

---

---

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ «ИНЖЕНЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ»

---

---

**Дьяконов В.В.** — доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой месторождений полезных ископаемых и их разведки РУДН — *главный редактор*

**Пономарев Н.К.** — кандидат технических наук, доцент, декан инженерного факультета РУДН — *заместитель главного редактора*

**Абрамов В.Ю.** — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры месторождений полезных ископаемых и их разведки РУДН — *ответственный секретарь*

### Члены редколлегии

**Алиев С.Б.** — доктор технических наук, заместитель директора Департамента развития предпринимательской деятельности Евразийской экономической комиссии

**Воробьев А.Е.** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела РУДН

**Галишникова В.В.** — кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой строительных конструкций и сооружений инженерного факультета РУДН

**Гусаков С.В.** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тепло-техники и тепловых двигателей инженерного факультета РУДН

**Дивеев А.И.** — доктор технических наук, профессор, заведующий сектором проблем кибернетики Вычислительного центра им. А.А. Дородницына РАН

**Кривошапко С.Н.** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прочности материалов и конструкций инженерного факультета РУДН

**Пилов П.И.** — доктор технических наук, профессор, первый проректор Национального горного университета (Днепропетровск, Украина)

**Рогов В.А.** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий машиностроения, металлорежущих станков и инструментов инженерного факультета РУДН

**Свинцов А.П.** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой проектирования и строительства промышленных и гражданских сооружений РУДН

**Сученко В.Н.** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой геодезии и маркшейдерского дела РУДН

**Хаинц Шанделмейер де Оливейра** — доктор философии (Ph.D, геология), научный сотрудник с долгосрочными проектами департамента геологоразведки Института прикладных исследований Технического университета Берлина (Германия)

**Шкарупа И.Л.** — кандидат технических наук, Ученый секретарь ФГУП ОНПП «Технология» (Обнинск)

**Петер Ян Паль** — доктор наук, профессор Берлинского Технического Университета (Германия) факультета планирования обустройства окружающей среды

---

---

## EDITORIAL BOARD

### RUDN JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCHES

---

---

**Diakonov V.V.** — doctor of geological-mineralogical sciences, professor, head of the department of mineral deposits and their exploration of them. Kreiter of PFU. Chief editor of series

**Ponomarev N.K.** — candidate of technical sciences, docent, dean of engineering faculty of PFU. Deputy editor of series

**Abramov V.Yu.** — candidate of geological-mineralogical sciences, docent of department of mineral deposits and their exploration of them. Kreiter of PFU. Executive secretary of series

#### Members of editorial board

**Aliev S.B.** — doctor of technical sciences, the deputy director of the department of business development, Eurasian economic commission

**Vorobiev A.E.** — doctor of technical sciences, head of the department of oilfield geology, mining and petroleum engineering of PFU

**Galishnikova V.V.** — doctor of technical sciences, head of the department of building structures and facilities of PFU

**Gusakov S.V.** — doctor of technical sciences, head of the department of themotechnics and heat engines of PFU

**Diveev A.I.** — doctor of technical sciences, head of the sector of problems of cybernetics of computer center name Dorodnitsyn RSA

**Krivoshapko S.N.** — doctor of technical sciences, head of the department of strength of materials and structures of PFU

**Pilov P.I.** — doctor of technical sciences, professor, first vice-rector national mining university (Dnepropetrovsk, Ukraine)

**Rogov V.A.** — doctor of technical sciences, head of the department of engineering technology, metal-cutting machines and tools of PFU

**Svintsov A.P.** — doctor of technical sciences, head of the department of design and construction of industrial and civil constructions of PFU

**Suthenko V.N.** — doctor of technical sciences, head of the department of geodesy and mine surveying of PFU

**Heinz Schandelmeier de Oliveira** — Ph.D., geology, researcher with long-term projects of department of geological prospecting. Institute of applied research. Technical university of Berlin (Germany)

**Shkarupa I.L.** — candidate of technical sciences. Scientific secretary of FSU “NFS “Technology””

**Peter Jan Pal** — doctor of sciences, professor of technical university of Berlin (Germany). Faculty of environmental planning



# ВЕСТНИК Российского университета дружбы народов

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1993 г.

*Серия*

**ИНЖЕНЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

**2016, № 4**

*Серия издается с 2000 г.*

Российский университет дружбы народов

---

## СОДЕРЖАНИЕ

### ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОГРАММЫ ИНЖЕНЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

- Лебедь Е.В.** Точность статистического вычисления случайных погрешностей стержневых пространственных конструкций ..... 7
- Баранов А.А., Разумный В.Ю.** Планирование обслуживания разнородных спутниковых систем ..... 16
- Щербаков В.И., Нгуен Х.К.** Принцип энергетического эквивалентирования для расчета сетей водоснабжения с множеством участков ..... 27

### КИБЕРНЕТИКА И МЕХАТРОНИКА

- Lapshinsky Valery A.** Emerging architectures for processor-in-memory chips: taxonomy and implementation..... 35
- Назаров А.В.** Совмещенная модель трассировки печатных плат и больших интегральных схем с двуслойной коммутацией ..... 41
- Романова В.А., Тхома Анамария.** Автоматическое моделирование поверхности одинакового ската на эллиптическом плане в системе AUTOCAD посредством языка AUTOLISP ..... 48

### ИННОВАЦИОННОЕ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

- Голик В.И., Комащенко В.И., Разоренов Ю.И.** Использование вязущих свойств жидких хвостов обогащения руд ..... 54

**Алафар Халиль Саид.** Классификация методов по управлению геомеханическими процессами при освоении подземного пространства в Сирии в условиях набухающего грунтово-породного массива ..... 63

**Есина Е.Н.** Особенности обеспечения безопасного освоения месторождений, опасных по газодинамическим явлениям ..... 70

## **АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ**

**Говорова Ж.М., Свинцов А.П., Коэн А.Р.** Подготовка воды для хозяйственно-питьевых целей из поверхностных водоемов с ограниченным дебитом..... 75

**Терешин А.А., Негурица Д.Л., Алексеев Г.В.** Мониторинг деформаций здания геодезическими методами при реконструкции его фундамента..... 84

**Филатова А.В., Дормидонтова Т.В., Саморуков С.С.** Использование визуализаторов транспортных сетей при строительстве автомобильных дорог в г. Самаре ..... 91

## **АРХИТЕКТУРА**

**Шувалов В.М., Комарова Ю.А., Головатая О.В., Кенич О.** Органическая архитектура: в гармонии с человеком и природой..... 98

**Иншаси А.** Рациональные типы многофункциональных жилых комплексов (МФЖК) для различных ландшафтно-климатических районов Объединенных Арабских Эмиратов (ОАЭ)..... 105

**Халиль И.** Социально-экономические факторы, влияющие на формирование объемно-планировочной структуры малоэтажной жилой застройки в Сирии ..... 115

**НАШИ АВТОРЫ**..... 121

*Series*

RUDN JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCHES

**2016, № 4**

*Series founded in 2000*

Peoples' Friendship University of Russia

---

## CONTENTS

### INNOVATION RESEARCH PROGRAMS IN ENGINEERING

<b>Lebed E.V.</b> Accuracy of statistical calculation of random errors of space trusses .....	7
<b>Baranov A.A., Razoumny V.Yu.</b> Planing for on-orbit servicing of various satellite systems .....	16
<b>Shcherbakov V.I., Nguyen H.C.</b> The energy equivalence principle for calculation of water supply networks with many areas.....	27

### CYBERNETICS AND MECHATRONICS

<b>Лапшинский В.А.</b> Новые архитектуры для чипов «процессоры-в-памяти»: классификация и реализация .....	35
<b>Nazarov A.V.</b> The combined model of trace of printed-circuit boards and large integrated schemes with two-layer switching.....	41
<b>Romanova V.A., Thoma Anamariya.</b> Automatic modeling of the surface of the same slope in the elliptical plan in AUTOCAD through the AUTOLISP language .....	48

### INNOVATIVE BOWELS

<b>Golik V.I., Komashenko V.I., Razorenov Y.I.</b> The use of the binding properties of the liquid tailings and ores .....	54
<b>Khalil Said Alafar.</b> Classification of methods for management of geomechanical processes during the development of underground space in syria in the conditions of swell-ing soil-rock mass .....	63
<b>Esina E.N.</b> Features of safe development ensure of hazardous gas-dynamic phenomena deposits .....	70

## **TOPICAL ISSUES OF THE CONSTRUCTION PROCESSES TECHNOLOGY**

<b>Govorova Zh.M., Svintsov A.P., Kojen A.R.</b> Water treatment for household purposes from surface water bodies with limited debit .....	75
<b>Tereshin A.A., Neguritsa D.L., Alekseev G.V.</b> Deformation monitoring of buildings surveying methods at reconstruction of its foundation.....	84
<b>Filatova A.V., Dormidontova T.V., Samorukov S.S.</b> The use of visualizers transport networks during the construction of roads in the city of Samara .....	91

## **ARCHITECTURE**

<b>Shuvalov V.M., Komarova J.A., Golovataya O.V., Kenic O.</b> Organic architecture in harmony with man and nature .....	98
<b>Inshasi A.</b> Rational types of multifunctional residential complexes (MFRC) for different landscape and climatic regions in United Arab Emirates (UAE) .....	105
<b>Khalil I.</b> Influence of social and economic factors to development of space-planning structure of the low-rise residential buildings and facilities in Syria .....	115

<b>OUR AUTHORS</b> .....	121
--------------------------	-----

# ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОГРАММЫ ИНЖЕНЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 519.676:519.24:624.074.5

## ТОЧНОСТЬ СТАТИСТИЧЕСКОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ СТЕРЖНЕВЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**Е.В. Лебедь**

Национальный исследовательский  
Московский государственный строительный университет  
*Ярославское шоссе, д. 26, Москва, Россия, 129337*

В статье дано вероятностное объяснение отличия действительных размеров стержневых элементов от номинальных, что приводит к погрешностям геометрии конструкций. Отмечена нормальность распределения погрешностей стержневых систем. Приведены основные принципы статистического моделирования действительной формы стержневой пространственной системы и определения погрешностей. Обосновано использование среднеквадратического отклонения как основной статистической характеристики погрешностей. Показана необходимость учета точности вычисления среднеквадратических отклонений погрешностей. На основе числовых значений распределения хи-квадрат получена зависимость между точностью среднеквадратического отклонения случайных погрешностей и объемом выборки для разных уровней надежности.

**Ключевые слова:** погрешности стержневых систем, точность статистического вычисления, статистическое среднее, среднеквадратическое отклонение, уровень надежности, объем выборки

Стержневые пространственные конструкции собираются из большого количества отдельных металлических стержней или предварительно укрупненных стержневых блоков. Действительные размеры таких монтажных элементов всегда отличаются от номинальных значений, что приводит к погрешностям геометрии стержневых пространственных конструкций. Это отличие является следствием неточности резки, сварки, сверловки, установки, крепежа, связанных с подготовкой и сборкой стержневых элементов из отдельных деталей. Существенное влияние на эти факторы оказывают прочность обрабатываемого металла, вид оборудования, точность измерения, режим работы и условия труда, квалификация рабочего, температура воздуха и т.д. Укрупнительная сборка конструкций перед

монтажом вносит дополнительные неточности из-за аналогичных факторов. Все эти неточности в строительстве регламентируются специальной системой допусков [1].

Для каждого  $i$ -го стержня пространственной системы точность определяется разностью между действительным  $L_i^*$  и номинальным  $L_i$  его размером [2; 3], которую называют отклонением

$$\delta L_i = L_i^* - L_i. \quad (1)$$

В целом, каждое отклонение состоит из систематической  $\delta L(m)_i$  и случайной  $\delta L(\sigma)_i$  составляющих или ошибок

$$\delta L_i = \delta L(m)_i + \delta L(\sigma)_i. \quad (2)$$

Поскольку систематические ошибки  $\delta L(m)_i$  отразятся на действительных размерах всех однотипных стержней одинаковым образом, процесс образования погрешностей становится детерминированным. Их влияние на стержневую конструкцию может быть определено до сборки и монтажа. При статистических исследованиях случайных погрешностей систематическими ошибками можно пренебречь, т.е. принять  $\delta L(m)_i = 0$ . Случайные ошибки  $\delta L(\sigma)_i$  приводят к отклонениям действительных размеров всех стержней как в большую, так и в меньшую стороны непредсказуемым образом, поэтому процесс образования погрешностей носит стохастический характер. Так как эти отклонения зависят от множества случайных факторов, их распределение согласно предельной теореме теории вероятностей приближается к нормальному закону [4; 5].

Величины, на которые действительные размеры стержней отличаются от номинальных значений, ограничены предельными (допускаемыми) отклонениями  $\Delta L_i/2$ , т.е. половиной допуска  $\Delta L_i$ . Это соответствует ГОСТ 21778–81 «Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Основные положения». Если принять систематическую составляющую, равной нулю, то

$$|\delta L(\sigma)_i| \leq \Delta L_i/2, \quad (3)$$

где  $\Delta L_i$  — допуск размера  $L_i$ .

Стержневые пространственные конструкции широко применяются в большепролетных покрытиях зданий и сооружений. Возводятся они самыми разнообразными способами [6] из большого количества конструктивных элементов и образуют сложные многосвязные каркасные системы [7]. Погрешности, возникающие при возведении таких покрытий, во-первых, затрудняют соединение конструкций друг с другом при монтаже, делая невозможной их свободную сборку; во-вторых, снижают несущую способность стержневых пространственных конструкций из-за искажения их геометрической и конструктивной форм. Поэтому исследования возможных погрешностей возведения стержневых пространственных конструкций способствуют решению указанных проблем.

Такие исследования можно производить на основе численной имитации на компьютере сборки и монтажа пространственных стержневых конструкций с

использованием метода Монте-Карло с последующим статистическим анализом результатов (метода статистического компьютерного моделирования) [8; 9]. Такую имитацию реализуют авторские компьютерные программы MONTAG для численного моделирования монтажа двухсетчатых пространственных каркасов из объемных стержневых блоков [10; 11; 12] и SBORKA для численного моделирования сборки односетчатых пространственных каркасов из отдельных стержней [13; 14]. Главной задачей обеих программ является вычисление действительных координат узлов стержневых пространственных каркасов на основе моделирования сборки и монтажа его конструкций [15]. Вычисление координат узлов осуществляется в основном путем многократного решения системы из трех уравнений сфер:

$$\left. \begin{aligned} (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2 &= R_1^2 \\ (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2 &= R_2^2 \\ (x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (z-z_3)^2 &= R_3^2 \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где  $x, y, z$  — координаты искомого узла;  $x_i, y_i, z_i$  — координаты узлов с известным положением в пространстве;  $R_i$  — расстояние от известного  $i$ -го узла до искомого, равное действительному размеру соответствующего стержня  $L_i^*$ .

Действительные размеры стержней при отсутствии систематических погрешностей ( $\delta L(m)_i = 0$ ) вычисляются по формуле

$$L_i^* = L_i + \delta L(\sigma)_i. \quad (5)$$

Случайное отклонение такого размера определяется из выражения

$$\delta L(\sigma)_i = \frac{\zeta}{3} \frac{\Delta L_i}{2}, \quad (6)$$

где  $\Delta L_i/2$  — допускаемое отклонение  $i$ -го размера;  $\zeta$  — псевдослучайное нормально распределенное число с  $m = 0$  и  $\sigma = 1$ .

Размеры  $L_i$  вычисляются в программах MONTAG и SBORKA по проектным координатам соответствующих узлов стержневой пространственной конструкции. Проектные координаты узлов вычисляются заранее по авторской программе геометрического расчета GERA [16].

Псевдослучайные числа  $\zeta$  генерируются по специальному алгоритму [17], входящему отдельной функцией в программы MONTAG и SBORKA.

