария Дмитриевна. Баронесса была «видною общественною деятельницею Ростова в области заботы о молодых девицах, в области просвещения», она открыла при Александровском женском начальном училище на собственные средства послеобеденное училище и воскресную школу. Не осталась в стороне баронесса Врангель и от идеи создания в городе бесплатной библиотеки-читальни, чтобы открыть «доступ к чтению низшим, беднейшим классам городского населения, тем более что такого рода народная потребность по справедливости должна быть удовлетворена».

Мария Дмитриевна направляла и домашнее образование своих детей. Старший сын Петр 6 августа 1892 года был определен в Петровское реальное училище. Вслед за Петром реалистом стал и Николай. «Врангель был живым и умным мальчиком, – вспоминал его одноклассник Сергей Сватиков, – Его педагоги, его товарищи по реальному училищу могли бы рассказать сотни историй о его шалостях, затеях и предприятиях, которые всегда происходили в течение всего его пребывания в училище». Уже тогда Николай-младший заинтересовался историей, литературой, – писал редактор-издатель журнала «Старые годы» П.П.Вейнер, – стал «близко приглядываться к искусству; к последнему его с ранних лет приохотил отец, постоянно интересовавшийся стариною и лично составивший хорошее собрание картин и миниатюр» [1].

В конце 1890-х годов семья уезжает в Петербург, где барон Н.Е.Врангель довольно быстро вписался в предпринимательскую элиту северной столицы, войдя в состав правлений ряда крупнейших акционерных обществ: Российского золотопромышленного общества, АО Русских электротехнических заводов «Сименс-Гальске», Товарищества спиртоочистительных заводов и др.

Старший сын Петр поступил в Горный институт императрицы Екатерины II, а младший учился в IV Петербургском реальном училище. Слабое здоровье, однако, не позволило закончить учебу – Николая, перенесшего воспаление легких, увезли в Западную Европу.

Пребывание за границей – церкви, музеи, дворцы, галереи – способствовали художественному развитию юноши.

Вернувшись в Россию, Николай – в отличие от старшего брата Петра, избравшего карьеру военного, – окупился в «мир искусства», русского искусства – от Петра I до Александра II. Полтора века русской культуры... «Вся эта культура, весь этот быт, все это прошлое, столь близкое по времени, – писал Николай Николаевич, – теперь, с каждым годом, кажется, будто удаляется на несколько столетий. И как чужда, непонятна и далека казалась людям Екатерининского века быль их прадедов времен Алексея Михайловича, так навсегда безвозвратно ушел быт крепостной России, живший полтора столетия. И потому, быть может, – замечает барон Н.Н. Врангель, – нежно ласкает и манит нас старая повесть о дедушках и бабушках, об арапах и крепостных, о мебели красного дерева и о домах с колоннами на берегу сонных прудов» [2].

В 1902 году в залах петербургской Академии художеств открылась «Выставка русской портретной живописи за 150 лет (1700–1850)» – из собраний известных коллекционеров Е.Г. Шварца, А.З. Хитрово, С.С. Боткина, князя В.Н. Аргутинского-Долгорукова и др. – устроенная трудами барона Н.Н. Врангеля. На выставке экспонировались «портреты неизвестной» (два – работы Г. Дау, один – М. Терebeneва) «из собрания барона Н.Е. Врангеля». В справке к портрету И.А. Ганнибала кисти Д. Левицкого были указаны две копии, одна из которых «находится в собрании барона Н.Е. Врангеля».

«Каталог» [3], подготовленный организатором выставки, удостоился высокой оценки А.Н. Бенуа: «отлично изданный и содержащий массу сведений» [4]. Организация выставочной деятельности серьезно увлекла Н.Н. Врангеля, ни одна из скольких-нибудь значительных выставок, проводившихся в столице после 1902 года, не проходила без непосредственного участия барона в ее работе – «Старый Петербург» (1903), «Историко-художественная выставка русских портретов в Таврическом дворце» (1905) [5].

В грандиозную экспозицию Таврической выставки (более 2200 номеров по каталогу, в редактировании которого участвовали С. Дягилев, А. Бенуа и барон Н. Врангель) были включены портрет И.А. Ганнибала кисти Д. Левицкого (из Гатчинского дворца), портреты А.С. Пушкина художников О. Кипренского (собств. А.А. Пушкина) и В. Тропинина (собств. князя В.В. Оболенского), акварельный портрет поэта работы П. Соколова (собств. А. Бахрушина) и его жены работы А. Брюллова (собств. М.А. Гартунг), пастельный портрет Н.А. Загряжского (собств. А.П. Араповой) – мужа Натальи Кирилловны Загряжской, чье общество и рассказы о минувших временах ценил А.С. Пушкин, впоследствии записавший их в «Table talk».

Экспонировались и портреты «спутников Пушкина» из коллекции барона Н.Е. Врангеля: знаменитая «la princesse Moustache» княгини Н.П. Голицыной работы Митурара, портреты Г.Р. Державина работы Тончи, К.Н. Батюшкова работы О. Кипренского и А.И. Траубенберга. Дед Николая Егоровича, к слову, приходился внуком генерал-майору М.М. Траубенбергу, погибшему в январе 1772 году в ходе казацкого бунта в Яицком городке. А.С. Пушкин упоминает о нем в «Капитанской дочке» и «Истории Пугачева».

Не менее панорамной должна была стать и подготовленная (но, увы, несостоявшаяся) осенью 1908 года при участии неутомимого барона Н.Н. Врангеля выставка картин журнала «Старые годы». Среди картин, отобранных у столичных коллекционеров (в Петербурге обследовано около 100 частных собраний, в Москве аналогичную работу проводил И.Э. Грабарь) для выставки: «Пейзаж» (худ. Т. Гэйнсборо; соб. П.А. Сабурова), «Портрет графа А.И. Воронцова» (худ. Д.Г. Левицкий; соб. А.К. Болдырева), «Явление Христа народу» (худ. А.А. Иванов; соб. М.П. Боткина), «Мужской портрет» (худ. Х. ван Р. Рембрандт; соб. княгини З.Н. Юсуповой), «Мадонна» (худ. Л. да Винчи; соб. Л.Н. Бенуа), «Голова Христа» (худ. Х. ван Р. Рембрандт; соб. Е.И.В. Великого князя Константина Константиновича), «Бегство в Египет» (худ. Я. Йорданс; соб. графини Е.В. Шуваловой), «Охо-

та на кабана» (худ. П.-П. Рубенс; Английский дворец в Петергофе) [6]... Из собрания барона Н.Е. Врангеля, отца комиссара выставки, были представлены «стул» и картины: «Граф А.А. Аракчеев» (худ. Лампи-отец), «И.Л. Голенищев-Кутузов» (худ. Ф.С. Рокотов), «Триптих» (школы Мемлинга), «Старый замок» (худ. Г. Петерс), «Портрет неизвестного» (худ. Я. Тинторетто), «Бойня в Риме» (худ. П. ван Лаар), «Огород» (худ. Я. Гриммер) и др.