Вычисление действительных координат всех узлов стержневой пространственной конструкции, т.е. численное моделирование его действительной формы, рассматривается как одно случайное событие, поэтому называется испытанием. Результатом такого испытания служат отклонения узлов от проектного положения  $\delta_j$ , которые характеризуют погрешности геометрической и конструктивной формы пространственной конструкции. Для статистического анализа возможных погрешностей реальной конструкции такое численное моделирование выполня-

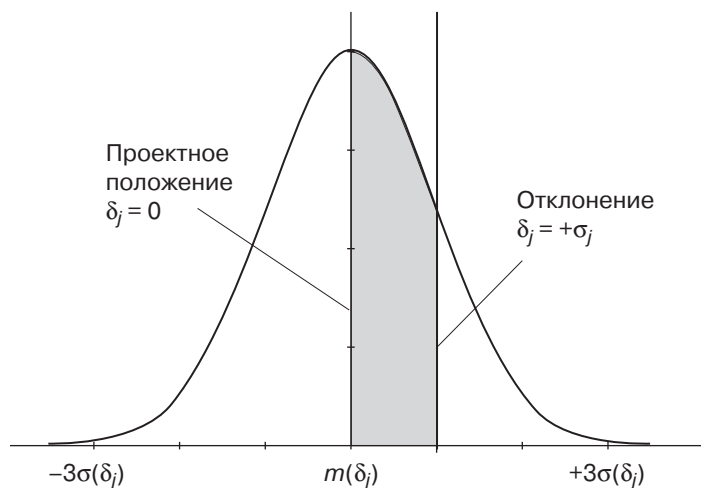
ется многократно. Следовательно, число испытаний  $n$  соответствует объему выборки при статистическом анализе погрешностей  $\delta_j$ .

В результате работы программ MONTAG и SBORKA вычисляются математическое ожидание  $m(\delta_j)$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma(\delta_j)$

$$m(\delta_j) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \delta_{jk}, \quad \sigma(\delta_j) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n [\delta_{jk} - m(\delta_j)]^2}. \quad (7)$$

Распределение отклонений (погрешностей) узлов  $\delta_j$  согласно предельной теореме теории вероятностей также подчиняется нормальному закону, что неоднократно подтверждалось выполненными исследованиями [2; 3; 18].

В литературе по математической статистике [4; 5; 19] достаточно полно освещены вопросы оценки точности вычисления таких статистических параметров, как среднее значение  $m(\delta_j)$  и дисперсия  $[\sigma(\delta_j)]^2$ . Методика оценки математического ожидания описана широко как с теоретической, так и с практической стороны, что объясняется большой распространенностью статистических задач, в которых оно по своему численному значению намного превосходит среднее квадратическое отклонение. Однако в задаче определения погрешностей стержневых пространственных конструкций наиболее важным (часто единственным значимым) параметром является среднее квадратическое отклонение. При отсутствии систематической составляющей в формуле (2) среднее квадратическое отклонение  $\sigma(\delta_j)$  практически является основной статистической характеристикой возможных погрешностей действительной геометрической и конструктивной форм стержневых систем (рис. 1).



**Рис. 1.** Нормальное распределение отклонений  $\delta_j$   
[Normal distribution of deviations  $\delta_j$ ]

Приведенные в литературе описания оценки дисперсии, которые могут быть использованы для среднее квадратического отклонения, вследствие аналитического характера неудобны для практического использования.



Обозначим статистически вычисленное значение среднеквадратического отклонения  $\sigma(\delta)$  буквой  $s$ . Известно, что для любой случайной величины вычисленное по данным выборки объема  $n$  среднеквадратическое отклонение  $s$  является приближенной оценкой его истинного значения, отличие между которыми будет тем меньше, чем больше  $n$ . Для того, чтобы заранее можно было определить оптимальный объем выборки  $n$ , необходимый для вычисления среднеквадратического отклонения  $s$  или чтобы оценить точность вычисленного  $s$  при известном  $n$ , необходимо знать зависимость между объемом выборки  $n$  и точностью вычисления  $s$ .

Установим зависимость между числом  $n$  и точностью вычисления  $s$ , характеризующейся параметром  $q$ , для некоторых уровней надежности. Из математической статистики известно, что уровень надежности  $\gamma$  при оценке среднеквадратического отклонения  $s$  с заданной точностью  $q$  определяется вероятностью того, что искомое значение  $\sigma$  находится в интервале от  $s - qs$  до  $s + qs$  [9; 20], т.е.

$$\gamma = P(s - qs < \sigma < s + qs) = 1 - \alpha, \quad (8)$$

где  $\alpha$  — уровень значимости вычисляемого критерия.

Исходя из нормальности распределения погрешностей, вследствие которого величина  $(n - 1)s^2/\sigma^2$  имеет  $\chi^2$  — распределение, выражение (8) можно переписать в виде [5; 21]:

$$\gamma = P\left(\frac{vs^2}{\chi_{1-0,5\alpha}^2} < \sigma^2 < \frac{vs^2}{\chi_{0,5\alpha}^2}\right) = 1 - \alpha, \quad (9)$$

где  $\chi_{1-0,5\alpha}^2$  и  $\chi_{0,5\alpha}^2$  — критические значения  $\chi^2$ , для которых справедлива формула

$$P_v(\chi_\gamma^2) = \int_0^{\chi_\gamma^2} p(\chi^2) d\chi^2 = \gamma;$$

где  $v = n - 1$  — число степеней свободы.

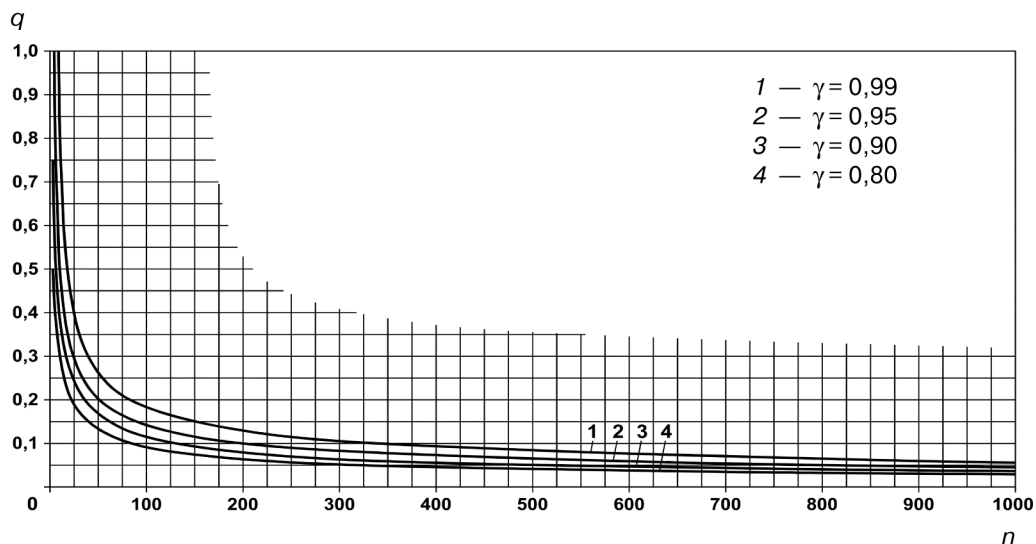
Сопоставляя выражение (9) с выражением (8), можно записать

$$s(1 - q) = \sqrt{\frac{vs^2}{\chi_{1-0,5\alpha}^2}}, \quad s(1 + q) = \sqrt{\frac{vs^2}{\chi_{0,5\alpha}^2}}. \quad (10)$$

Вычитая из второго уравнения первое и умножая обе части на  $1/s$ , получим формулу для вычисления  $q$

$$q = \frac{1}{2} \left( \sqrt{\frac{v}{\chi_{0,5\alpha}^2}} - \sqrt{\frac{v}{\chi_{1-0,5\alpha}^2}} \right). \quad (11)$$

На основании выражения (11) с использованием данных статистических таблиц по критическим значениям  $\chi^2$  [22] получены значения относительных погрешностей  $q$  среднеквадратических отклонений  $s$  для различных степеней свободы  $\nu$ . По результатам этих вычислений построены графики зависимостей между  $q$  и  $n$  для уровней надежности  $\gamma = 0,80$ ;  $\gamma = 0,90$ ;  $\gamma = 0,95$ ;  $\gamma = 0,99$  [23], которые представлены на рис. 2. Полученные графики согласуются с имеющимися в литературе по статистике отдельными данными [20; 22; 24].



**Рис. 2.** Зависимости между точностью  $q$  и объемом выборки  $n$  для статистических среднеквадратических отклонений  $s$  разных уровней надежности  $\gamma$   
 [Dependence between the accuracy  $q$  and the sample size  $n$  for statistical standard deviations  $s$  of different levels of reliability  $\gamma$ ]

Из графиков рис. 2 видно, что для вычисления среднеквадратических значений  $\sigma(\delta_j)$  отклонений узлов стержневых пространственных конструкций с относительной погрешностью 5% и надежностью  $\gamma = 0,95$  необходимо проведение не менее 900 испытаний, т.е.  $n \geq 900$ .

**Выводы.** Полученные зависимости позволяют оценить точность вычисленных в результате компьютерного статистического моделирования среднеквадратических значений отклонений узлов  $\sigma(\delta_j)$  действительной геометрической и конструктивной формы стержневых пространственных конструкций от проектного положения, т.е. их погрешностей. Кроме того, они позволяют заранее определить количество испытаний или объем выборки  $n$ , необходимый для определения погрешностей сборки и монтажа стержневых пространственных конструкций с заданной точностью.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Котлов А.Ф.* Допуски и технические измерения при монтаже металлических и железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1988. 304 с.
- [2] *Савельев В.А., Лебедь Е.В.* Численное моделирование действительной формы консольной составной конструкции. Деп. во ВНИИИС № 8102. Библ. указ. деп. рук., вып. 4. 1988. 24 с.

- [3] *Лебедь Е.В.* Численное исследование возможных начальных несовершенств геометрической формы составных конструкций. Деп. во ВНИИИС № 9659. Библ. указ. деп. рук., вып. 7. 1989. 24 с.
- [4] Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С. Королюк, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин. М.: Наука, 1985. 640 с.
- [5] *Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В.* Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. М.: Наука, 1965. 512 с.
- [6] *Торкатюк В.И.* Монтаж конструкций большепролетных зданий. М.: Стройиздат, 1985. 170 с.
- [7] *Энгель Х.* Несущие системы / пер. с нем. Л.А. Андреевой. М.: АСТ: Астрель, 2007. 344 с.
- [8] *Соболь И.М.* Численные Методы Монте-Карло. М.: Наука, 1973. 312 с.
- [9] *Пугачев В.С.* Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Наука, 1979. 496 с.
- [10] *Савельев В.А., Лебедь Е.В.* Математическое моделирование на ЭВМ процесса возведения пространственных сооружений. Деп. во ВНИИНТПИ № 9811. Библ. указ. деп. рук., вып. 9. 1989. 37 с.
- [11] *Савельев В.А., Лебедь Е.В., Шебалина О.В.* Математическое моделирование монтажа пространственных конструкций // Промышленное строительство. 1991. № 1. С. 18—20.
- [12] *Лебедь Е.В.* Численное исследование погрешностей возведения большепролетных металлических куполов на ЭВМ // Совершенствование конструктивных решений и методов расчета строительных конструкций: Межвуз. науч. сб. / СГТУ. Саратов, 1999. С. 45—52.
- [13] *Лебедь Е.В.* Численное исследование на ЭВМ погрешностей сборки сетчатого купола // Совершенствование строительных конструкций, архитектурных решений, технологии и организации строительства: Матер. науч.-техн. конф. Ч. 1 / СГТУ. Саратов, 1996. С. 109—114.
- [14] *Лебедь Е.В.* Особенности численного моделирования монтажа каркаса односетчатого купола // Вестник ВолгГАСА. Серия: Строительство и архитектура. Вып. 3(9) / Волгоград, ВолгГАСА, 2003. С. 81—86.
- [15] *Лебедь Е.В.* Точность возведения стержневых пространственных металлических покрытий и ее прогнозирование // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2013. № 4. С. 5—12.
- [16] *Лебедь Е.В.* Геометрический расчет каркасов пространственных сооружений. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2001. 40 с.
- [17] *Лебедь Е.В.* Генерация большого количества псевдослучайных нормально-распределенных чисел для моделирования действительной формы куполов // Совершенствование методов расчета строительных конструкций и технологии строительства: Межвуз. науч. сб. / СГТУ. Саратов, 2002. С. 81—86.
- [18] *Лебедь Е.В.* Характер распределения отклонений узлов опорного контура односетчатого купола при полносборной установке // Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. Вып. 15(34) / Волгоград, ВолгГАСУ, 2009. С. 55—60.
- [19] *Закс Л.* Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. 598 с.
- [20] *Солонин И.С.* Математическая статистика в технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1972. 216 с.
- [21] *Янко Я.* Математико-статистические таблицы / пер. с чешск. М.: Госстатиздат, 1961. 243 с.
- [22] *Оуэн Д.Б.* Сборник статистических таблиц / пер. с англ. М.: Вычислительный центр АН СССР, 1973. 586 с.
- [23] *Лебедь Е.В.* Оценка точности вычисления среднеквадратического отклонения случайной величины / Деп. во ВИНТИ № 437 — В 91. Библ. указ. деп. научн. раб., вып. 5. 1991. 5 с.
- [24] *Большев Л.Н., Смирнов Н.В.* Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1965. 464 с.

## ACCURACY OF STATISTICAL CALCULATION OF RANDOM ERRORS OF SPACE TRUSSES

**E.V. Lebed**

Chair of Metal and Wooden Structures  
Moscow State University of Civil Engineering  
(National Research University)  
*Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, Russia, 129337*

Probabilistic treatment of the deviation of real dimensions of bar elements from their nominal values leading to the errors in geometry of structures is presented in the paper. It is noticed that the distribution of errors in framed structures is of normal character.

The main principles of statistical modelling of the real form of a space truss and estimation of errors are discussed, and the arguments presented for using the standard deviation as the primary statistical parameter of errors. It is demonstrated that the accuracy of calculation of standard deviations of errors must be accounted for in engineering problems. Based on the numerical values of the chi-square distribution the dependence is obtained between the accuracy of the standard deviation and the sample size for different levels of reliability.

**Key words:** errors in framed systems, accuracy of statistical calculation, random variable, statistical mean, standard deviation, level of reliability, sample size

### REFERENCES

- [1] Kotlov A.F. *Dopuski i tehnicheckie izmireniya pri montazhe metallicheskih i zhelezobetonnykh konstruktsiy* [Tolerances and technical measurements in the installation of metal and concrete structures]. M.: Stroyizdat, 1988. 304 p.
- [2] Savel'ev V.A., Lebed' E.V. *Chislennoe modelirovanie deistvitel'noy formy konsol'noy sostavnoy konstruktsii* [Numerical modelling of the actual form of cantilever compound structure]. Dep. vo VNIIS № 8102. Bibl. ukaz. dep. ruk. [Library index of deposited manuscripts], vyp. 4. 1988. 24 p.
- [3] Lebed' E.V. *Chislennoe issledovanie vozmozhnykh nachal'nykh nesovershenstv geometricheskoy formy sostavnykh konstruktsiy* [Numerical investigation of possible initial imperfections of geometric shape of compound structures]. Dep. vo VNIIS № 9659. Bibl. ukaz. dep. ruk. [Library index of deposited manuscripts], vyp. 7. 1989. 24 p.
- [4] *Spravochnik po teorii veroyatnostey i matematicheskoi statistike* [Handbook on the Theory of Probability and Mathematical Statistics] / V.S. Korolyuk, N.I. Portenko, A.V. Skorokhod, A.F. Turbin. M.: Nauka. Glav. red. fiz.-mat. liter. 1985. 640 p.
- [5] Smirnov N.V., Dunin-Barkovskiy I.V. *Kurs teorii veroyatnostey i matematicheskoy statistiki dlya tekhnicheskikh prilozheniy* [Course of Theory of Probability and Mathematical Statistics for technical applications]. M.: Nauka, 1965. 512 p.
- [6] Torkatyuk V.I. *Montazh konstruktsiy bol'sheproletnykh zdaniy* [Installation of structures of large-span buildings]. M.: Stroyizdat, 1985. 170 p.
- [7] Engel H. *Nesushchie sistemy* [Load Bearing Systems] / Per. s nem. L.A. Andreevoi. M.: AST: Astrel, 2007. 344 p.
- [8] Sobol I.M. *Chislennyye Metody Monte-Karlo* [Numerical Methods of Monte-Carlo]. M.: Nauka, 1973. 312 p.
- [9] Pugachev V.S. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Theory of Probability and Mathematical Statistics]. M.: Nauka, 1979. 496 p.
- [10] Savel'ev V.A., Lebed' E.V. *Matematicheskoe modelirovanie na EVM protsessa vozvedeniya prostranstvennykh sooruzheniy* [Mathematical modelling with computers of the assembly process

- of space structures]. Dep. vo VNIINTPI № 9811. Bibl. ukaz. dep. ruk. [Library index of deposited manuscripts], vyp. 9. 1989. 37 p.
- [11] Savelyev V.A., Lebed E.V., Shebalina O.V. Matematicheskoe modelirovanie montazha prostranstvennykh konstruksiy [Mathematical modeling of spatial structures installation]. Promyshlennoe stroitelstvo [Industrial construction]. 1991. № 1, pp. 18—20.
- [12] Lebed E.V. Chislennoe issledovanie pogreshnostey vozvedeniya bolsheproletnykh metallicheskih kupolov na EVM [Numerical computer investigation of assembly errors of large-span metal domes]. Sovershenstvovanie konstruktivnykh resheniy i metodov rascheta stroitelnykh konstruksiy [Advances in structural systems and methods for their analysis]; Mezhhvuz. nauch. sb. [Intercollegiate Scientific collection] / SGTU. Saratov, 1999, pp. 45—52.
- [13] Lebed E.V. Chislennoe issledovanie na EVM pogreshnostey sborki setchatogo kupola [Numerical computer investigation of assembly errors of lattice dome]. Sovershenstvovanie stroitel'nykh konstruksiy, arkhitekturnykh rezheniy, tekhnologii i organizatsii stroitel'stva [Improvement of building structures, architectural solutions, technology and organization of construction]: Mater. nauch.-tekhn. konf. Ch. 1 / SGTU. Saratov, 1996, pp. 109—114.
- [14] Lebed E.V. Osobennosti chislennogo modelirovaniya montazha karkasa odnosetchatogo kupola [Specifics of numerical modelling of the installation of the frame of single-layer lattice dome]. Vestnik VolgGASA. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura [Journal of Volgograd State University for Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture]. Vyp. 3(9). 2003, pp. 81—86.
- [15] Lebed E.V. Tochnost' vozvedeniya sterzhnevyykh prostranstvennykh metallicheskih pokrytiy i ee prognozirovaniye [Accuracy in construction of metal space framed roofs and its predicting]. Nauchnyy zhurnal Vestnik RUDN (Moskva). Seriya: Inzhenernye issledovaniya [Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Scientific journal. Series Engineering researches]. 2013. № 4, pp. 5—12.
- [16] Lebed E.V. Geometrichesky raschet karkasov prostranstvennykh sooruzheniy [Geometrical analysis of frames of space structures]. Saratov: Sarat. gos. tehn. un-t [Saratov, Saratov State Technical University]. 2001. 40 p.
- [17] Lebed E.V. Generatsiya bol'shogo kolichestva psevdosluchainykh normal, no-raspredeleennykh chisel dlya modelirovaniya deystvitel'noi formy kupolov [Generation of large volume of pseudo-random numbers with normal distribution for modelling of actual shapes of domes]. Sovershenstvovanie metodov rascheta stroitelnykh konstruksiy i tekhnologii stroitel'stva [Advances in structural systems, methods for their analysis and technology of construction]: Mezhhvuz. nauch. sb. [Intercollegiate Scientific collection] / SGTU. Saratov, 2002, pp. 81—86.
- [18] Lebed E.V. Kharakter raspredeleniya otkloneniy uzlov opornogo kontura odnosetchatogo kupola pri polnosbornoi ustanovke [Distribution mode of deviations of the support contour of a single-layer lattice dome during prefabricated installation]. Vestnik VolgGASU. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura [Journal of Volgograd State University for Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture]. Vyp. 15(34). 2009, pp. 55—60.
- [19] Zaks L. Statisticheskoe otsenivaniye [Statistical Evaluation]. M.: Statistika, 1976. 598 p.
- [20] Solonin I.S. Matematicheskaya statistika v tekhnologii mashinostroeniya [Mathematical Statistics for Technology of Machine Building]. M.: Mashinostroenie, 1972. 216 p.
- [21] Yanko Ya. Matematiko-statisticheskie tablitsy [Mathematical-Statistical Tables]. Per. s chesk. M.: Gosstatizdat, 1961. 243 p.
- [22] Ouen D.B. Sbornik statisticheskikh tablits [Collection of Statistical Tables]. Per. s angl. M.: Vychislitel'nyi tsentr AN SSSR, 1973. 586 p.
- [23] Lebed' E.V. Otsenka tochnosti vychisleniya srednekvadratcheskogo otkloneniya sluchaynoy velichiny [Evaluation of the accuracy of computing of the mean square deviation of a random value] / Dep. vo VINITI № 437 — V91. Bibl. ukaz. dep. nauchn. rab. [Library index of deposited manuscripts], vyp. 5. 1991. 5 p.
- [24] Bol'shev L.N., Smirnov N.V. Tablitsy matematicheskoy statistiki [Tables of Mathematical Statistics]. M.: Nauka, 1965. 464 p.

## ПЛАНИРОВАНИЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ РАЗНОРОДНЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

А.А. Баранов<sup>1</sup>, В.Ю. Разумный<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

*Миусская пл., д. 4, Москва, Россия, 125047*

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

*2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, Москва, Россия, 105005*

<sup>1,2</sup> Российский университет дружбы народов

*ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198*

Рассматривается задача планирования облета требующих обслуживания космических объектов. Предполагается, что развернута система базовых станций (БС), предназначенная для обслуживания заданной совокупности спутников, находящихся на различных низких орбитах. За заданное время необходимо подлететь к каждому из спутников, требующих обслуживания. Обслуживание осуществляется с помощью находящихся на базовых станциях отделяемых модулей (ОМ). На основе анализа портрета отклонений долготы восходящего узла всех обслуживаемых спутников и базовых станций определяется, какой ОМ должен перелететь в окрестность какого спутника, чтобы общие затраты суммарной характеристической скорости всех ОМ были минимальны.

**Ключевые слова:** обслуживание в космосе, межорбитальные перелеты, низкие орбиты, минимизация характеристической скорости

### Введение

В настоящее время на низких орбитах планируется развернуть несколько спутниковых систем, каждая из которых будет состоять из сотен спутников. Будут пополняться существующие спутниковые системы. Для увеличения срока существования всех этих систем и уменьшения затрат на поддержание их функционирования целесообразно создать систему базовых станций (БС) для обслуживания входящих в системы спутников. На каждой станции будут находиться отделяемые модули (ОМ), способные отремонтировать или дозаправить спутники систем.

Можно выделить три этапа решения баллистических задач, связанных с обслуживанием. На **первом этапе** осуществляется проектирование конфигурации обслуживающей системы. Необходимо определить число БС и их начальные орбиты, чтобы ОМ могли подлететь к каждому требующему обслуживания спутнику, при этом необходимо учитывать ограничение на количество топлива на отделяемом модуле, ограничение на время перелета и т.д.

Результаты второго и третьего этапов могут быть использованы и при проектировании обслуживающей системы. Решение задач всех трех этапов существенно усложняется разнородностью орбит обслуживаемых спутников. Орбиты могут

отличаться по всем параметрам и, что особенно важно, иметь значительные отклонения долготы восходящего узла (ДВУ), которые могут достигать десятков и даже сотен градусов.

**Второй этап.** На втором этапе требуется рассчитать параметры маневров, обеспечивающих перевод каждой базовой станции с орбиты выведения на позицию, определенную для нее при проектировании обслуживаемой системы. Если орбита выведения БС и орбита ее функционирования имеют значительные отклонения ДВУ, для определения параметров маневров можно воспользоваться разработанным авторами методом [1; 2]. Данный метод был протестирован на решении задач восполнения спутниковой системы Global Star, спутниковой группы (Formation Flying) Aqua Train и т.д. и показал свою высокую эффективность. При небольших отклонениях ДВУ и наклона можно воспользоваться методом, описанным в [3].

**Третий этап.** Задача поддержания заданной конфигурации обслуживаемой системы может решаться в разных вариантах. Задача относительного (гибкого) поддержания заданной конфигурации спутниковой системы была решена авторами в работе [4]. Предлагается простое численно-аналитическое решение задачи, позволяющее найти оптимальное решение, которое невозможно получить с помощью традиционного метода выделения спутника лидера. Задача поддержания угла между плоскостями орбит многоярусной синхронизированной спутниковой системы была решена авторами в работе [5]. Задача поддержания орбиты одного спутника, которая может быть использована при абсолютном (жестком) поддержании конфигурации спутниковой системы, была решена авторами в работе [6]. Для поддержания конфигурации обслуживаемой системы может понадобиться модификация описанных выше задач или их комбинация.

Наибольший интерес представляет задача планирования перелетов к заданным ОС и задача расчета параметров перелета, обеспечивающего вывод ОМ в заданную окрестность ОС. Для решения последней задачи также можно воспользоваться методом, описанным в [1; 2]. Было проведено сравнение эффективности данного метода с эффективностью методов, описанных в работах [7; 8], на примере решения задачи встречи на орбите Марса, в которой требовалось изменить ДВУ орбиты на  $182^\circ$ , имелись отклонения и всех остальных элементов орбит. Было показано, что в решении, предложенном коллективом из NASA, требуется на 60% больше суммарной характеристической скорости (СХС). Численный метод, разработанный коллективом из JPL и Техасского университета, позволяет найти оптимальное решение, но требует значительных вычислений и не дает возможности определить компромиссное время перелета, с высокой точностью определенное в работе NASA. В методе, описанном в работах [1; 2], используется численно-аналитический прогноз движения КА и численно-аналитическое определение параметров маневров, что позволяет на порядки быстрее получить оптимальное решение задачи, а также найти компромиссное время перелета. При небольших отклонениях ДВУ и наклона орбит БС и ОС для расчета параметров маневров, также можно воспользоваться методом, описанным в [3].

При решении задачи планирования обслуживания, рассматриваемой в данной статье, необходимо на заданном временном интервале  $\Delta T$  определить, какой ОМ должен подлететь к какому ОС, чтобы общие затраты СХС всех ОМ были минимальны. Предполагается, что на каждой БС находится одинаковое число ОМ, причем ОМ могут быть как возвращаемые (например, ОМ предназначенные для дозаправки ОС топливом) так и не возвращаемые, которые могут самостоятельно перелетать от одного ОС к другому. БС может и не иметь отделяемых блоков и сама выполнять обслуживание. Задача планирования разбивается на две подзадачи. Определение СХС перелета ОМ к ОС на заданном временном интервале, которому соответствует  $N$  витков полета ОС, и непосредственно определение плана облета, какой ОМ должен подлететь к какому ОС.

На стадиях выбора плана обслуживания и проектирования конфигурации обслуживающей группировки при решении задачи маневрирования важна не точность решения задачи перелета (точность вывода ОМ в заданную окрестность ОС), а скорость решения задачи и корректность оценки СХС перелета. Это дает возможность решать задачу в упрощенной постановке, например, использовать линеаризованные уравнения движения КА.

Оценим затраты СХС необходимой для перелета ОМ в окрестность ОС. Вначале рассмотрим два частных, но часто встречающихся для обслуживающей системы случая.

В первом случае ОМ находится на той же орбите что и ОС, но имеет отличие в аргументе широты  $\Delta u$ , которое измеряется в долях витка, его максимальное по модулю значение не может быть более 0,5. Используя уравнение (1), описывающее изменение положение спутника вдоль орбиты в результате действия радиальной и трансверсальной составляющих импульса скорости [3]:

$$\sum_{i=1}^N (2\Delta V_{ri}(1 - \cos \varphi_i) + \Delta V_{ti}(-3\varphi_i + 4 \sin \varphi_i)) = \Delta t. \quad (1)$$

Затраты СХС на перелет, позволяющий перевести ОМ вдоль орбиты и осуществляемый с помощью двух трансверсальных импульсов скорости, можно оценить по формуле

$$\Delta V \approx \frac{2|\Delta u|}{3N} V_0,$$

где  $V_0 = \sqrt{\frac{\mu}{r_0}}$  — скорость движения ОМ по круговой орбите радиуса  $r_0$ ;  $N$  — число витков перелета.

Момент приложения импульса скорости на витке произвольный. Первый трансверсальный импульс скорости переводит ОМ на орбиту с другим периодом, а аналогичный по величине, но противоположный по знаку второй импульс скорости восстанавливает первоначальную орбиту.



За время этого перелета за счет разной эволюции исходной и фазирующей орбит их плоскости разойдутся по долготе восходящего узла на угол [9]:

$$\Delta\Omega = \frac{4}{3}\delta\Omega\Delta u, \quad (2)$$

где  $\delta\Omega = -\frac{2\pi\varepsilon}{\mu p^2}\cos i$ ,  $i$  — наклонение орбиты,  $p$  — фокальный параметр (для круговых орбит  $p = r_0$ ),  $\varepsilon = 2,634 \cdot 10^{10} \text{ км}^5/\text{с}^2$ ,  $\mu = \gamma M = 3,986028 \cdot 10^5 \text{ км}^3/\text{с}^2$  ( $\gamma$  — гравитационная постоянная,  $M$  — масса Земли).

С учетом коррекции этого отклонения (у импульсов скорости появляются боковые составляющие) минимальные затраты на перелет определяются по формуле [9]:

$$\Delta V = 2\sqrt{\Delta V_t^2 + \Delta V_z^2} = \frac{2}{3}|\Delta u|V_0\sqrt{\frac{1}{N^2} + \frac{4\delta\Omega^2 \sin^2 2i}{N^2\delta\Omega^2 \sin^4 i + 4\cos^2 i}}. \quad (3)$$

Возникшее отклонение по ДВУ корректируется с помощью боковой составляющей импульса скорости в точке орбиты, задаваемой углом

$$u_0 = \arctg \frac{2}{Nk \sin i}, \text{ где } k = -\delta\Omega \text{tg} i$$

как за счет непосредственной коррекции  $\Omega$ , так и за счет ее коррекции с помощью изменения наклонения орбиты ожидания.

Во втором случае орбиты ОМ и ОС также имеют одинаковый радиус, но имеется отличие их ДВУ  $\Delta\Omega$ . Обслуживаемый спутник находится в другой рабочей плоскости.

Большие затраты СХС, требуемые для изменения ориентации плоскости орбиты, обуславливают отказ от непосредственной коррекции разницы ДВУ при помощи двигательной установки (ДУ) ОМ. Задача поворота орбитальной плоскости по ДВУ может быть решена за счет использования свойства прецессии линии узлов вследствие нецентральности гравитационного поля Земли.

Для перелета от одного объекта к другому используется орбита ожидания, специально формируемая таким образом, чтобы за заданное количество витков полета ОС  $N$  плоскости орбит ОМ и ОС практически совпали.