Между тем, в 1906 году барон Николай Врангель поступил на службу в Императорский Эрмитаж. Он продолжает работать в архивах, обследует частные коллекции – журнальные публикации в «Искусстве», «Русском архиве», «Русской старине»... Растущая известность в художественных кругах. В.А. Верещагин, один из инициаторов создания журнала «Старые годы», вспоминал: «Врангеля сначала между нами еще не было, хотя он был уже известен художественным кругам удивительную трудоспособностью. Эта репутация исключительной трудоспособности барона Н.Н. Врангеля (для друзей «Кока» – А.М.), значительно опередившая славу его таланта, побудила меня обратиться к нему с просьбой о сотрудничестве. Со свойственной ему горячей отзывчивостью, он согласился» [7]

В 1907-м, во второй книжке журнала появилась статья «Забытые могилы» (*Les tombes oubliées, par le baron N. Wrangel*). А в 1909-м «Старые годы» известили читателей о планах редакции посвятить один из выпусков журнала описанию «старинных дворянских усадеб». В июле барон Н.Н. Врангель – «ученый малый, но педант» – составляет маршрут поездки по усадьбам. Начинает с окрестностей Петербурга – «Потемкинская дача» на станции «Островки», мыза «Пелла», принадлежавшая Савве Яковлеву и др.

В августе отправляется в панорамное путешествие (вместе с А.А. Трубниковым и С.К. Маковским) по подмосковным усадьбам: «Никольское» князя Голицына, «Покровское» княгини Шаховской-Глебовой-Стрешневой... Вслед за тем – «дворянские» гнезда в Калужской, Орловской, Рязанской и Тульской губерниях.

Осенью 1910 года читатели «Старых годов» получили строенный номер (июль–сентябрь) – «Старые усадьбы. Очерки русского искусства и быта». Его открывал цикл очерков барона Н.Н. Врангеля «Помещичья Россия» Эта работа составила основу представленного в Академии наук доклада А.Ф. Кони о выдвижении на награждение золотой медалью А.С. Пушкина редакции журнала «Старые годы», издававшегося в Петербурге в начале XX века «для любителей искусства и старины». 15 марта 1911 года по решению Императорской Академии наук состоялось вручение Пушкинской медали.

Так медалью «потомка негров безобразных» – по Отделению русского языка и словесности – был награжден прапраправнук «арапа Петра Великого» [8].

Между тем, цикл очерков барона Н.Н. Врангеля примечателен и тем, что это было едва ли не первое исследование по истории русской усадьбы.

Прежде всего, поражает масштабность – в статье упоминается более чем 130 дворянских усадеб, дополненных прелестными характеристиками их владельцев. Особый, временной колорит, придают главы – «Убранство комнат и любимые предметы», «Искусство крепостных».

Впечатляет и географический охват – в очерках рассказывается не только о пристоличных усадьбах и дачах («Горенки», «Дубровицы», «Кусково» – «Красная Мыза», «Мариенгоф», «Медное» и др.), но и провинциальных «дворянских гнездах» – «Вишенки» и «Почеп» (Черниговская губерния), «Белая Церковь» и «Козацкое» (Киевская губерния), «Грузино» (Новгородская губерния), «Мансурово» (Калужская губерния), «Надеждино» (Саратовская губерния) и др.

Исторический обзор начинается с XVI столетия. Скрупулезно исследуются «весьма отрывочные» сведения о дворянских усадьбах допетровской Руси в писцовых книгах, сочинениях А. Олеария, барона А. Мейерберга, И. Корба, С. Полоцкого, Т. Боло-

това. «Можно смело сказать, – пишет барон Н.Н. Врангель, – что до царствования Анны Иоанновны, то есть до середины XVIII века, русская глухая провинция и деревня почти не изменились с конца XVI столетия, и, – как подчеркивает Николай Николаевич, – сельский быт среднего помещика был таким же, как в дореформенной Руси» [9, с. 38]

Особо выделяются царствования племянницы и дочери Петра Великого, когда «Россия вступила на новый путь поклонения пышной красоте и торжественной роскоши», и «провинция, как и всегда, с некоторым опозданием, следовала городской моде». Но – не без грусти пишет Николай Николаевич – вся первая половина XVII века осталась до сих пор загадкой в истории русских помещичьих усадеб. И далее барон Н.Н. Врангель с сожалением констатирует, – До нас не дошло целиком сохранившихся деревенских домов этой эпохи...» [9, с. 40–41]. Впрочем, замечает барон Н.Н. Врангель, «остовы и фасады домов – интересный материал для истории строительства в России».

Особо отмечен Н.Н. Врангелем заметный вклад иностранных архитекторов в строительство русских дворянских гнезд в екатерининское время – «Ринальди строил Батуриным (1755) для графа К.Г. Разумовского, Деламот – Почеп, Фельтен – дворец Чесменского (1780), Вальи – Кусково (1788), Кваренги – Степановское, Ляличи, Останкино, усадьбу М.П. Миклашевского в его черниговском имении, дачу князя Гагарина, Менелас – Яготин» [9, с. 43].

Однако, подчеркивает барон Н.Н. Врангель, почти во всех дворянских усадьбах встречаются явные черты вполне конкретных вкусов их владельцев и обитателей: «помещик Дурасов построил свой подмосковный дом Люблино в виде ордена св. Анны и со статуей этой святой на крыше – в память получения им давно желаемого отличия. И, что всего курьезнее, дом вышел совсем красивый и до сих пор является одним из милых подмосковных памятников не только русского чудачества, но и вкуса» [9, с. 44].

Рассматривая эволюцию архитектурных стилей, барон Н.Н. Врангель отмечает, что «параллельно с увлечением строгими формами классицизма, так оригинально и в то же время хорошо идущими к русской природе, в последней четверти XVIII века стали возводиться во множестве постройки более экзотического характера, так как все, что шло вразрез с прямыми линиями empire, казалось тогда замысловатым, причудливым и сказочным. Николай Николаевич пишет: «В типе готики à la Louis XVI, если можно так выразиться, построена Чесма (1780) Орловым, Вишенки (1769) – Румянцевым, Островки – Потемкиным. В 30-х годах XIX столетия, – отмечает барон Врангель, – при увлечении романтизмом множество помещичьих усадеб были также построены в так называемом “рыцарском” стиле (например, бенкендорфский Фальс – А.М.), наподобие замков феодальных...» [9, с. 44].

Названия заключительных глав «Помещичьей России» – «Развал», «Остатки прошлого» – отнюдь не случайны. Как не случайно и то, что вернувшись из поездки по «дворянским гнездам» барон Н.Н. Врангель принял самое деятельное участие в организации и практической деятельности учрежденного в 1909 году «Общества защиты и сохранения в России памятников искусства и старины», коего секретарем оставался вплоть до своей смерти в июне 1915 года...

Современные исследователи в своих работах уделяют большое внимание проблемам исследования, сохранения, реставрации и возрождения памятников усадебной архитектуры [10-15]. Изучение творческого наследия и деятельность Н.Н. Врангеля в этой сфере представляют несомненный интерес.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вейнер П.П. Барон Н.Н. Врангель. Биографический очерк // Венок Врангелю. От Общества защиты и сохранения в России памятников искусства и старины. Пг., 1916. С. 14.

2. *Врангель Н., бар.* Помещичья Россия // Памятники Отечества. Мир русской усадьбы. 1992. № 25. С. 52.
3. Подробный иллюстрированный каталог выставки русской портретной живописи за 150 лет (1700–1850). СПб., 1902.
4. *Бенуа А.Н.* Мои воспоминания. Кн. IV–V. М., 1990. С. 402.
5. Краткая летопись жизни и творчества Н.Н.Врангеля // Врангель Н.Н., бар. Свойства века: Статьи по истории русского искусства. СПб., 2000. С. 249–253.
6. Каталог выставки журнала «Старые годы». СПб., 1908. №№ 58, 115, 141, 282, 283, 290, 300, 432.
7. *Верещагин В.А.* Врангель и «Забытые могилы» // Венок Врангелю. С. 63–64.
8. *Кронер Э., Мурашев А., d'Ensky U.-U.* Петр и Николай. Бароны Врангели. Улан-Удэ, 2014. С. 49.
9. *Врангель Н.Н., бар.* Помещичья Россия. СПб., 2007.
10. *Молокова Т.А., Фролов В.П.* Памятники культуры Москвы: из прошлого в будущее. М.: МГСУ, 2007. 168 с.
11. Правители России и развитие строительства / Молокова Т.А., Бунина Е.В., Бызова О.М., Гацунаев К.Н., Ефремова М.Г., Мурашев А.А., Пантелеева Т.Л., Посвятенко Ю.В., Фролов В.П., Четырина Н.А. / Под ред. Т.А. Молоковой. М.: МГСУ, 2012. 296 с.
12. *Фролов В.П.* Возрождение памятников усадебной архитектуры // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании. Сборник материалов Международной научной конференции / Отв. ред. Т.И. Квитка, И.П. Молчанова. М.: МГСУ, 2015. С. 687-689.
13. *Фролов В.П.* Особенности московского усадебного строительства (XVIII-XIX вв.) // Духовная жизнь российских региональных сообществ: история, традиции, современность. Сборник статей IV Международной научной конференции. Казань, 2015. С.277-281.
14. *Ефремова М.Г.* Новаторские элементы в архитектурном ансамбле Измайлово (вторая половина XVII в.) // Научное обозрение. 2015. № 21. С. 46-49.
15. *Посвятенко Ю.В.* Прошлое и настоящее московских усадебных комплексов // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании. Сборник материалов Международной научной конференции / Отв. ред. Т.И. Квитка, И.П. Молчанова. М.: МГСУ, 2015. С. 684-686.

**Ю.В. Посвятенко**

*Кандидат исторических наук, доцент кафедры истории и философии НИУ МГСУ*

## **ХАРАКТЕРНЫЕ ЧЕРТЫ МОДЕРНА В ТВОРЧЕСТВЕ Ф.О. ШЕХТЕЛЯ (НА ПРИМЕРЕ ЯРОСЛАВСКОГО ВОКЗАЛА)**

### **Аннотация**

Статья посвящена характеристике творчества великого русского архитектора Ф.О. Шехтеля. Показана его роль в развитии романтического направления русского модерна на примере Ярославского вокзала.

**Ключевые слова:** русский модерн, неорусский стиль, Ярославский вокзал, Ф. Шехтель.

Творчество выдающегося архитектора Ф.О. Шехтеля (1859-1926) сегодня широко известно. Но только во второй половине XX в. его творческое наследие стало предметом детального изучения специалистов разных отраслей науки [1-4,9]. В них подробно описаны творческий путь, поиск новых выразительных форм в архитектуре поколением специалистов эпохи русского модерна. Гораздо меньше информации посвящено его вкладу в создание некоторых общественных сооружений, в частности, Ярославского вокзала, который, несмотря на неоднократные трансформации, сохранил общий замысел автора.

Одним из примечательных решений в традициях русского Севера были павильоны Нижегородской торгово-промышленной ярмарки 1896 г., спроектированные и декорированные К. Коровиным после поездки группы русских художников на Север, организованной знаменитым предпринимателем и благотворителем С. Мамонтовым [5.С.19.]. Яркие самостоятельные работы автора в новом стиле модерн появились в период с 1900 по 1909 гг. Наиболее ранними и известными среди них были особняки Д. Дерожинской в Кропоткинском переулке, С. Рябушинского на Спиридоновке и Ярославский вокзал [6].