В этом варианте минимальные затраты на четырехимпульсный перелет (по два импульса в начале и конце перелета) определяются по формуле [9]:

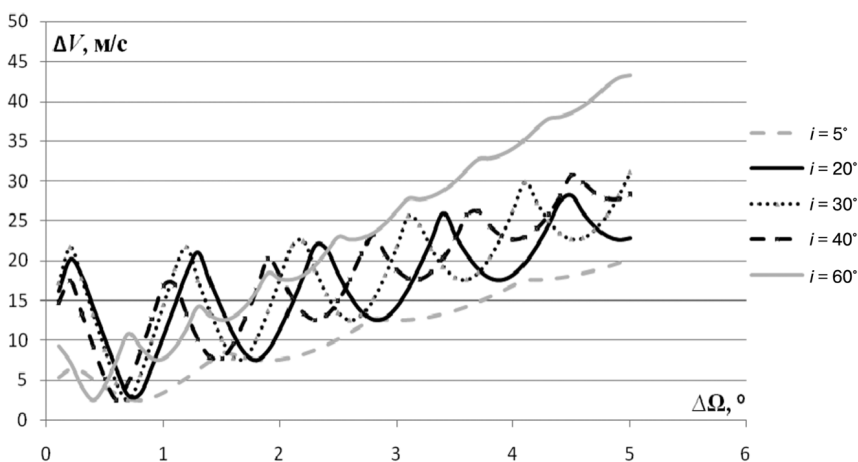
$$\Delta V = \frac{2}{3}V_0\sqrt{\frac{(\Delta u + n)^2}{(N + n)^2} + \frac{(3\Delta\Omega - (4\Delta u + 7n)\delta\Omega)^2}{(N + n)^2\delta\Omega^2 \text{tg}^2 i + \frac{4}{\sin^2 i}}}. \quad (4)$$

Как можно видеть,  $\Delta V$  зависит от  $n$  — разницы в числе витков полета ОМ и ОС. Поиск оптимального значения  $n_{opt}$  довольно прост, так как оно близко к величине

$$n_{opt}^* = \frac{3\Delta\Omega - 4\Delta i \delta\Omega}{7\delta\Omega}, \quad (5)$$

доставляющей минимум второму слагаемому в формуле (4).

На рисунке 1 представлены результаты расчетов (графики функций  $\Delta V = f(\Delta\Omega)$ ) для различных наклонений в малом диапазоне углов  $\Delta\Omega$ . Функция затрат суммарной характеристической скорости в этом случае представляет собой кривую с затухающими колебаниями, причем интенсивность этих колебаний существенно зависит от наклона орбиты. На основании рис. 1 можно сделать следующий важный вывод: для небольших отклонений по ДВУ (менее  $10^\circ$ ) затраты СХС, требующиеся для коррекции относительно большого отклонения ДВУ, могут быть почти в два раза меньше затрат СХС, требующихся для коррекции существенно меньшего отклонения ДВУ. Это объясняется тем, что параметр  $n$ , по своему определению является целочисленным, что исключает возможность точной компенсации расхождений в ДВУ одной лишь операцией фазирования в плоскости орбиты и необходима непосредственная коррекция оставшегося отличия ДВУ, которая особенно возрастает, когда  $n$  попадает в середину диапазона между целочисленными значениями.



**Рис. 1.** Зависимость затрат скорости от рассогласования по ДВУ для разных наклонений для высоты 700 км и  $N = 1000$   
 [Velocity budget dependence from RAAN desynchronization for various inclinations for altitude 700 km and  $N = 1000$ ]

В общем случае орбиты ОМ и ОС полностью отличаются. Кроме отличия ДВУ ( $\Delta\Omega$ ) имеется отличие радиусов ( $\Delta a$ ), наклона ( $\Delta i$ ) орбит и вектора эксцентриситета ( $\Delta e$ ). Переход на орбиту ожидания и дальнейший перевод ОМ в окрестность ОС осуществляются за счет исполнения четырех маневров, которые попарно реализуются на первом и последнем витках перелета. Каждый из маневров имеет трансверсальную и бинормальную составляющие. Суммы трансверсальных

и боковых составляющих импульсов скорости первого и второго интервалов маневрирования обозначим соответственно  $\Delta V_{iI} = \Delta V_{i1} + \Delta V_{i2}$ ,  $\Delta V_{iII} = \Delta V_{i3} + \Delta V_{i4}$ ,  $\Delta V_{zI} = \Delta V_{z1} + \Delta V_{z2}$ ,  $\Delta V_{zII} = \Delta V_{z3} + \Delta V_{z4}$ . Предполагается, что все импульсы скорости прикладываются на экваторе, что оптимально для коррекции наклона. Коррекция отклонения по ДВУ осуществляется за счет подбора необходимой эволюции плоскости орбиты ожидания. При этих предположениях условия выхода в окрестность цели можно записать в виде [1; 9]:

$$2 \frac{\Delta V_{iI} + \Delta V_{iII}}{V_0} = \frac{\Delta a_0}{a_0}, \quad (6)$$

$$-3(N+n) \frac{\Delta V_{iI}}{V_0} = -3N \frac{\Delta V_{iI} + \Delta V_{iII}}{V_0} + \Delta u_0^* + n, \quad (7)$$

$$\frac{\Delta V_{zI} + \Delta V_{zII}}{V_0} = \Delta i_0, \quad (8)$$

$$\begin{aligned} & -4(N+n)\delta\Omega \frac{\Delta V_{iI}}{V_0} - (N+n)\delta\Omega \operatorname{tg} i \frac{\Delta V_{zI}}{V_0} = \\ & = -4N\delta\Omega \frac{\Delta V_{iI} + \Delta V_{iII}}{V_0} - N\delta\Omega \operatorname{tg} i \frac{\Delta V_{zI} + \Delta V_{zII}}{V_0} + \Delta\Omega - \delta\Omega n. \end{aligned} \quad (9)$$

В системе (6)—(9) первое уравнение описывает коррекцию отклонения по большой полуоси, второе — коррекцию отклонения вдоль орбиты, третье — коррекцию отклонения по наклону, четвертое — коррекцию отклонения по ДВУ. Коррекция вектора эксцентриситета не учитывается, так как это отклонение мало и не вносит существенного вклада в СХС.

В системе (6)—(9) переменных больше, чем уравнений. Выбрав  $n$  в качестве независимой переменной, можно найти выражения для сумм трансверсальных и боковых составляющих импульсов скорости первого и второго интервалов маневрирования:

$$\Delta V_{iI} = V_0 \left[ \frac{N\Delta a_0}{2(N+n)a_0} - \frac{\Delta u_0^* + n}{3(N+n)} \right], \quad (10)$$

$$\Delta V_{iII} = V_0 \frac{\Delta a_0}{2a_0} - \Delta V_{iI}, \quad (11)$$

$$\Delta V_{zI} = \frac{V_0}{N+n} \left[ N\Delta i_0 - \frac{4(\Delta u_0^* + n)\delta\Omega + 3(\delta\Omega n - \Delta\Omega)}{3\delta\Omega \operatorname{tg} i} \right], \quad (12)$$

$$\Delta V_{zII} = V_0 \Delta i - \Delta V_{zI}. \quad (13)$$

Оптимальным будет значение  $n$ , доставляющее минимум СХС перелета:

$$\Delta V = \sqrt{\Delta V_{i1}^2 + \Delta V_{z1}^2} + \sqrt{\Delta V_{iII}^2 + \Delta V_{zII}^2}.$$

Если маневры выполняются двигателями малой тяги, то для уточнения их величин можно воспользоваться результатами, приведенными в [10] и [11].

### Решение задачи планирования

Решение задачи планирования, т.е. задачи определения того, какой из ОМ должен обслужить такой ОС, чтобы СХС всех задействованных ОМ была минимальна, может быть получено на основе анализа портрета эволюции отклонений ДВУ всех БС и требующих в данный момент обслуживания ОС. Отклонения вычисляются относительно ДВУ орбиты одного из объектов этих групп. Данный подход был использован авторами для проектирования последовательности облета крупногабаритного космического мусора [12], однако рассматриваемая задача имеет ряд существенных отличий. Одно из отличий состоит в том, что стратегия выбора ОМ для обслуживания конкретного ОС разрабатывается с учетом имеющегося числа отделяемых модулей на борту БС. Существенно отличаются также интервалы времени, на которых совершается облет объектов. При облете крупногабаритного космического мусора один КА-сборщик за несколько лет должен облететь как можно больше объектов. В данной задаче предпочтительно использовать максимально возможное число ОМ, чтобы за короткий временной интервал успеть облететь требующие обслуживания объекты.

Общим свойством элементов групп БС и ОС являются значительные угловые отклонения плоскостей их орбит по ДВУ. Для визуализации отклонений орбит объектов по ДВУ (коррекция этих отклонений наиболее затратная и требует продолжительных перелетов) целесообразным является построение портрета эволюции отклонений ДВУ  $i$ -х орбит во времени относительно ДВУ орбиты одного ( $k$ -го) объекта, входящего в одну из двух групп. Временной интервал, на котором строится портрет эволюции отклонений ДВУ, равен заданному времени обслуживания всех ОС  $\Delta T$ .

Можно выделить три возможных случая взаимного расположения прямых относительного рассогласования ДВУ (реально эти линии не прямые, но очень близки к прямым). В первом случае прямые относительного рассогласования по ДВУ  $\Delta\Omega_{ik}(t)$ , имеют малый угол наклона к оси абсцисс и образуют семейство квазипараллельных прямых (рис. 2). Во втором случае прямые  $\Delta\Omega_{ik}(t)$  имеют угловые коэффициенты различного знака и абсолютной величины, что приводит к значительному числу пересечений этих прямых на портрете эволюции отклонений ДВУ (рис. 3). Третий случай взаимного расположения прямых  $\Delta\Omega_{ik}(t)$  представляет собой комбинацию первых двух. На рисунке 2 и рисунке 3 ОМ соответствуют сплошные линии, а ОС — пунктирные.

Квазипараллельность линий на портрете эволюции отклонений ДВУ (первый случай) означает, что орбитальные плоскости объектов обеих групп устойчивы в своем относительном угловом движении. Выбранный ОМ обслуживает ОС, которому соответствует линия ближайшая к линии данного ОМ (различия в ДВУ

минимальны). Например, ОМ, которому соответствует линия 4a (рис. 2, сплошная линия), должен подлететь к ОС, которому соответствует линия 1t (пунктирная линия), а ОМ, которому соответствует линия 5a, обслуживает ОС, которому соответствует линия 2t. Если с противоположной стороны от линии ОС ближайшей к ней является еще одна линия, соответствующая другому ОС (линия 3t), то обслуживание следующего ОС может совершить тот же ОМ (располагавшийся на БС, которой соответствует линия 5a). Однако необходимо проверить, нет ли далее с этой стороны линии, соответствующий другой БС (линия 6a), и сравнить, какой перелет требует меньших затрат СХС. Надо также учитывать, что перелет в сторону естественной прецессии требует меньших затрат СХС. Необходимо помнить о колеблющей форме зависимости  $\Delta V = f(\Delta\Omega)$  для относительно небольших отклонений  $\Delta\Omega_{ik}(t)$  и в случае необходимости проверять не только ближайшую, но и следующую за ней линию. Необходимо также контролировать и время перелета при обслуживании двух ОС одним ОМ, чтобы оно соответствовало ограничению задачи. Каждый из таких перелетов требует формирования орбиты ожидания, которая обеспечивает необходимую эволюцию ДВУ. Поскольку СХС уменьшается с увеличением времени перелета, оптимально полностью использовать время, разрешенное для обслуживания данного ОС.

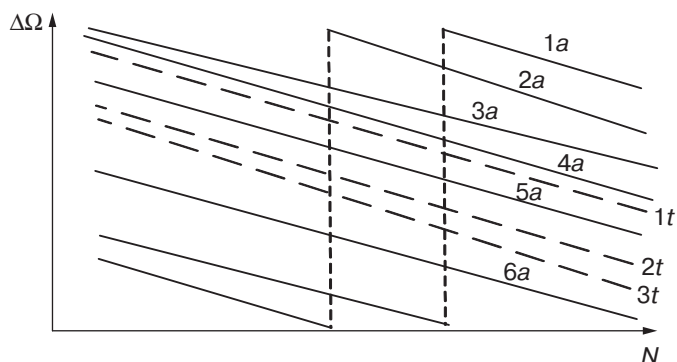


Рис. 2. Отклонениям ДВУ соответствуют квазипараллельные линии [RAAN deviation as quasiparallel lines]

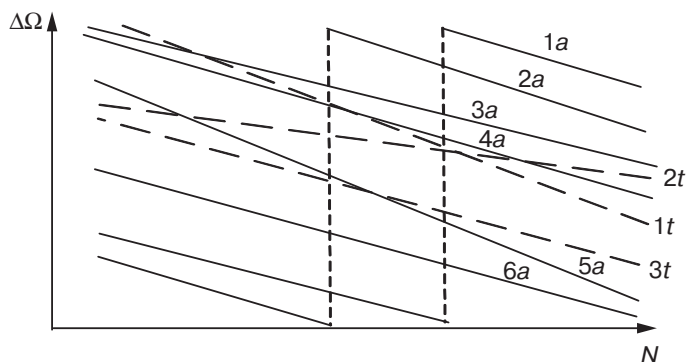


Рис. 3. Отклонениям ДВУ соответствуют пересекающиеся линии [RAAN deviation as crossover lines]

На рисунке 4, *а* изображена схема перелета от БС (линия № 1) к первому ОС (линия № 2) и следующему ОС (линия № 3). Каждой стрелке соответствуют два импульса скорости. Для каждого перелета необходимы четыре импульса скорости, по два вначале и в конце перелета.

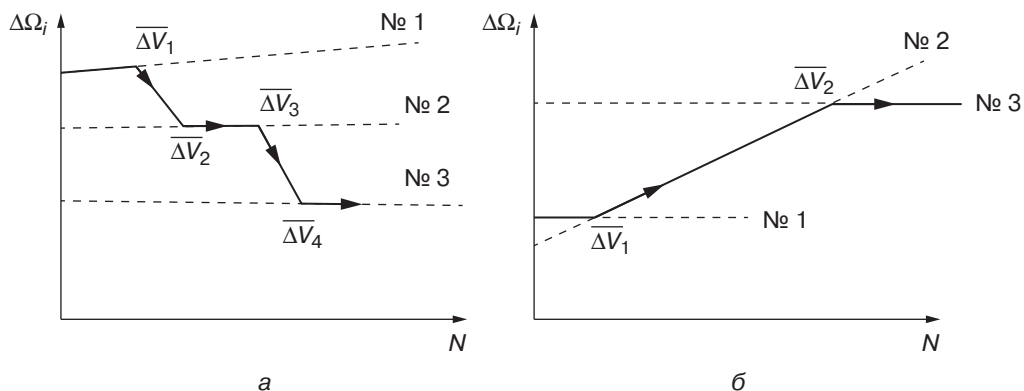


Рис. 4. Схемы перелета [Flight schems]

Многочисленные пересечения прямых  $\Delta\Omega_{ik}(t)$  на портрете эволюции отклонений ДВУ могут быть использованы для формирования другого подхода к составлению плана облета объектов. ОМ переходит со своей орбиты (линия № 1, рис. 4, б) на орбиту ОС (линия № 2) в момент пересечения соответствующих прямых, что означает совпадение плоскостей орбит по ДВУ. Затем, находясь на орбите первого ОС, дожидается, когда совпадут ДВУ этой орбиты и орбиты следующего ОС (пересечение линии № 2 и линии № 3). В этот момент осуществляется перелет в окрестность следующего ОС. Например, в момент пересечения линий  $3a$  и  $1t$  осуществляется перелет в окрестность первого ОС. Далее, находясь на орбите этого ОС (линия  $1t$ ), он ожидает момента пересечения линии, соответствующей текущему ОС, с линией, соответствующей следующему ОС (линия  $2t$ ). Перелеты совершаются в момент совпадения ДВУ орбит, поэтому для вывода ОМ в окрестность ОС достаточно двух импульсов скорости. Число используемых импульсов скорости уменьшается вдвое, и нет необходимости в затратном формировании орбит ожидания. Вследствие большого количества пересечений прямых  $\Delta\Omega_{ik}(t)$  могут быть найдены несколько цепочек из таких перелетов. Проблема заключается в том, чтобы данные перелеты уложились в отведенное время. Чтобы ускорить процесс обслуживания можно перейти к первому варианту. Необходимо также учесть, что на БС может быть несколько ОМ. Этому случаю соответствуют несколько совпадающих прямых.

Так как третий случай взаимного расположения прямых  $\Delta\Omega_{ik}(t)$  представляет собой комбинацию первых двух вариантов, для расчета маневров обслуживания необходимо рассмотреть и совместить примененные ранее подходы. Сначала анализируются более экономные решения, соответствующие пересекающимся линиям, а затем, когда остаются только квазипараллельные линии, рассматривается первый вариант.