История возникновения Московско-Троицкой (позже Московско-Ярославской) железной дороги и здания первого вокзала восходит к деятельности инженера А.И. Дельвига и профессора МГУ, видного общественного деятеля и предпринимателя Ф.В. Чижова. Ф. Чижов считал, что необходимо «.. извлечь огромные богатства из Крайнего Севера, которые гибнут благодаря нашей не предприимчивости и кулачеству маклаков, промышленяющих на Севере» [7. С.93-102]. Первоначальное здание вокзала, созданное столичными архитекторами Р. Кузьминым и С. Шустовым, со временем перестало отвечать требованиям все возрастающего потока пассажиров. Заказ на обновление Ярославского вокзала Ф. Шехтель получил после международной выставки 1901 г. в Глазго, где был автором русских павильонов [8].

Здание вобрало в себя не только прежние объемы вокзала, но и сразу несколько направлений модерна. Внешний облик шехтелевской постройки выполнен в романтическом неорусском стиле. Иерархическая соподчиненность объемов строится вокруг доминирующего вертикального объема, башни с теремной кровлей и арки главного фасада, которые объединяют все сооружение вокзала единым замыслом. Внешний облик главной башни вокзала с центральным ризалитом и стилизованными декоративными башнями олицетворяет суровость Севера, его могущество над человеком. Боковые башни, подчиняясь логике автора, олицетворяют узнаваемые образы объединенных железной дорогой северных городов. В то же время, несмотря на характерную для модерна асимметрию, здание вокзала представляет собой целостное единство. Такое впечатление складывается при первом взгляде на это сооружение. Не случайно, многие исследователи отмечают напряженный характер воздействия вокзала на зрителя. Такой эффект достигался намеренным укрупнением некоторых элементов его построек. Благодаря этому, Ф.О. Шехтель не столько вписывал свое сооружение в городскую среду, сколько противопоставлял его ей. При

этом щипцовые кровли древнерусских палат главной башни в сочетании крупными элементами орнаментальных деталей обращают на себя первостепенное внимание, олицетворяя национальный характер сооружения.

В отличие от представителей предшествующей эклектики (т.н. русского стиля) автор не стремился копировать известные элементы древнерусских образцов архитектуры, а пытался использовать образы прошлого в их эмоциональном истолковании [9. С.26.] Облик вокзала должен был символизировать связь Москвы с далекими окраинами страны, их несомненное единство. В руках опытного и талантливого художника задача оформления внешнего облика вокзала воплотилась в оригинальных формах, сочетающих в себе разнообразные материалы – штукатурку, плитку, облицовочный кирпич и т.д.

Интерьеры Ярославского вокзала были продуманы Ф.О. Шехтелем в более сдержанном направлении франко-бельгийского модерна. Их оформление было связано с использованием картин К. Коровина. Тематика, подчиненная картинам повседневной жизни русского Севера, дополняла образ сурового края. Внутренний интерьер вокзала отражал жизнь местного населения и мог ассоциироваться с опасностями, таящимися в природе Севера. Возможно, именно эти ощущения воплотил Ф.О. Шехтель в интерьере своего яркого творения.

Несмотря на последующие реставрации образ русского Севера, созданный архитектором средствами модерна, нашел достойное место в градостроительной практике России. Не случайно некоторые вокзалы России (например, во Владивостоке, проект Н.В. Конолова) и другие объекты вобрали в себя черты, найденные Ф.О. Шехтелем для символического языка архитектуры русского модерна.

Статья выполнена в рамках гранта РГНФ №15-01-00312/16 «Архитектурные памятники Москвы: прошлое и настоящее».

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Борисова Е.А., Каждан Т.П.* Русская архитектура конца XIX- начала XX вв. М.:Наука, 1971.
2. *Сарабьянов Д.В.* Модерн. История стиля. М.: Галарт, 2001.
3. *Кириченко Е.И.* Русская архитектура 1830-1910-х годов. М.: Искусство, 1978.
4. *Нащокина М.В.* Московский модерн. М.: Жираф, 2003.
5. *Кириченко Е.И.* Ф.О. Шехтель. Жизнь. Образы. Идеи. М.: Прогресс-Традиция, 2012.
6. Правители России и развитие строительства / Молокова Т.А., Бунина Е.В., Бызова О.М., Гацунаев К.Н., Ефремова М.Г., Мурашев А.А., Пантелеева Т.Л., Посвятенко Ю.В., Фролов В.П., Четырина Н.А. / Под ред. Т.А. Молоковой. Москва: МГСУ, 2012.
7. *Мурашев А.А.* Дворяне все родня друг другу. СПб.: ООО «Издательство «Росток», 2005.
8. *Фролов В.П.* Павильоны России на всемирных выставках: строительство и архитектура // Вестник МГСУ. 2013. № 6. С. 42-49.
9. *Иконников А.В.* Архитектура Москвы. XX век. М.: Московский рабочий, 1984.



**Ю.В. Посвятенко**

*Кандидат исторических наук, доцент кафедры истории и философии НИУ МГСУ*

**А.С. Кожокару**

*Студент Мытищинского филиала НИУ МГСУ*

**С.В. Посвятенко**

*Студент Мытищинского филиала НИУ МГСУ*

## **МЫТИЩИНСКИЙ ФИЛИАЛ МГСУ: ПУТИ СТАНОВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ**

### **Аннотация**

Статья посвящена основным этапам развития Мытищинского филиала МГСУ. Показана история становления филиала как учебно-научного центра, направленного на решение актуальных задач профессионального строительного образования.

**Ключевые слова:** МГСУ, учебно-научная база, иннополис, Мытищинский филиал

НИУ МГСУ - один из ведущих технических вузов и главный инженерно-строительный университет в России. История МГСУ складывается, в том числе, из истории его структурных подразделений. Недавно наш Мытищинский филиал отметил свой юбилей, а за годы существования внес немалый вклад в развитие строительного образования и науки [1-4].