### Решение задачи проектирования

Решение задачи проектирования состоит в определении количества необходимых БС в составе орбитальной группировки, параметров их орбит и расположения на орбитах для обслуживания заданных спутниковых систем. Получение какого-либо приемлемого варианта орбитальной структуры БС путем прямого перебора потребует бесконечно большого времени расчетов на ЭВМ в силу чрезвычайной сложности задачи. Авторами разрабатывается алгоритм решения задачи проектирования также основанный на анализе портрета эволюции отклонений ДВУ всех БС и ОС, вычисленных относительно ДВУ орбиты одного из объектов этих групп. Результаты решения данной задачи будут опубликованы позднее.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Баранов А.А., Баранов А.А. Алгоритм расчета параметров маневров формирования спутниковых систем // Космические исследования. 2009. Т. 47. № 3. С. 256—262.
- [2] Labourdette P.&A. Baranov A. Strategies for on-Orbit Rendezvous Circling Mars // AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Paper AAS 01-392, pp. 1—20, 1-6 August
- [3] Баранов А.А. Численно-аналитическое определение параметров маневров многовитковой встречи КА на близких околокруговых некомпланарных орбитах // Космические исследования. 2008. Т. 46. № 5. С. 430—439.
- [4] Баранов А.А., Баранов А.А. Поддержание заданной конфигурации спутниковой системы // Космические исследования. 2015. Т. 53. № 5. С. 409—413.
- [5] Баранов А.А., Будянский А.А., Чернов Н.В. Поддержание угла между плоскостями орбит разноразмерных спутниковых систем // Космические исследования. 2009. Т. 47. № 3. С. 256—262.
- [6] Ван Лицзе, Баранов А.А. Оптимальное удержание космического аппарата с двигателями малой тяги на солнечно-синхронной орбите // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия: Машиностроение. 2015. № 2. С. 68—83.
- [7] D'Amario L.A. & al. Mars Orbit Rendez-vous Strategy for the Mars 2003/2005 Sample Return Mission // AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Paper AAS 99-306, pp. 1—19, 16-19 August 1999, Girwood, Alaska.
- [8] Ocampo C., Guinn J., Breeden J. Rendezvous options and dynamics for the Mars sample return mission // AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Paper AAS 01-415, pp. 1—20, 2001.
- [9] Баранов А.А. Маневрирование космических аппаратов в окрестности круговой орбиты. М.: Спутник+, 2016. 512 с.
- [10] Баранов А.А., Прадо А.Ф.Б., Разумный В.Ю., Баранов А.А. Оптимальные переходы с малой тягой между близкими околокруговыми компланарными орбитами // Космические исследования. 2011. Т. 49. № 3. С. 278—288.
- [11] Баранов А.А., Каратунов М.О. Оценка параметров двух связанных маневров, выполненных активным космическим объектом // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2016. № 2. С. 142—153.
- [12] Баранов А.А., Гришко Д.А., Медведевских В.В., Лапшин В.В. Решение задачи облета объектов крупногабаритного космического мусора на солнечно-синхронных орбитах // Космические исследования. 2016. Т. 54. № 3. С. 242—251.

## PLANNING FOR ON-ORBIT SERVICING OF VARIOUS SATELLITE SYSTEMS

A.A. Baranov<sup>1</sup>, V.Yu. Razoumny<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Keldysh Institute of Applied Mathematics  
Miusskaya sq. 4, Moscow, Russia, 125047  
Bauman Moscow State Technical University  
2-ya Baumanskaya str., 5, build. 1, Moscow, Russia, 105005  
<sup>1,2</sup> RUDN University  
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

The problem of planning the circumnavigation of space objects requiring servicing is considered. It is assumed that system of base stations for servicing the given array of the satellites on different LEO orbits has been deployed. For a fixed time it is needed to flyby each satellite which requires servicing. The servicing is conducted using the detachable modules (DM) from the base stations. Basing on the RAAN deviation portrait for all serviceable satellites and base stations it is defined which DM should transfer to the vicinity of which satellite in order to have the lowest DM velocity budget.

**Key words:** space servicing, orbit transfers, low orbits, velocity budget minimization

### REFERENCES

- [1] Baranov A.A., Baranov A.A. Algoritm rascheta parametrov manevrov formirovaniya sputnikovoyh system. *Kosmicheskie issledovaniya*. 2009. T. 47. № 3. S. 256—262.
- [2] Labourdette P.&A. Baranov A. Strategies for on-Orbit Rendezvous Circling Mars. AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Paper AAS 01-392, pp. 1—20, 1-6 August
- [3] Baranov A.A. Chislennno-analiticheskoe opredelenie parametrov manevrov mnogovitkovoy vstrechi KA na blizkikh okolokrugovyh nekomplarnykh orbitah. *Kosmicheskie issledovaniya*. 2008. T. 46. № 5. S. 430—439.
- [4] Baranov A.A., Baranov A.A. Podderzhanie zadannoy konfiguracii sputnikovoy sistemy. *Kosmicheskie issledovaniya*. 2015. T. 53. № 5. S. 409—413.
- [5] Baranov A.A., Budjanskij A.A., Chernov N.V. Podderzhanie ugla mezhdu ploskostjami orbit raznouronnykh sputnikovoyh sistem. *Kosmicheskie issledovaniya*. 2009. T. 47. № 3. S. 256—262.
- [6] Van Licze, Baranov A.A. Optimal'noe uderzhanie kosmicheskogo apparata s dvigateljami maloj tjagi na solnechno-sinhronnoj orbite. *Vestnik MGTU im. N.Je. Baumana. Seriya: Mashinostroenie*. 2015. № 2. S. 68—83.
- [7] D'Amario L.A. & al. Mars Orbit Rendez-vous Strategy for the Mars 2003/2005 Sample Return Mission. AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Paper AAS 99-306, pp. 1—19, 16-19 August 1999, Girwood, Alaska.
- [8] Ocampo C., Guinn J., Breeden J. Rendezvous options and dynamics for the Mars sample return mission. AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Paper AAS 01-415, pp. 1—20, 2001.
- [9] Baranov A.A. Manevrirovaniye kosmicheskikh apparatov v okrestnosti krugovoy orbity. *Moskva: Sputnik +*, 2016. 512 s.
- [10] Baranov A.A., Prado A.F.B., Razumnyj V.Ju., Baranov A.A. Optimal'nye perehody s maloj tjagoy mezhdu blizkimi okolokrugovymi komplarnymi orbitami. *Kosmicheskie issledovaniya*. 2011. T. 49. № 3. S. 278—288.
- [11] Baranov A.A., Karatunov M.O. Ocenka parametrov dvuh svjaznykh manevrov, vpolnennykh aktivnym kosmicheskim ob#ektom. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Teorija i sistemy upravlenija*. 2016. № 2. S. 142—153.
- [12] Baranov A.A., Grishko D.A., Medvedevskih V.V., Lapshin V.V. Reshenie zadachi obljota ob#ektov krupnogabaritnogo kosmicheskogo musora na solnechno-sinhronnykh orbitah. *Kosmicheskie issledovaniya*. 2016. T. 54. № 3. C. 242—251.



## ПРИНЦИП ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭКВИВАЛЕНТИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ С МНОЖЕСТВОМ УЧАСТКОВ

В.И. Щербаков, Х.К. Нгуен

Воронежский государственный технический университет  
*Московский пр-т, 14, Воронеж, Россия, 394026*

Существующие методы гидравлического расчета кольцевых сетей водоснабжения рассматривают в основном магистральные и распределительные линии, не учитывая тупиковые участки. При проектировании водопроводных сетей необходимо учитывать площадь и конфигурацию территории, плотность населения, высоту зданий, нормы водопотребления и другие параметры, влияющие на гидравлический расчет водопроводных сетей. Принцип энергетического эквивалентирования позволяет объединить множество тупиковых участков, обозначив их как фиктивные линии подсистемы, что значительно упрощает всю схему расчета полноразмерной гидравлической системы.

**Ключевые слова:** планировка, водопроводная сеть, тупиковые участки, энергетическое эквивалентирование

Существующие методы гидравлического расчета для наружных сетей водоснабжения рассматривают только отбор воды в узлах, обеспечивающих необходимый расход, но не всегда обеспечивают требуемый напор воды в диктующих точках. Определение требуемых напоров в узлах зависит не только от гидравлических параметров, но и правильно выбранного расположения сетей в зависимости от планировки города и наличия тупиковых участков.

При развитии новых районов г. Лоди (США) требуется расширение водопроводной сети. На плане города (рис. 1) существующие трубопроводы распределительной сети имеют диаметры 200—250 мм и участки соединены друг с другом по принципу кольцевой водопроводной сети, к которой должны присоединяться проектируемые сети новых районов [4].

Проектируемая часть сети обладает собственными двумя подземными источниками (точки Р), обеспечивающими необходимые расходы и требуемые напоры воды в период максимального водопользования с учетом расходов воды на тушения пожара в диктующем узле. При трехэтажной застройке кварталов проектируемый водопровод обеспечивает напор  $h = 14$  м в самой удаленной диктующей точке сети [4].

Водопроводная сеть г. Лоди равномерно распределена по территории города, при этом расстояние от любого дома до распределительного трубопровода составляет не более 200 м.

Планировка квартала г. Хэмилтон (Новая Зеландия), с плотностью населения 1500 чел/км<sup>2</sup>, характерна тем, что улицы соединяются друг с другом в несколько необычной форме (рис. 2). При проектировании оптимальной водопроводной

сети было намечено 12 колец, соединяемых с существующей сетью и множество тупиковых участков. Средняя высота застройки зданий в городе составляет 4—7 м, средняя ширина улиц и обочин — 18—28 м, что позволяет прокладывать трубопроводы открытым способом [3]. Можно отметить, что такое расположение улиц также создает трудности при проектировании водопроводных сетей и потокораспределении воды по участкам сети.



**Рис. 1.** Проектируемые водопроводные сети г. Лоди  
[Projected water supply systems in the city of Lodi]



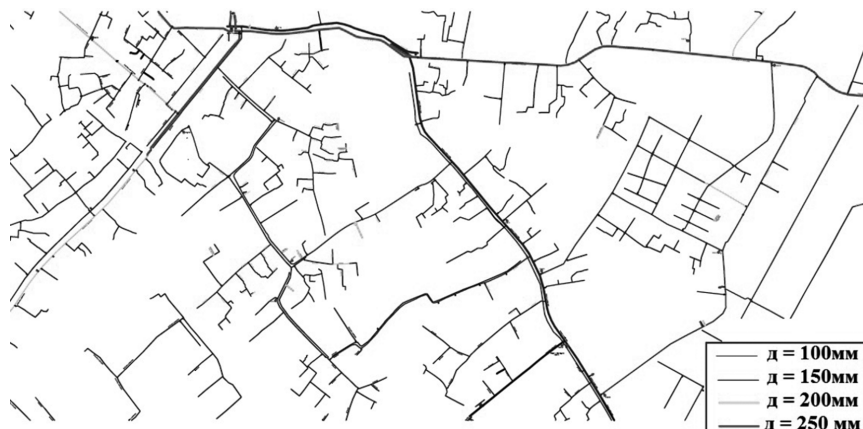
**Рис. 2.** Улично-дорожная сеть квартала г. Хэмильтон  
[Road network in the city of Hamilton]

Рассматривая различия систем водоснабжения г. Хошимина (Вьетнам) с другими городами и сравнивая известные методы гидравлического расчета сетей, можно заметить некоторые различия, позволяющие определить единый способ расчета водопроводных сетей на основе принципов энергетического эквивалентирования.

Система водоснабжения квартала района Тху Дык (г. Хошимин) характерна для крупных городов Вьетнама, имеющих большую плотность застройки, при

этом площадь улично-дорожной сети составляет только 4—5% (общепринятый стандарт 20%).

Из-за хаотичной застройки квартала без учета перспективы развития коммуникаций водопроводная сеть имеет большое количество тупиковых участков ( $\varnothing = 100\text{—}150\text{ мм}$ ), ответвленных от распределительных сетей на расстояние до 1000 м (рис. 3), что негативно влияет на обеспечение потребителей водой.



**Рис. 3.** Водопроводная сеть квартала района Тху Дык (г. Хошимин)  
[Water supply network Quarter Thu Duc district in Ho Chi Minh City]

Жилой квартал района Тху Дык г. Хошимин, занимает площадь 6,26 км<sup>2</sup>, где проживает 68 000 человек, а суммарная длина водопроводной сети составляет 79 862 м, при этом количество тупиковых участков с диаметром труб 100—150 мм в сотни раз превышает количество участков кольцевой сети (рис. 4). Для такой сети достаточно сложно выполнить гидравлический расчет по традиционной методике [2].



**Рис. 4.** Генплан квартала района Тху Дык  
[The general plan of the quarter Thu Duc District]

Таким образом, при проектировании водопроводных сетей необходимо учитывать площадь и конфигурацию территории, плотность населения, высоту зданий, нормы водопотребления и другие параметры, влияющие на гидравлический расчет водопроводных сетей (таблица).

Таблица

**Необходимые параметры для проектирования сети водоснабжения**  
**[The required parameters for the design of water supply network]**

Параметр	Квартал г. Хэмилтон	Квартал г. Лоди	Квартал района Тху Дык г. Хошимин
Площадь, км <sup>2</sup>	2	2	2
Плотность населения, чел/км <sup>2</sup>	1 500	1 700	10 875
Высота зданий, м	4—7	4—7	4—22
Норма водопотребления, л/сут	224	757	210
Длина тупиковых участков, м	50—250	50—200	50—1 550
Диаметр участков, мм	100—160	200—250	100—150
Минимальный требуемый напор, м	10	13,7	1
Количество колец, шт.	12	18	4
Максимальное расстояние до кольцевой сети, м	130	125	500
Средняя ширина улиц с обочинами, м	18—28	15—25	5—14

Из таблицы видно, что система водоснабжения района Тху Дык находится в наиболее неблагоприятном состоянии. Достаточно сложно управлять такой системой водоснабжения и обеспечивать потребителей водой. Для гидравлического расчета водопроводных сетей в этих агломерациях, необходимо иметь метод расчета, который позволял бы быстро получать реальную картину потокораспределения и давлений на участках сети.

### **Сравнение существующих методов гидравлического расчета**

Предлагается новая модель определения расчетной схемы района. Как видно из рис. 5, к транзитным трубопроводу присоединен фрагмент сети в узле 1 для снабжения водой нескольких потребителей. К этому узлу подключены несколько разветвленных тупиковых участков.

**Гидравлический расчет разветвленной водопроводной сети.** После трассировки распределительная водопроводная сеть разбивается на расчетные участки. Начало и конец каждого участка нумеруются. Узлы на сети назначаются в точках подключения водоводов от насосной станции и от водонапорной башни, в местах отбора воды крупными водопотребителями и местах пересечений и ответвлений магистральных линий.

Гидравлический расчет разветвленной водопроводной сети, позволяет определить расход и напор воды на тупиковых участках, обозначенных штриховой линией (рис. 6).