История Мытищинского филиала МИСИ - МГСУ начинается с 1954 г., когда был осуществлен первый отвод земли для создания учебного полигона практик по строительным машинам. Уже в 1956 г. в эксплуатацию были сданы первые объекты. С конца 1950-х гг. в летнее время здесь начали проводить практику по инженерной геодезии. Важным событием в истории полигона был переезд сюда в 1967 г. военной кафедры, для размещения которой было начато строительство специальных корпусов. В начале 1970-х гг. здесь были введены в эксплуатацию новые объекты: отраслевая научно-исследовательская лаборатория морских нефтегазопромысловых сооружений, а также учебно-лабораторный корпус, учебный корпус №1 военной кафедры и корпус лаборатории взрывоопасности. Таким образом, за первые двадцать лет существования полигона он превратился в большой хозяйственный комплекс без единого руководства на месте расположения. Поэтому в 1974 г. по инициативе знаменитого ректора МИСИ Н.А. Стрельчука решением Министерства образования СССР был образован Мытищинский филиал МИСИ им. В.В. Куйбышева, а его первым директором назначен Н.Н. Данилов. Все возрастающий в 1970-е гг. прием студентов на первый курс осложнил организацию учебного процесса в старых зданиях института. В связи с чем, с 1978 по 1984 гг. в Мытищах действовал общетехнический факультет (ОТФ), в который входили кафедры высшей математики, физики, химии, начертательной геометрии и графики, инженерной геодезии и истории КПСС. Рядом с учебным корпусом были выстроены студенческие общежития. Первым деканом ОТФ был д.х.н., профессор В.С. Галахов, затем на эту должность был избран д.т.н., профессор О.А. Егорычев.

Новый этап в жизни филиала наступил с 1985 г., в связи с вводом в эксплуатацию «Большого МИСИ». В сентябре 1985 г. в филиале появились собственные первокурсники по специальности «Промышленное и гражданское строительство». Это событие и считается датой отсчета истории самостоятельной учебной деятельности филиала. Сначала подготовка инженеров-строителей осуществлялась приезжающими из основного здания преподавателями различных кафедр. Однако это было признано неэффективным и уже в 1991 г. здесь были открыты две комплексные кафедры: прикладной

механики и математики и архитектурно-строительного проектирования. Постепенно создавалась дополнительная учебно-научная лабораторная база: открылся научный центр, лаборатория для подготовки специалистов по расчету, проектированию и обследованию строительных конструкций. События, связанные с перестройкой и распадом СССР существенно повлияли на все сферы общественной жизни, в том числе, образование. Несмотря на то, что в 1993 г. МИСИ был преобразован в Московский государственный строительный университет (МГСУ) многие лаборатории стали невостребованными, начались кадровые проблемы. В 1996 г. была проведена реорганизация филиала. Учебное подразделение филиала вошло в состав факультета ПГС как областное отделение. Позже в 1997 г. оно было преобразовано в областной факультет ПГС, деканом которого был избран В.С. Кузнецов. Была открыта актуальная кафедра «Технология, организация и управление в строительстве», создана лаборатория строительных материалов, организованы компьютерные классы, класс ТСО. С 2004 г. был открыт прием по специальности «Пожарная безопасность» с соответствующей кафедрой.

За последние десять лет факультет ПГС (обл.) реформировался вместе со всем университетом. Руководство учебным процессом возглавила Е.Н. Дмитренко. На место факультетов пришли институты, кафедра «Пожарной безопасности» переведена в главный корпус, а на территории филиала было создано несколько новых лабораторий. 28 сентября 2015 г. в лаборатории по аэродинамическим испытаниям строительных конструкций НИУ МГСУ было подписано соглашение между Минстроем России, Минобрнауки России и НИУ МГСУ по созданию Инновационного центра «Строительство» на базе университета, важную роль в этом проекте отводится Мытищинскому филиалу. Проект создания отраслевого Иннополиса на базе НИУ должен превратить наш вуз в главный центр инновационного развития отрасли, используя территориальные и производственные возможности Мытищинского филиала.

Таким образом, история Мытищинского филиала МИСИ - МГСУ отражает многие процессы и этапы развития нашего вуза на фоне серьезных изменений, происходящих в российском обществе. Расширение инновационных проектов, затрагивающих строительную отрасль, безусловно, должно положительным образом отразиться на развитии учебной, научной и производственной деятельности нашего филиала и университета в целом.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Московский Государственный строительный университет: история и современность / Рук. и отв. исполнитель проекта Молокова Т.А. М., 2001. 384 с.
2. МИСИ-МГСУ: традиции и новое развитие / Теличенко В.И., Королев М.В., Молокова Т.А. М., 2006. 192 с.
3. МГСУ-МИСИ: 2004-2008. Информационный материал о деятельности коллектива университета в 2004-2008 гг. М., 2008. 60 с.
4. Очерки истории университетского образования / Молокова Т.А. [и др.]. Под ред. Т.А. Молоковой. М., 2010. 128 с.

**В.П. Фролов**

*Кандидат исторических наук, доцент, профессор кафедры истории и философии НИУ МГСУ, член Российского национального комитета ИКОМОС*

## **ЦЕРКОВЬ ПОКРОВА В ФИЛЯХ – ОБРАЗЕЦ МОСКОВСКОГО «НАРЫШКИНСКОГО» БАРОККО**

### **Аннотация**

В статье рассматривается история строительства уникального памятника московского барокко - церкви Покрова в Филях. Автор акцентирует внимание на особенностях архитектурного образа храма, на внутренней отделке и интерьерах. Особое место уделено проблемам охраны и реставрации церкви.

**Ключевые слова:** памятник архитектуры, церковь, градостроительный ансамбль, реконструкция, реставрация, восстановление, изучение, охрана.

Церковь Покрова в Филях построена на месте одноименного деревянного храма (1619 г.) в форме сруба с двухскатной кровлей (тип клетских церквей) во владении князя Ф.М. Мстиславского [1, с. 462]. История важнейшего объекта строительства - каменной церкви Покрова Богородицы связана с главой Посольского приказа Львом Кирилловичем Нарышкиным. Она строилась в его загородном имении и на его средства. Сохранились свидетельства, что молодой Петр Романов – будущий император Петр Великий, на строительство и украшение храма выделил родному дяде боярину Л.К. Нарышкину 400 червонцев из казны. Предание гласит, что на клиросе этой церкви пел царь Петр I. В 1703 г., после взятия Нарвы, Петр I привез для церкви оконные витражи украшенные изображениями на библейские темы, рыцарскими гербами, растительным орнаментом.

Церковь стала доминантой усадьбы Нарышкиных, что определило композицию регулярного парка. В подмосковном селении бояр располагались деревянный дом с башней и часами, тенистые парки, система трех каскадных прудов.