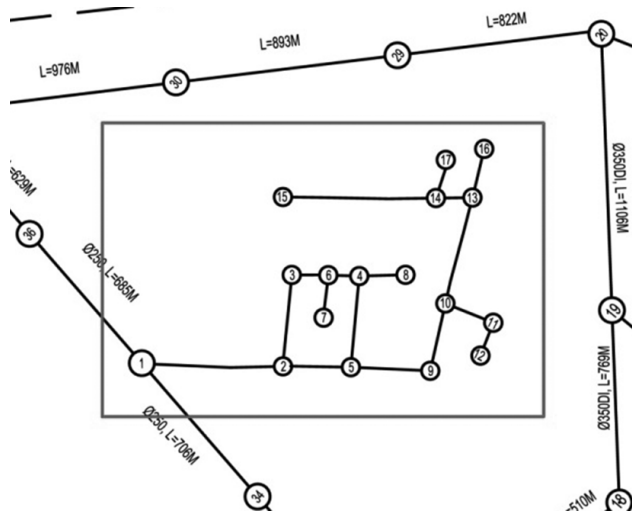


Рис. 5. Схема подключения тупиковой сети [Wiring diagram for a stub network]

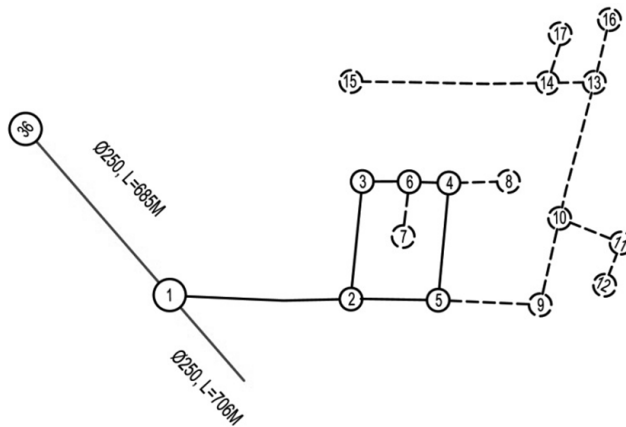
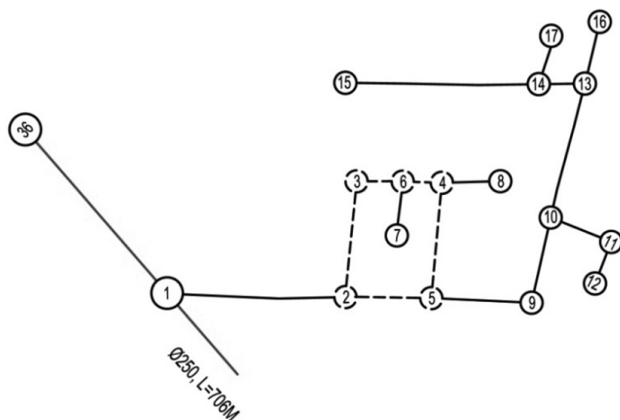


Рис. 6. Расчетная схема разветвленной сети [A design scheme for a branched network]

**Гидравлический расчет кольцевой водопроводной сети.** Расчет кольцевых водопроводных сетей для всех колец и узлов сети должен удовлетворять следующим условиям: в каждом узле должен соблюдаться баланс расходов (первый закон Кирхгофа); в каждом кольце и по внешнему контуру сети суммарные потери напора должны быть равны нулю

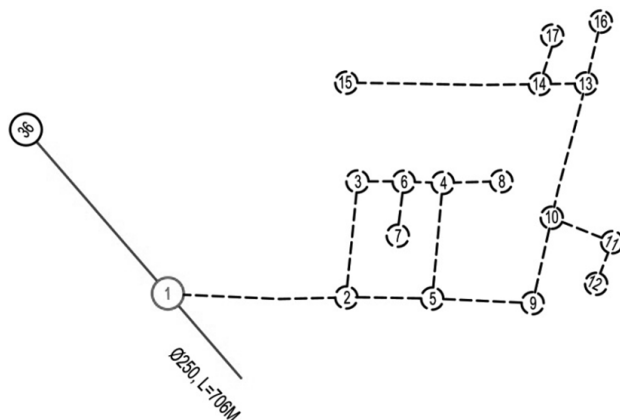
$$\begin{cases} \sum Q = 0, \\ \sum h = 0. \end{cases} \quad (1)$$

По гидравлическому расчету кольцевой водопроводной сети, можно также определить расход и напор воды на каждом участке кольца, обозначенные штриховой линией на рис. 7.



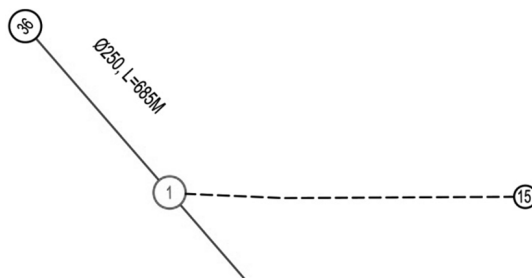
**Рис. 7.** Расчетная схема кольцевой сети [A design scheme for a ring network]

Совмещая два принципа расчета разветвленной и кольцевой водопроводной сети, возможно суммировать все расходы на ответвленных участках и отнести их к узлу *1* находящемуся на магистральной сети (рис. 8). Обычно потери напора не суммируются как расходы, а считаются как средняя величина для всех тупиковых участков. В таком случае количество расчетных участков на всей сети квартала значительно сокращается, а ко всем узлам магистральной сети присоединяются эквивалентные тупиковым участкам расходы. Предлагается для гидравлического расчета таких сетей использовать принцип энергетического эквивалентирования.



**Рис. 8.** Схема подключения фиктивных участков к узлу [Wiring diagram for fictitious plots to the node]

**Принцип энергетического эквивалентирования.** В узлах магистральной сети (энергоузлах) при заданных напорах в исследуемом фрагменте водопроводной сети моделируется невозмущенное состояние расчетной зоны (РЗ). Формирование полноразмерной гидравлической системы (ПГС) на основе РЗ с фиксированными узловыми потенциалами переводит задачу анализа возмущенного состояния в область определения с последующей трансформацией структурного графа ПГС в его аналог — МПГС (модель полноразмерной гидравлической системы), позволяет получить упрощенный вид сети (рис. 9) [1].



**Рис. 9.** Расчетная схема эквивалентных участков  
[The design scheme is equivalent plots]

Обозначив множество тупиковых участков как фиктивные линии подсистемы, можно значительно упростить всю схему расчета полноразмерной гидравлической системы [4]

$$\sum_{j=1}^{m_z} \sum_{i=1}^{N_{psi}} \int_0^{Q_{ij}} S_{ij} Q_{ij}^\alpha dQ_{ij} = \sum_{j=1}^{m_z} \int_0^{Q_{jз}} S_{jз} Q_{jз}^\alpha dQ_{jз}, \quad (2)$$

где  $N_{psi}$  — множество участков подсистемы, отнесенных к ЭУ $j$  расчетной зоны;  $S_{ij}$ ,  $Q_{ij}$  — коэффициент гидравлического сопротивления и расчетный расход участка  $i$  из множества  $N_{psi}$ ;  $S_{jз}$ ,  $Q_{jз}$  — то же для эквивалентного участка  $j$ ;  $m_z$  — множество энергоузлов.

Условие (2) устанавливает адекватность подобного преобразования, позволяя определить гидравлические характеристики фиктивных линий, т.е. расходы и потери напора на всех участках системы.

Сравнение планировок жилых кварталов г. Лоди, г. Хэмптон и г. Хошимин позволяет заключить, что кольцевые сети водоснабжения имеют значительное количество примерно однотипных тупиковых участков, что усложняет гидравлический расчет и определение оптимальных параметров потокораспределения при этом обеспечивая требуемый расход и напор непосредственно у потребителей.

Применение принципа энергетического эквивалентирования позволяет упростить гидравлический расчет системы водоснабжения города, имеющего высокую плотность населения и хаотичную застройку, что приводит к совершенствованию управления и сокращению расходов на эксплуатацию водопровода.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Панов М.Я., Левадный А.С., Щербаков В.И., Стогней В.Г. Моделирование, оптимизация и управление системами подачи и распределения воды. Воронеж: ВГАСУ, 2005. 489 с.
- [2] Щербаков В.И., Нгуен Х.К. Модернизация водопроводной сети на основе оптимизации гидравлических параметров при аварии на магистралях // Вестник МГСУ. 2015. № 10. С. 115–126.
- [3] Hamilton City Council. A guide to Hamilton's water supply river to the tap [Internet]. New Zealand: Hamilton City Council, 2010. URL: <http://www.hamilton.govt.nz/our-services/water/water/Documents/RIVER%20TO%20TAP%20FOR%20WEB.pdf>. Дата обращения: 23.11.2016.
- [4] Lodi City Council. City of Lodi Water Master Plan [Internet]. California: Lodi City Council, 2012. URL: [http://www.lodi.gov/public\\_works/pdf/WATER%20MASTER%20PLAN%20-%20FINAL.pdf](http://www.lodi.gov/public_works/pdf/WATER%20MASTER%20PLAN%20-%20FINAL.pdf). Дата обращения: 22.11.2016.

## THE ENERGY EQUIVALENCE PRINCIPLE FOR CALCULATION OF WATER SUPPLY NETWORKS WITH MANY AREAS

V.I. Shcherbakov, H.C. Nguyen

Department of the hydraulics, water supply and wastewater disposal  
Voronezh State Technical University  
Moscow str., 14, Voronezh, Russia, 394026

Existing methods of hydraulic calculation of water supply looped networks is considered mainly transmission and distribution lines, without considering dead-and areas. In the design of water supply systems must take into account the area and configuration of the area, population density, height of buildings, standards of water consumption and other parameters that influence the hydraulic calculation of water supply networks. The principle of energy equivalenting allows to unite a plurality of dead-and areas, designating them as a fictitious line subsystem, which greatly simplifies the calculation of the whole scheme of the full length of the hydraulic system.

**Key words:** layout, water supply network, dead-and areas, energy equivalenting

### REFERENCES

- [1] *Panov M.Ya., Levadnyy A.S., Shcherbakov V.I., Stogney V.G.* Modelirovanie, optimizatsiya i upravlenie sistemami podachi i raspredeleniya vody [Modeling, optimization and control of supply and distribution system water]. Voronezh: VGASU, 2005. 489 p.
- [2] *Shcherbakov V.I., Nguyen H.C.* Modernizatsiya vodoprovodnoi seti na osnove optimizatsii gidravlicheskiikh parametrov pri avarii na magistralyakh [Modernization of Water Supply System Basing on Optimization of Hydraulic Parameters in Case of Accidents on Main Lines]. *Vestnik moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015. № 10. Pp. 115—126.
- [3] Hamilton City Council. A guide to Hamilton's water supply river to the tap [Internet]. New Zealand: Hamilton City Council, 2010. Available from: <http://www.hamilton.govt.nz/our-services/water/water/Documents/RIVER%20TO%20TAP%20FOR%20WEB.pdf>. [cited 2016 Nov 23].
- [4] Lodi City Council. *City of Lodi Water Master Plan* [Internet]. California: Lodi City Council, 2012. Available from: [http://www.lodi.gov/public\\_works/pdf/WATER%20MASTER%20PLAN%20-%20FINAL.pdf](http://www.lodi.gov/public_works/pdf/WATER%20MASTER%20PLAN%20-%20FINAL.pdf). [cited 2016 Nov 22].



# КИБЕРНЕТИКА И МЕХАТРОНИКА

УДК 621.3.049.77:000.93

## EMERGING ARCHITECTURES FOR PROCESSOR-IN-MEMORY CHIPS: TAXONOMY AND IMPLEMENTATION

**Valery A. Lapshinsky**

Peoples' Friendship University of Russia  
*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*  
National Research Nuclear University MPhI  
*Kashirskoe Shosse, 31, Moscow, Russia, 115409*

The emergence of PIM (processing-in-memory) die and Data-Centric systems (DCS) and near-data processing approach (NDP) has given rise to the need of developing architectural taxonomy for multi-core PNM (processing near memory) hardware with multi-level memory structure. PIM die (in Russian technical literature usually used terms chips or crystals) considered as an effective alternative to conventional SRAM/DRAM/Flash-memory on Cache-CPU/Main Memory/Storage Class Memory and Storage levels. In the past decade, a few different methods to classify and to implement PIM die and DCS/NDP systems proposed. These approaches are either software interfacing with computing, hierarchical and massively parallel SIMD processing approaches etc. In this paper, presented summarized prolegomena for PIM die architecture and implementation. In particular, in form of basic PIM chips and nanostores.

**Key words:** processing-in-memory; processing near memory; near-data processing; Data-Centric systems; PIM memory taxonomy; basic PIM chips implementation; emerging memories chips and nanostores

### 1. Introduction

The huge and growing degree of integration of standard memory chips represents both an opportunities and challenges. On one hand, the ability to store large volumes of data can encourage the improvement of the characteristics of computer systems for various applications — evolution of exascale computing, Big Data and high performance analytics, data mining [2; 13; 14], network technologies including sensor networks and systems [12], improvement of the characteristics of mobile hardware (in the form of smartphones and tablets) and so on. On the other hand, this die integration is also creating a host of new problems. In particular, practical limits on die power dissipation restrict the increase in clock speed and scalability [2]. The current trend is transition from sequential to parallel

data in-memory processing, again with die power dissipation limits and problems of synchronization techniques [7; 11].

Processing capabilities can be embedded into conventional SRAM/DRAM/Flash NOR/NAND memory [2; 5; 11; 16]. Now these capabilities becoming software-visible. They need special software interfaces, threading packages or generally to modify system and application software [9]. Finally, there is the problem of massive industrial production of cheap PIM die with efficient architecture suitable for use on the different levels of the memory hierarchy.

At the same time, technology opportunities such as:

- the increased adoption of emerging nonvolatile memories (NVM)
  - memristors or phase-change memory [2; 13; 14] and functional devices with nanometer dimensions and exotic non-linear current-voltage characteristics [15],
  - optical communications on chips,
  - multi-cores, and heterogeneous computing,
- all provide a unique opportunity for an end-to-end redesign of data-centric solutions across both hardware and software [2; 3; 6; 10; 17].

## **2. Taxonomy prolegomena**

### *2.1. Taxonomy based on software interface with computing*

The proposed [9] taxonomy approach based on software interface with computing divide logic in memory die architecture into two classes: software-transparent and software-visible.

Software-transparent PIM die functions are non-computing and associated service functions (memory controllers, built-in self-testing etc.) [8; 9]. But software-visible class of PIM architecture with fixed-function or pre-defined operations (bounded or compound operands) and fully programmable (general or specific purpose — GP/SP) logic in memory requires software interface with computing.

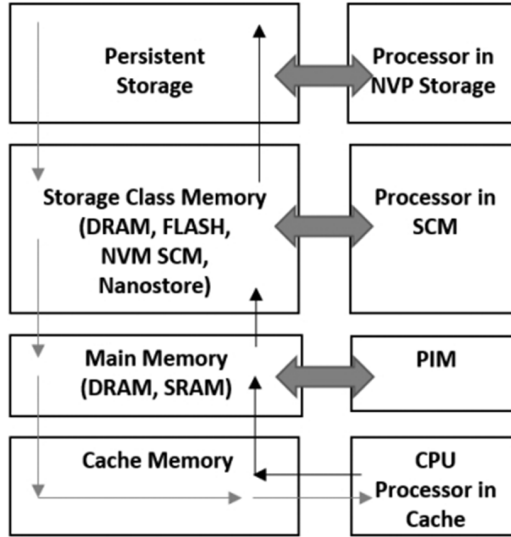
Examples of software interface, advantages and disadvantages of the different variants of this architecture discussed in [9]. There is significant middle ground worth further exploration, which proposed taxonomy could serve as framework for classifying and better understanding the strength and weaknesses of different classes of PIM die architectures.

### *2.2. Taxonomy based on memory hierarchy*

While implementing a PIM die and PNM memory systems changes may be made to one level of the memory hierarchy or on all levels (figure 1). Data movement impacts performance, power efficiency and reliability, three fundamental attributes of systems. NDP seeks to minimize data movement by computing at the most appropriate location in the hierarchy, considering the location of data and the information that needs to be extracted from the data [3]. In this case, the computation near memory require the creation of effective PIM die architectures of the following classes. PIM chips with processors for: 1) non-volatile persistent (NVP) storage, 2) storage class memory (SCM), 3) main memory or PIM and 4) cache memory.

Past proposals mostly focused, firstly, on the requirements and specific details for each local level of the hierarchy: processing complexity, data type, access pattern, response

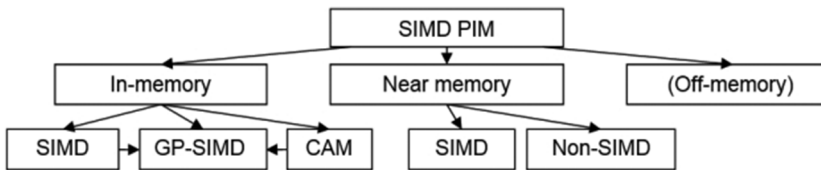
time etc. [13]. Secondly, focused on the PIM die architecture based on conventional SRAM/DRAM/Flash NOR/NAND chips. However, NVM cost trends suggest that in near future all memory hierarchy levels along with the standard memory and PIM chips will contain chips with NVM PIM architecture. Consequently, with evolution of nanotechnology next step will be creation effective nanostores, which collocate processors and emerging NVM on the same chip [13; 14]. Connected to one another they formed a NDP cluster. There is a wide range of possible NVM PIM die architectures and nanostore systems.



**Figure 1.** Taxonomy based on memory hierarchy  
[Классификация на основе иерархии систем памяти]

### 2.3. Taxonomy based on SIMD massively parallel processing

SIMD (single instruction stream, multiple-data stream) PIM die architecture is old popular concept of placing computation capabilities to conventional SRAM/DRAM chips [5; 16]. In [11] presented a detailed and comparative taxonomy for PIM in SIMD fields of massively parallel processing (figure 2).



**Figure 2.** Taxonomy based on SIMD massively parallel processing  
[Классификация на основе массовых параллельных вычислений типа SIMD]

According to the combination of number, computing power and location of the processing units/elements on the chip architecture of SIMD PIM crystals divided into the following classes: in-memory, near memory and off-memory.

In-memory architecture means implementation of a very large number of small (typically single bit) SIMD processing elements/units or units with associative functions

on memory periphery, matching the number of memory rows and columns. Near memory architecture characterized by many processing units (usually clustered and including non-SIMD units, for example, sequential) which integrated with memory sections or blocks of memory. Architecture off-memory is a limiting case, when several units or accelerators (typically with SP engines) operated by main processors.

The proposed approach allowed to carry out synthesis and evaluations of GP-SIMD PIM die architecture, effectively combining massively parallel SIMD and sequential processing and associative functions and the limitations on power consumption and synchronization.

### **3. Implementation**

The problem of mass production of PIM and PNM based on the traditional SRAM/DRAM/Flash chips can be solved by using a property either hardware or software reconfigurability of basic memory chips [1]. Transparent software architecture underlying crystal primarily intended for setup and implementation of service functions. This implementation considered as the architecture of the 1st generation basic crystals.

Today the integration level already reached a level where the basic PIM chip can contain not only the service functions and a set of processing elements and units for the processing directly in the memory, but also a number of specialized processing units and cores near memory. These cores/units may have a different architecture and purpose. Then the basic memory crystals with multi-core computing functionality that may appear in the future should be attributed to the architecture of the 2nd generation. This architecture can be called as multi-architecture [4]. Respective base crystals may have near universal architecture. They can be combined as parallel computing in-memory and sequential/parallel calculations near memory. 3rd generation — basic NVM GP-PIM die for nanostores.

It can be assumed that the emergence of universal basic PIM and PNM crystals is not far off, because the industry designed and planned for production such chips in the near future. Delay could face defeat in the market competition.

### **4. Conclusions**

Based on the few various approaches for taxonomy and implementing PIM die can be concluded that there is a wide range of options for the PIM chips and PNM systems architecture. Some of these options implemented in practice as test samples, others now offered to consumers as commercial products. In this case, we are talking about the Hybrid Memory Cubes, produced by the 3-D technology using a TSV (Through-Silicon-Vias) interconnections [17].

Researches in the field of architecture of PIM die and, PNM and DSC systems, in fact, is only at the initial stage of its development. The idea of creating basic memory GP-PIM chips with multi-architectural and multi-core fillings suitable for mass production should become a driving force for long-term research and development.

Simultaneously with the searching effective architectural options for NVM PIM die and nanostores, using of innovative NVM memory elements, it is necessary to solve the problems of appropriate CAD-systems and test equipment development. You also need

to standardize architecture of the PIM die. For example, on the basis of existing (used in the construction of systems-on-chip) and new (specially optimized for PIM) Intellectual Property (IP) elements and units.

## REFERENCES

- [1] *Aleksenko A.G., Lapshinsky V.A.* Evaluation of the effectiveness of the basic crystals of memory. Electronic engineering. Ser. Microelectronics. 1980. Vol. 4. P. 3–8 (In Russian).
- [2] *Balasubramonian R.* et al. Near-Data Processing: Insights from a MICRO-46 Workshop. IEEE Micro. 2014, July-August. P. 36–42.
- [3] *Burr G.W.* et al. Overview of candidate device technologies for storage-class memory. IBM J. Res.&Dev. 2008, JULY/SEPTEMBER. Vol. 52. No. 4/5. P. 12–21.
- [4] *DeBenedictis E.P.* Will Moor’s Law be Sufficient? IEEE 0-7695-2153-3/04. 2004. P. 1–12.
- [5] *Elliott D.G., Snelgrove W.M., Cojocar C. and McKenzie R* Computational RAM: Implementing Processors in Memory. *J. IEEE Design and Test of Computers*. 1999. № 16(1) (January-March). P. 32–41.
- [6] *Freitas R.F. and Wilcke W.W.* Storage-class memory: The next storage system technology. *IBM J. Res. @ Dev.* 2008. Vol. 52. № (4/5). P. 439–447.
- [7] *Kulkarni S.* et al. Taxonomy for Transactional Memory Systems. *Int. J. of Computer Science and Information Technologies (IJCSIT)*. 2011. № 2(2). P. 766–775.
- [8] *Lapshinsky V.A.* Basic crystals and CPU-oriented organization “smart” memory. *Sensors & Systems*. 2015. № 1. P. 81–86 (In Russian).
- [9] *Loh G.H.* et al. A processing-in-Memory Taxonomy and a Case for Studying Fixed-function PIM. *In WoNDP: 1<sup>st</sup> Workshop on Near-Data Processing*. 2013. № 1. P. 1–6.
- [10] *Meena J.S., Sze S.M., Chand U and Tseng T.Y.* Overview of emerging nonvolatile memory technologies. *Nanoscale Research Letters*. 2014. P. 1–33.
- [11] *Morad A., Yavits L., Ginosar R.* GP-SIMD Processing-in-Memory. *ACM Transactions on Architecture and Code Optimization*. 2015, January. Vol. 11. Issue 4. P. 1–26.
- [12] *Pershenkov V.S., Podlepecky B. I., Shagurin I.I., Bocharov Y.I.* Microelectronics applied to instrument-making. *Sensors & Systems*. 2015. № 1. P. 3–22. (In Russian)
- [13] *Ranganathan P. Chang J.* 2011. *IEEE Computer Society* **44(1)**. P. 39–48.
- [14] *Ranganathan P. and Chang J.* (Re)Designing Data-Centric Data Centers. *IEEE Micro*. 2012, JANUARY/FEBRUARY. P. 66–70.
- [15] *Shibata T.* 2009. *Solid-State Electronics*. № 53. P. 1227–1241.
- [16] *Stone H.S.* A Logic-in-Memory Computer. *IEEE Trans. on Computer*. 1970. V. C-19. N 1. P. 73–78.
- [17] *Zhang D.P.* et al. TOP-PIM: Throughput-Oriented Programmable Processing in Memory. *Proc. of the 23rd international symposium on High-performance parallel and distributed computing (HPDC’14)*, June 23–27, Vancouver, BC, Canada.

## НОВЫЕ АРХИТЕКТУРЫ ДЛЯ ЧИПОВ «ПРОЦЕССОРЫ-В-ПАМЯТИ»: КЛАССИФИКАЦИЯ И РЕАЛИЗАЦИЯ

**В.А. Лапшинский**

Российский университет дружбы народов  
ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198  
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
Каширское шоссе, 31, Москва, Россия, 115409

Появление чипов типа «процессоры-в-памяти» (ПИМ) систем, ориентированных на данные (Data-Centric systems — DCS), и систем с вычислениями рядом с данными (near-data processing — NDP) настоятельно требует развития методов классификационного анализа архитектуры многоядерных чипов для вычислений рядом с многоуровневой структурой памяти. Чипы (в России в технической литературе обычно используются термины «кристаллы» или «интегральные схемы», ИС) ПИМ рассматриваются как эффективная альтернатива стандартным ИС SRAM/DRAM/Flash-памяти для различных уровней иерархии ЗУ: кеш, оперативной, промежуточной и внешней памяти. В последнее десятилетие были предложены различные способы классификации и методы реализации ПИМ чипов для создания систем типа DSC/NDP. Эти методы включают классификацию на основе программного интерфейса с вычислениями в памяти, иерархический подход и классификацию параллельных вычислений типа SIMD и др. В статье представлен предварительный обзор различных вариантов классификации архитектур ПИМ чипов и их реализации в виде ИС, в частности в виде базовых кристаллов общего применения и нанохранилищ.

**Ключевые слова:** вычисления в памяти; вычисления рядом с памятью; вычисления рядом с данными; системы, ориентированные на данные; классификация памяти ПИМ; базовые кристаллы ПИМ памяти общего применения; кристаллы новых типов и нанохранилища

## **СОВМЕЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ТРАССИРОВКИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ И БОЛЬШИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ С ДВУСЛОЙНОЙ КОММУТАЦИЕЙ**

**А.В. Назаров**

Московский авиационный институт  
*ул. Новая Басманная, д. 16-а, Москва, Россия, 107078*

Предложена совмещенная модель синтеза трасс, в которой разрешается пересечение проводников, принадлежащих разным цепям. Для однозначного расслоения результирующей топологии в работе реализован деблокирующий механизм, который позволяет резко повысить эффективность разводки по сравнению с классическим волновым алгоритмом.

**Ключевые слова:** трассировка, совмещенная модель, печатные платы, большие интегральные схемы, автоматизация проектирования, алгоритм, топология

### **Введение**

Решающим средством при разработке новой электронной аппаратуры (ЭА) является применение методов машинного проектирования, позволяющих в короткие сроки создавать высоконадежную аппаратуру при сравнительно низких затратах. В качестве перспективной элементной базы современной ЭА используются БИС, а в качестве несущих оснований функциональных ячеек в подавляющем большинстве случаев применяются двусторонние печатные платы.

В последние годы проводятся интенсивные исследования возможности применения БИС в аппаратуре двойного назначения для построения различных систем управления и контроля космических объектов, атомных энергосистем, исследовательских ядерных центров и т.п. Это обусловлено тем, что определенный класс БИС, например комплементарных [1], наиболее выгоден с точки зрения обеспечения минимальной потребляемой мощности, невысокой стоимости, габаритов и веса, БИС этого класса являются работоспособными в жестких условиях воздействия температур, механических нагрузок и различных видов радиационных воздействий.

Проведение исследований, проектирование, производство и испытания КМОП БИС двойного назначения невозможно обеспечить без развития средств автоматизации проектирования. Однако известные отечественные САПР не имеют достаточно развитых средств для решения данной задачи. Зарубежные программные комплексы, обладающие данными средствами, имеют очень высокую стоимость, а продажа наиболее современных средств не производится, поэтому развитие отечественных средств автоматизации проектирования конструкторско-технологического базиса КМОП БИС является актуальной задачей.

В перспективе применение плат с двухслойной коммутацией по многим параметрам (стоимость, вес, простота изготовления, надежность) в аппаратуре яв-

ляется более предпочтительным [2]. Например, металлизированные переходы в рельефных печатных платах повышают их надежность, причем «эффективный» ресурс магистралей таких плат оказывается на 30...40% выше, чем у плат, выполненных по субтрактивной технологии. Причина заключается в том, что диаметр переходных отверстий в рельефных печатных платах, так же как и диаметр контактных окон КМОП БИС меньше ширины проводника для соответствующей конструкции, что позволяет располагать их в соседних ячейках дискретного рабочего поля (ДРП).

Наиболее «узким местом» при проектировании печатных плат является именно этап трассировки, поскольку при высокой плотности монтажа соединительные проводники должны занимать около 80% от общей площади платы. Таким образом, жесткие требования к реализации проводников на КП также как и в случае БИС с двухслойной коммутацией ведут к необходимости разработки новых методов и алгоритмов трассировки.

### Предлагаемый метод

Алгоритм трассировки на однослойной модели [3; 4] не нашел широкого распространения в практике автоматизированного конструирования БИС. Это объясняется тем, что даже при наличии достаточного ресурса свободных магистралей этот алгоритм в состоянии полностью развести лишь планарную схему. Подавляющее большинство цифровых схем не являются планарными, поэтому для устранения конфликтных ситуаций при их разводке прибегают к двухслойному коммутационному пространству, причем в качестве второго уровня разводки используют либо поликремниевые перемычки [1], либо второй слой металлизации БИС. В данной работе предлагается оригинальная модель ДРП и алгоритм трассировки на ней печатных плат и БИС с двухслойной коммутацией.

Предлагаемая совмещенная модель коммутационного пространства представляет собой дискретное рабочее поле (ДРП), которое в ЭВМ представляется двумерной таблицей (массивом  $M$ ) размерностью  $m \times n$ . Числа  $m$  и  $n$  определяют ресурс магистралей вдоль координатных осей, разрешенных для проведения проводников. В таблице ДРП каждая ячейка  $S_{ij}$ , расположенная на пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца, содержит восемь поименованных бит (с  $a_{ij}$  по  $h_{ij}$ ), представляющих следующую информацию:

- биты  $a_{ij}$  и  $b_{ij}$  представляют сведения об ориентации проводника:  $a_{ij} = 1$ , если проводник идет по ячейке  $S_{ij}$  горизонтально, и  $b_{ij} = 1$ , если — вертикально;
- биты  $c_{ij}$  и  $d_{ij}$  представляют волновые числа в кодировке Акерса [2];
- бит  $e_{ij}$  отмечает ячейки со статусом «приемник цифровой волны»;
- бит  $f_{ij}$  программно устанавливается в состояние «1», если в ячейке  $S_{ij}$  проводник меняет направление — фактически этот бит фиксирует наличие контакта между вертикальным и горизонтальным отрезком;
- биты  $g_{ij}$  и  $h_{ij}$  позволяют ликвидировать неоднозначность при расслоении совмещенной модели, в процессе которого пересекающиеся без контакта проводники помещаются в разные слои.

Для иллюстрации принципа действия предлагаемого алгоритма отметим основной недостаток классического однослойного волнового алгоритма [3; 4]: в каждый момент он просматривает состояние только одного проводника. По этой



причине неизбежно возникает блокирование многих еще не построенных трасс. Для ликвидации взаимного блокирования проводников разрешим их пересечение в модели ДРП в расчете на последующее расслоение.

Именно для формализации такого подхода необходимо в каждой ячейке ДРП иметь информацию о направлении проходящих по ней отрезков (биты  $a_{ij}$  и  $b_{ij}$  модели каждой ячейки) и о наличии контакта между ними (бит  $f_{ij}$ ).

Основная проблема, которую требуется решить при проектировании алгоритма трассировки на совмещенной модели (назовем его деблокирующим), — обеспечение исключительно взаимно ортогонального пересечения отрезков при их построении. Другими словами, необходимо запретить проведение последующего отрезка вдоль ранее построенного, поскольку в двухслойном ДРП такое их «слипание» и будет эквивалентом взаимному блокированию трасс, имевшему место в однослойной модели коммутационного пространства. Устранить слипание отрезков проводников можно, если запретить проведение двух отрезков по одним и тем же ячейкам.

Принцип, с помощью которого деблокирующая цель будет достигнута, может быть с успехом распространен и на другие версии волновых алгоритмов, поэтому остановимся на нем более подробно.

Анализ процедуры построения трасс по классическому волновому алгоритму показывает, что внесение нового маршрута в модель ДРП осуществляется при обратном движении волны (обратная трассировка), однако конфигурация маршрута полностью определяется состоянием волновых чисел в ячейках ДРП, сформированных на этапе распространения прямой волны. Поэтому если запретить движение прямой волны вдоль ранее построенного отрезка, то «слипания» проводников на этапе обратной трассировки не возникнет.