Храм Покрова (1690-1693 гг.) построен крепостным архитектором Я. Бухвостовым так, чтобы обозначить выразительное место ландшафта, которое обозревалось с Москвы – реки [2, с. 46]. В архитектурных приемах, оформлении церкви проявились особенности западного стиля барокко, русские традиции, вкусы хозяина. Был создан выдающийся памятник московского «нарышкинского» барокко. Центрический храм «иже под колоколы» совмещал церковь и колокольню в пролетах среднего яруса. Он сооружен на высоком подклете, окруженном открытой галереей – папертью на больших аркадах с тремя широко расставленными лестницами (переделаны в нижней части в начале XIX в.). На подклете возвышается четверик, несущий два яруса восьмериков. Полукруглые объемы алтаря, три притвора завершаются гранеными главками. Два яруса восьмериков украшены белокаменным кружевом. Композицию венчает восьмигранный барабан с золоченой главкой и крестом.

В храме два престола: приходский нижний (зимний) в подклете во имя Покрова и домовый верхний (летний) во имя Нерукотворного образа Спасителя. Последний обетный, в память об избавлении хозяина от смертельной опасности во время стрелецкого бунта в 1682 г. Храм удивляет высотой и богатым убранством, вместе с тем обе церкви небольшие по размерам.

Нашла отражение и идея прославления правящей династии во внешнем и внутреннем облике храма, где двуглавые орлы, кресты на западной и восточной главах церкви, а также иконы местного ряда, посвящены святым, имеющим отношение к ро-

дона начальникам правящей династии. Деревянное распятие, венчающее иконостас, многие иконы местного ряда выполнены К. Золотаревым [3, с. 88].

Храм Покрова Пресвятой Богородицы динамичен, впечатляет стройностью композиции, богатыми декоративно-архитектурными формами, окраской и интерьерами.

Подчеркнута пирамидальность объемно-пространственной композиции высокого здания. Во внешнем оформлении использовано сочетание красного кирпичного фона и тщательно продуманного узора из резного белого камня, которое на разных уровнях не повторяется. Разнообразные декоративные элементы напоминают кружева. Для украшения использовались «петушиные гребни», «ракушки», обилие колонок, фронтоны и т.п.

Так выработывался новый тип храма по плану и объему многогранной динамичной композиции, в новой декоративной системе с усложненными линиями. В созданном едином ансамбле органично сочетаются традиции и новаторство, гармоничная архитектура спорит с декоративным искусством, живописью. Современники увидели новый яркий образ храма, выражающий величие и могущество, они восхищались ступенчатостью композиции, последовательностью принципов уравновешенности, симметрией, отмечали, что церковь «стройна, мирна, благочинна». Устремленное ввысь здание выглядит легким и ажурным.

Внешнее величие, отличающееся роскошью и богатством, удачно сочеталось с интерьерами. Пышностью поражало прихожан декоративное убранство внутри церкви. До сих пор впечатляет красивый девятиярусный резной иконостас, поднимающийся под самые своды. Стены, арки, обрамление окон, клиросы тоже были украшены деревянной резьбой. Необычна для русской церкви богато оформленная ложа владельца усадьбы на западной стене (напротив иконостаса) вместо традиционных хор. Деревянные распятия, венчающие иконостас, многие иконы местного ряда выполнены мастерами Оружейной палаты.

Изумляют архитектурные детали, белокаменные снаружи и деревянные внутри здания: виноградные лозы, листья аканты.

Церковь Покрова неоднократно подвергалась реставрации. В XVIII в. чертежи для реставрации храма составил М.Ф. Казаков. При реставрации обнаружена покраска в сине-голубой цвет [4, с.15].

В XIX в. восстанавливается облик храма, сильно пострадавшего из-за ограбления и осквернения французами в Отечественную войну 1812 г. Были введены изменения: лестницы на один сход перестроены, сходы с парапетами сделаны на две стороны. Было полностью изменено убранство нижней церкви. Серьезные работы были проведены на средства старосты церкви купца И.П. Гладилина. В верхнем храме выполнены стенные росписи, утраченное декоративное убранство полукруглых помещений притворов воссоздали в иных формах. Переделан также интерьер нижнего храма [5, с.12].

В первой половине 30-х гг. XX в. предпринимались попытки снести уникальный храм XVII в., но церковь закрыли и ее убранство почти полностью сохранилось.

В начале Великой Отечественной войны 1941-1945 гг. в целях маскировки были разобраны главы и верхний ярус восьмерика. Однако в храм попало несколько зажигательных бомб. В послевоенный период проведены восстановительные работы. В 1955 г. восстанавливаются фасады церкви (Е.В. Михайловский, И.В. Ильин). В 1971 г. проводились работы в интерьерах церкви, где главное внимание уделено декору (И.В. Ильин). В 1980 г. реставрационные работы были завершены. Памятник передан музею древнерусского искусства им. А. Рублева. Архитектурный шедевр - церковь Покрова в Филях продолжает радовать современников самобытным величием, сочетанием архитектуры, декоративного и изобразительного искусства. Нельзя не согласиться с

русским искусствоведом И. Грабарем: «Церковь Покрова в Филях... легкая кружевная сказка... чисто московская, а не европейская красота.» [6, с.77].

Статья выполнена в рамках гранта РГНФ №15-01-00312/16 «Архитектурные памятники Москвы: прошлое и настоящее».

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Ильин М., Моисеева Т.* Москва и Подмосковье. М., 1979.
2. *Антонова Л.В. Титкова Т.В.* Архитектурные шедевры России. М., 2009
3. Москва. Памятники архитектуры Москвы XIV – XVII вв. М., 1973.
4. *Козлов В.* Чудом спасенные// Московский журнал, 1992, №1.
5. О возвращении храма Покрова в Филях// Русский вестник, 1992, №40.
6. Памятники столетия на карте города//Московское наследие, 2014, №2.

## **СЕМИОТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕТЕРБУРГА ДОСТОЕВСКОГО В КОНТЕКСТЕ УРБАНИСТИЧЕСКОЙ МЕТАФОРЫ XIX-XX ВВ.**

### **Аннотация**

Несмотря на противоречивость и многомерность метафорической репрезентации петербургской среды в творчестве Достоевского, различные исследователи выделяют сходные характеристики семиотической модели Петербурга Достоевского. Эта модель инкорпорирована в общую литературную и культурную традицию петербургского текста. Анализируя исследования, посвященные данной теме, можно проследить эволюцию петербургской семиотической модели в творчестве Достоевского, а также выделить личный авторский вклад Достоевского в развитие петербургского текста.

### **Ключевые слова:**

Петербург Достоевского, семиотика города, Ю.М. Лотман, Б.А. Успенский, В.Н. Топоров, урбанистика Петербурга XIX в.

Изданная в 1924 году монография Н.П. Анциферова «Петербург Достоевского» во многом заложила основы семиотического осмысления городской среды. Автор использовал комплексный исследовательский подход, включающий в себя, кроме топографических и биографических изысканий, элементы герменевтического и семиотического анализа текстов произведений Достоевского.

Уже во второй половине XX в. гораздо более глубокое развитие эта тема обрела в трудах представителей московско-тартусской семиотической школы. В работах Ю.М. Лотмана, Б.А. Успенского, В.Н. Топорова Петербург обретает статус обособленной семиотической модели, состоящей из комплекса исторически сложившихся и транслируемых в культуре мифов, символов и текстов. Самой очевидной и значимой характеристикой Петербурга Достоевского можно считать его искусственность, «надприродность», открытость и «эксцентричность» в терминологии Лотмана. Изначально присутствовавший в петербургской семиотической модели космогонический мотив борьбы со хтоническим началом - силами природы - неразрывно связан с мифологемой эсхатологического падения Петербурга, обреченного на затопление. Эта обреченность оборачивается одновременно мотивом мессинской избранности, истоки которой кроются в сопричастности Петербурга к историософской концепции «Москва – третий Рим».

Отдельного рассмотрения заслуживает и мотив фантазмагии в образе Петербурга Достоевского. В этом контексте необходимо упомянуть жанровые мотивы петербургского городского анекдота, а также антропоморфные метафоры, постоянно применяемые к архитектурным сооружениям. При этом тенденция к персонификации города в целом у Достоевского представлена лишь в ранних произведениях, носящих стилистический отпечаток романтизма. В поздних же произведениях семиотическая модель Петербурга принимает форму целостного хронотопа, довлеющего над героями и ведущего их. Топографическую точность Петербурга Достоевского Анциферов объясняет стремлением наделить героев реалистичностью, которая несколько утрачивается из-за фантастичности локуса их обитания. Этому утверждению вторит Д.С. Лихачев в своих рассуждениях о «топографическом реквизите» [3, с. 45].

Другой аспект семиотического пространства Петербурга, культивированный Достоевским - мотив городского подполья. «Пространственная антитеза» сцены и закулисья [4, с. 217] у Достоевского выражается не только натуралистическом изображении трущоб, неприглядной изнанки блестящего петербургского фасада, но и в подземном, загробном мире Петербурга (рассказ «Бобок»). В действительности образ мертвеца и кладбища явля-

ется неотъемлемым атрибутом семиотической модели Петербурга XIX в., имевшего репутацию своего рода «Некрополя» [7, с. 30].

Важную роль в семиотической модели Петербурга играет вектор его противопоставления с Москвой, являющейся, в отличие от «эксцентрического» [4], искусственно возведенного Петербурга, продолжением России, естественным выражением ее сути. С течением времени семиотическая модель Петербурга Достоевского претерпевает глубинную метаморфозу, отражающую мировоззренческую и жанрово-стилистическую эволюцию творческого метода Достоевского. В ранних работах Достоевского, относящихся к периоду до ссылки, Петербург не только предстает равнозначным России, но и выступает форпостом идеи ее прогрессивного развития («Петербургская летопись» (1847)). Затем Петербург Достоевского обретает все более негативную смысловую окраску.

Являясь своего рода «оформителем» [7] изначальной традиции петербургского текста, Достоевский преобразует образы Петербурга эпохи классицизма, транслирует их в форме реминисценции, формируя при этом собственную, абсолютно самоценную семиотическую модель, играющую роль «переходного звена» между палладианским Петербургом «золотого века» и предреволюционным, декадентским Петербургом эпохи заката.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Анциферов, Н.П.* Душа Петербурга // Анциферов, Н.П. Душа Петербурга. Быль и миф Петербурга. Петербург Достоевского. М.: «Книга», 1991. С. 15-228

2. *Анциферов, Н.П.* Петербург Достоевского // Анциферов, Н.П. Душа Петербурга. Быль и миф Петербурга. Петербург Достоевского. М.: «Книга», 1991. С. 106.

3. *Лихачев, Д.С.* Достоевский в поисках реального и достоверного // Лихачев Д.С. Литература — реальность — литература. Л., 1984. С. 44-59.

4. *Лотман, Ю.М.* Символика Петербурга и проблемы семиотики города // Лотман Ю.М. История и типология русской культуры. СПб.: «Искусство», 2002. С. 208-222.

5. *Лотман, Ю.М.* Современность между Востоком и Западом // Лотман, Ю.М. История и типология русской культуры. СПб.: «Искусство», 2002. С. 744-752.

6. *Лотман, Ю.М., Успенский Б.А.* Отзвуки концепции «Москва — третий Рим» в идеологии Петра Первого (К проблеме средневековой традиции в культуре барокко). // Лотман, Ю.М. История и типология русской культуры. СПб.: «Искусство», 2002. С. 349-362.

7. *Топоров, В.Н.* Петербургский текст русской культуры. Избранные труды. СПб.: «Искусство», 2003. 616 с.

## ПРОБЛЕМЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ УЧЕНИЯ О НАУЧНОМ ЗНАНИИ ВО "ВТОРОЙ АНАЛИТИКЕ" АРИСТОТЕЛЯ.

### Аннотация

Несмотря на то, что «Вторая аналитика» занимает уникальное место в истории философии науки, являясь исторически первым трактатом, в котором подробно описан идеал научного знания, до сих пор не существует ни одного исследования, в котором бы сущность этого идеала была бы логично изложена и объяснена. Такое положение дел связано прежде всего с рядом проблем, которые ставит перед исследователем текст «Второй аналитики». В настоящем докладе предлагается определенный способ решения большинства этих проблем.

**Ключевые слова:** Аристотель, «Вторая аналитика», научное знание, теория доказательства

«Вторая аналитика» Аристотеля является первым в истории европейской мысли произведением, посвященным общей методологии научного исследования, в ней впервые в истории философии излагается связный проект структуры построения научного знания (ἐπιστήμη). Именно описанию рецепта построения научного знания прежде всего и посвящен этот трактат, тем удивительнее, что до сих пор не существует ни одного исследования, в котором предлагалось бы связное описание того, в чем именно состоит этот рецепт и как именно должна выглядеть та модель построения научного знания, которую предлагает здесь Аристотель.

Такая ситуация связана, прежде всего, с исключительной сложностью текста «Второй аналитики». Изложение Аристотеля, как это нередко отмечается [1, XI; XIV; 2, 155; 3, VII; 4, 7], в этом трактате сбивчиво и обрывочно, часто перескакивает с одного предмета на другой<sup>1</sup>, редко дает исчерпывающее разъяснение ключевых для понимания текста моментов<sup>2</sup>, а когда пытается его дать, то зачастую делает это в крайне запутанной и сложной для интерпретации форме<sup>3</sup>; наконец, что хуже всего, текст «Второй аналитики», кажется, достаточно часто просто противоречит сам себе, причем по очень значимым для его понимания вопросам<sup>4</sup>. Все это делает его цельную интерпретацию чрезвычайно сложной. Одним из следствий этой сложности как раз является почти полный отказ от цельной интерпретации учения «Второй аналитики».

Нельзя отрицать, что «Вторая аналитика» является крайне обрывочным и местами просто маловразумительным текстом. Вполне возможно также, что разные части этого текста были написаны в разное время и несут на себе следы различных взглядов Аристотеля на одни и те же проблемы [5, 78-109]. Наконец, не исключено также, что части текста были испорчены и в определенных местах мы имеем дело с сильно искажённой мыслью Аристотеля или, что еще хуже, – вообще с мыслью более позднего редактора. Все это

<sup>1</sup> Наилучший пример тому – глава I.10, в которой части 76a31-b22 и 76b23ff совершенно точно никак не связаны друг с другом, а также вызывает серьезные сомнения связь параграфов 76a31-36; a37-76b2; b3-11 и b11-22 в первой части и параграфов 76b23-34 и b34ff. во второй части.

<sup>2</sup> Примерами чего могут служить крайне скудное описание начал в (I.2), чрезвычайно лапидарное замечание о том, что все субстанциальные свойства вещи (καθ' αὐτὰ λάθη) должны быть выводимы из определения вещи, без всякого указания на то, как это может быть возможно (I.5), крайне схематичное объяснение того, как мы получаем определения некоторых предметов с помощью чего-то похожего на доказательство, без ясного объяснения того, для каких предметов это возможно, а для каких нет (II.7-10) и многие другие определяющие для интерпретации текста места.

<sup>3</sup> Наилучший пример здесь – попытка Аристотеля объяснить, как и в каком смысле возможно доказательство определения в II.8; другими важными примерами является классификация видов определения в II.10 и попытка Аристотеля объяснить, какие термины относятся друг к другу субстанциальным образом в I.5.

<sup>4</sup> II.19 99b35-100b5 «Второй аналитики» гласит, что начала доказательства познаются с помощью индукции, тогда как уже в 100b5ff. сказано, что они постигаются с помощью «ума»; I.2 72a14-24 и I.10 76b35ff. противоречат друг другу в вопросе о том, являются ли определения пропозициями или нет; I.2 72a14-17 и I.11 дают совершенно разное понимание того, используются ли аксиомы в качестве посылок в доказательстве и т.д.



вполне естественные допущения, учитывая насколько сложен для прочтения текст «Второй аналитики». Однако это совсем не означает, что любая попытка связной интерпретации текста этого трактата, взятого целиком, должна проваливаться.

Полагаю, что большинство указанных сложностей можно преодолеть просто введя в качестве методологического принципа прочтения текста «Второй аналитики» положение о том, что Аристотель направляется неким единым замыслом при описании сущности доказательства в тексте этого трактата, иначе говоря – что у него есть определенное заранее сформированное представление о том, как именно выглядит и работает описываемая им модель доказательного знания, и именно это, уже имеющееся в его распоряжении представление он пытается объяснить на страницах «Второй аналитики». Если мы примем этот достаточно правдоподобный тезис, то наша работа с текстом трактата окажется намного менее уязвима для указанных выше опасений в хронологических разрывах и редакторских правках различных фрагментов «Второй аналитики»: конкретные детали учения Аристотеля о доказательном знании в таком случае действительно могли меняться со временем и в определенных местах текста нас могут подстерегать ошибки, однако общий замысел, общая модель, которую Аристотель имел в виду при написании трактата должна остаться различима, поскольку наиболее существенное в ней едва ли могло претерпеть значительные изменения без того, чтобы разговор о такой принципиально новой модели стал очевидно чуждым на фоне остальной «Второй аналитики». Если нам удастся понять, как хотя бы в общих чертах выглядит эта модель – это уже можно будет считать достижением, достаточным для наших целей, даже если мы при этом обнаружим, что какие-то конкретные, не лежащие в самом ее основании детали Аристотель в разных местах трактата описывает различными, не согласующимися друг с другом образами.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Barnes J. Introduction // Aristotle's Posterior analytics / Jonathan Barnes. Oxford; New York: Clarendon Press ; Oxford University Press, 1994. P. XI-XXII.

2. Goldin O. Two Traditions in the Ancient Posterior Analytics Commentaries // Interpreting Aristotle's Posterior Analytics in Late Antiquity and Beyond / ed. by Frans A. J. de Haas, Mariska Leunissen, Marije Martijn. Leiden: Brill, 2010. P. 155–182.

3. Leshner J.H. Introduction // From inquiry to demonstrative knowledge: new essays on Aristotle's «Posterior analytics» / ed. by J. H. Leshner. Kelowna: Academic Printing & Publishing, 2010.

4. Pellegrin P. Introduction // Aristote. Seconds Analytiques : Organon IV, Edition bilingue grec-français. Paris: Flammarion, 2005. P. 7–51

5. Solmsen F. Die Entwicklung der aristotelischen Logik und Rhetorik. Berlin: Weidmann, 1929.