Чтобы решить поставленную задачу, рассмотрим два возможных варианта достижения волной отрезка: волна достигает отрезок в ортогональном к нему направлении (рис. 1, а); отрезок достигается волной в коллинеарном к нему направлении (рис. 1, б), чтобы исключить из рассмотрения второй вариант, введем в рассмотрение понятие «статус запрета». Будем говорить, что если ячейка ДРП имеет статус запрета, то она считается недоступной для внесения в нее волнового числа. Ясно, что такая ячейка будет игнорироваться как на этапе при движении прямой волны, так и на этапе обратной трассировки.

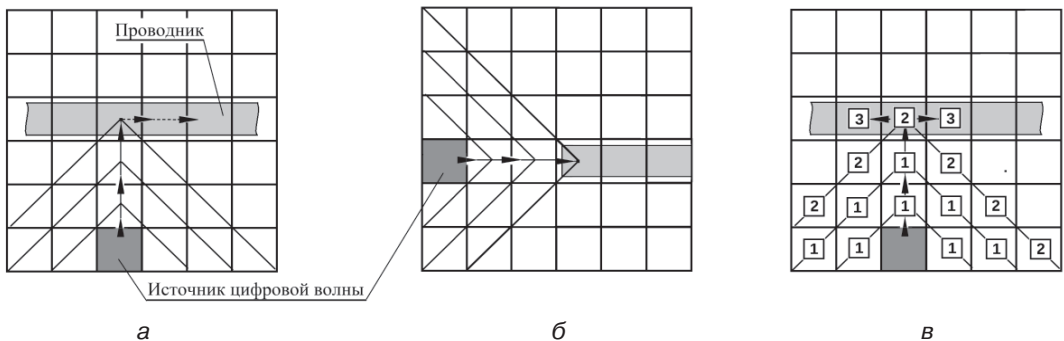
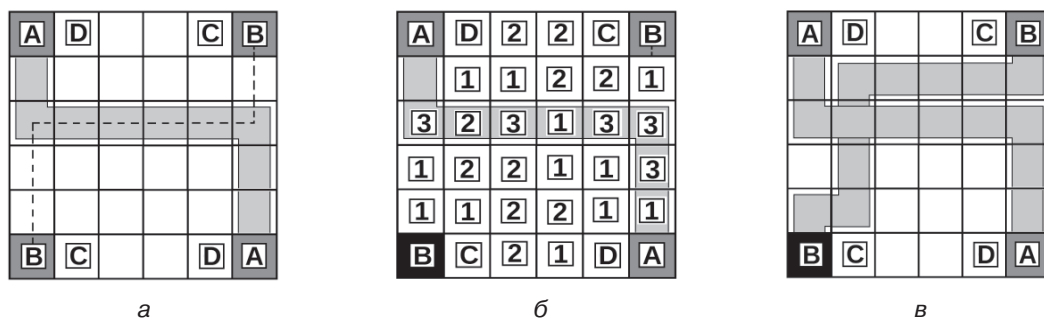


Рис. 1. Ортогональное (а, в) и коллинеарное (б) касание волной проводника  
 [The orthogonal (a, v) and collinear (b) touch digital wave conductor]

Организовать статус запрета можно, если использовать для его кодирования в ячейке одно «свободное» пока значение волнового числа, равное 3. Действительно, последовательность волновых чисел Акерса (1 — 1 — 2 — 2 — 1 — 1 — и т.д.) требует 2 бита для своей реализации — в нашем случае для их размещения используются биты  $c_{ij}$  и  $d_{ij}$  каждой ячейки. При нулевом их состоянии ячейка свободна для внесения волнового числа  $\rho$ . Если  $c_{ij} = 0$ , а  $d_{ij} = 1$ , то  $\rho = 1$ , наконец, если  $c_{ij} = 1$ , а  $d_{ij} = 0$ , то  $\rho = 2$ . Ясно, что незадействованным пока состоянием этих бит является:  $c_{ij} = d_{ij} = 1$ , при котором  $\rho = 3$ , но такого числа в последовательности Акерса нет, поэтому будем его использовать в качестве статуса запрета. К ячейкам, запрещенным для внесения  $\rho$ , отнесем также контакты, подлежащие соединению, и ячейки — концы директивных отрезков.

Чтобы алгоритмически исключить коллинеарное движение волны по проводнику, как это показано пунктирной стрелкой на рис. 1, *а*, построим деблокирующий алгоритм таким образом, чтобы при достижении волной ячейки, занятой проводником, в двух соседних с ней ячейках этого же проводника автоматически формировался «статус запрет» ( $\rho = 3$ ). Геометрическая интерпретация сказанного приведена на рис. 1, *б*.



**Рис. 2.** Пример блокирования цепей цепью *B* (*а*) и этапы ее построения (*б*, *в*)  
 [Example of blocking chains by chain *B* (*a*) and the stages of its creating (*б*, *в*)]

Продемонстрируем работу деблокирующего алгоритма на примере. Пусть в исходном ДРП, показанном на рис. 2, *а*, присутствует заранее разведенный проводник, соединяющий контакты цепи *A*, и требуется построить проводники, соединяющие три другие пары контактов цепей *B*, *C* и *D*. Если не применять деблокирующий алгоритм, то трасса *B* вполне может пройти по маршруту, отмеченному пунктиром на рис. 2, *а*. В этом случае контакты остальных цепей будут заблокированы. На рисунке 2, *б* показано состояние ячеек после построения всех фронтов по деблокирующему алгоритму, а на рис. 2, *в* — состояние тех же ячеек после выполнения обратной трассировки. Источник волны здесь и далее отмечен черным фоном.

На рисунках 3 и 4 показаны аналогичные этапы построения цепей *C* и *D*.

По окончании синтеза всех трасс совмещенная модель ДРП (рис. 4, *б*) содержит горизонтальные и вертикальные отрезки проводников (биты  $a_{ij}$  и  $b_{ij}$ ), а также сведения об их контактировании между собой (биты  $f_{ij}$ ). Следующей задачей синтеза трасс является проведение оптимального расслоения совмещенной модели по критерию минимума контактных переходов (окон) между слоями.

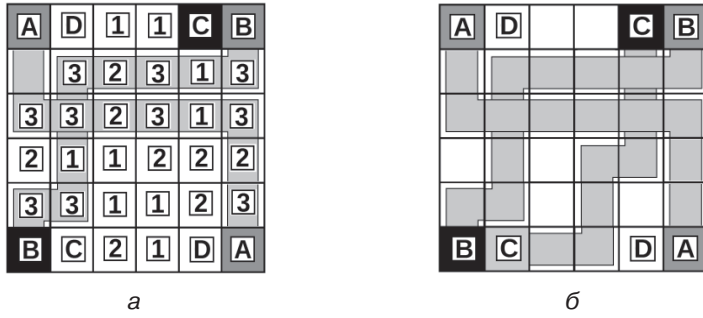


Рис. 3. Волновая функция (а) и результат построения цепи C (б)  
 [The wave function (a) and the result of the construction of the chain C (б)]

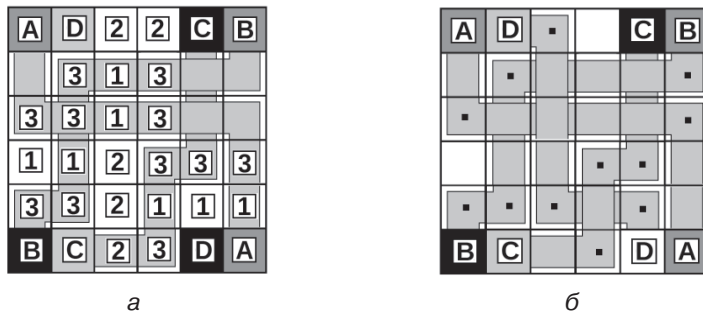


Рис. 4. Волновая функция (а) и результат построения цепи D (б)  
 [The wave function (a) and the result of the construction of the chain D (б)]

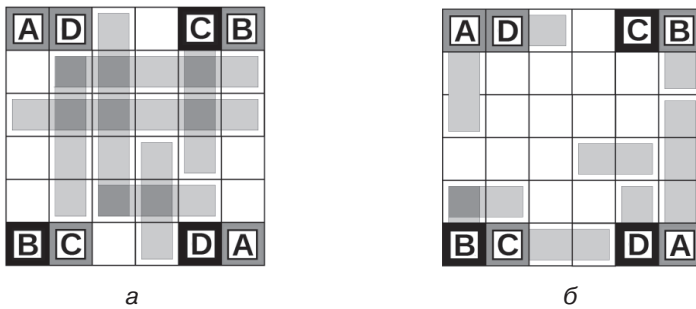
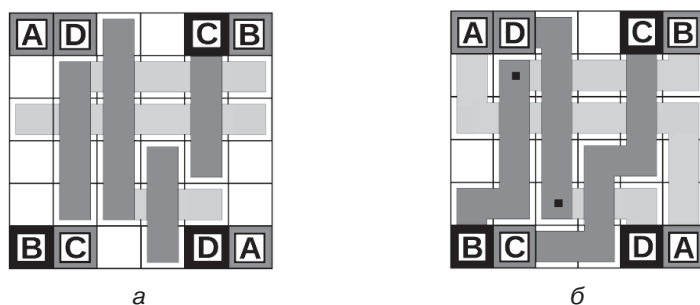


Рис. 5. Базовое (а) и свободное (б) множества отрезков  
 [Basic (a) and free (б) a plurality of segments]

С этой целью все отрезки проводников в ДРП представим двумя множествами. К первому (базовому) отнесем те отрезки, которые пересекаются в ДРП без электрического контакта, а ко второму (свободному) — все остальные отрезки. Для текущего примера все базовые отрезки изображены на рис. 5, а, причем ячейки, в которых они пересекаются, выделены темно серым цветом. Формально эти ячейки определяются формулой пересечений вида:  $\tilde{a}_{ij} \cap \tilde{b}_{ij}$ , где верхняя тильда означает, что биты  $a_{ij}$  и  $b_{ij}$  принадлежат ячейкам, по которым проходят базовые отрезки проводников. Множество отрезков, определенное как свободное, для текущего примера изображено на рис. 5, б.

Собственно расслоение модели проводится в два этапа: на первом отрезки распределяются по слоям, а на втором определяется местоположение контактных переходов (окон).

На первом этапе расслоения во избежание короткого замыкания вертикальных и горизонтальных отрезков базового множества часть его, образованная горизонтальными отрезками помещается в первый слой топологии. Все вертикальные отрезки базового множества переносятся во второй слой. Результат этой операции показан на рис. 6, а. Далее, в первый слой дополнительно переносятся все те отрезки свободного множества, которые на множестве  $M_{\text{БАЗ}}^{\Gamma} \cup M_{\text{СВ}}$  образуют дерево ортогонального графа, причем оставшиеся отрезки свободного множества принудительно помещаются во второй слой. Результат этой операции показан на рис. 6, б.



**Рис. 6.** Предварительное (а) и окончательное (б) расслоение топологии  
[Preliminary (a) and final (б) bundle topology]

Ячейки, в которых необходимо организовать контактные переходы (окна) определяются формулой пересечений вида:  $\tilde{a}_{ij} \cap \tilde{b}_{ij} \cap f_{ij}$ , которая имеет простой физический смысл: переходы (окна) необходимо организовать в местах пересечения вертикального и горизонтального отрезков базового множества, если эти отрезки имеют электрический контакт. Геометрически приведенная формула пересечений реализуется наложением рис. 4, б на рис. 6, б, при котором через второе пересечение пройдут лишь две ячейки, отмеченные на рис. 6, б черными квадратиками.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Автоматизация конструирования матричных КМОП БИС / А.В. Назаров, А.В. Фомин, Н.Л. Дембицкий и др. / под ред. А.В. Фомина. М.: Радио и связь, 1991. 256 с.
- [2] Дембицкий Н.Л., Назаров А.В. Модели и методы в задачах автоматизированного конструирования радиотехнических устройств. М.: Изд-во МАИ, 2011. 204 с.
- [3] Морозов К.К., Одинокоев В.Г., Курейчик В.М. Автоматизированное проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры. М.: Радио и связь, 1983. 280 с.
- [4] Селютин В.А. Машинное конструирование электронных устройств. М.: Советское радио, 1977. 384 с.

## THE COMBINED MODEL OF TRACE OF PRINTED-CIRCUIT BOARDS AND LARGE INTEGRATED SCHEMES WITH TWO-LAYER SWITCHING

A.V. Nazarov

Department of information technologies of designing  
of radio-electronic devices Moscow Aviation Institute  
*Novaya Basmannaya str., 16-a, Moscow, Russia, 107078*

The combined model of synthesis of routes in which crossing of the conductors belonging to different chains is allowed is offered. For unambiguous stratification of resultant topology in work the unblocking mechanism which allows to increase sharply efficiency of distributing in comparison with classical wave algorithm is realized.

**Key words:** routing, combined model, printed-circuit boards, large integrated schemes, computer aided design, algorithm, topology

### REFERENCES

- [1] Avtomatizaciya konstruirovaniya matrichnyh KMOP BIS [Automation of designing of the matrix CMOS LSI] / A.V. Nazarov, A.V. Fomin, N.L. Dembickij i dr.; Pod red. A.V. Fomina. M.: Radio i svyaz', 1991. 256 s.
- [2] *Dembickij N.L., Nazarov A.V.* Modeli i metody v zadachah avtomatizirovannogo konstruirovaniya radiotekhnicheskikh ustrojstv [Models and methods in problems CAE wireless devices]. M.: Izd-vo MAI, 2011. 204 s.
- [3] *Morozov K.K., Odinsonov V.G., Kurejchik V.M.* Avtomatizirovannoe proektirovanie konstrukcij radioelektronnoj apparatury [Computer-aided design of structures the radio-electronic equipment]. M.: Radio i svyaz', 1983. 280 s.
- [4] *Selyutin V.A.* Mashinnoe konstruirovanie ehlektronnyh ustrojstv [Machinery designing electronic devices]. M.: Sovetskoe radio, 1977. 384 s.

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОДИНАКОВОГО СКАТА НА ЭЛЛИПТИЧЕСКОМ ПЛАНЕ В СИСТЕМЕ AUTOCAD ПОСРЕДСТВОМ ЯЗЫКА AUTOLISP**

**В.А. Романова, Тхома Анамария**

Российский университет дружбы народов  
ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198

Графическое компьютерное моделирование — реальная возможность решения задач по образованию поверхностей кинематическим способом. Она обусловлена наличием систем автоматизированного конструирования, таких как MathCad, Mathematika, AutoCad и др. Преимуществом системы AutoCad является наличие встроенного в нее языка функционального AutoLisp. Располагая широким набором математических функций и функций для вычерчивания графических объектов, язык AutoLisp позволяет написать программу для вычерчивания оболочек любой сложности, в частном случае — оболочки одинакового ската на эллиптическом плане с последующей передачей результатов в среду AutoCAD. Воспроизведение объектов в замедленном режиме дает возможность составлять мини-фильмы о формировании поверхностей. Изображение графических построений в трехмерном пространстве с использованием цветной палитры AutoCAD усиливает выразительность изображения поверхностей и их элементов [1].

Целью исследования является возможность моделирования поверхности одинакового ската на эллиптическом плане, осуществляемая ее поэтапным вычерчиванием в замедленном динамическом режиме с созданием мини-фильма, позволяющего представить на экране монитора процесс образования поверхности.

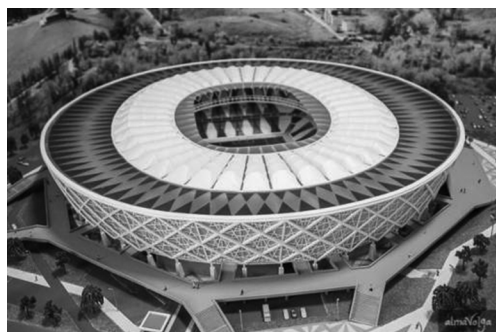
**Ключевые слова:** поверхность, моделирование, AutoLisp, AutoCAD, оболочка, формообразование, слой, образующая, направляющая, плоскость

Поверхность одинакового ската — линейчатая аналитическая поверхность, имеющая постоянный угол наклона между прямолинейной образующей и главной нормалью к направляющей кривой.

В настоящее время все чаще при разработке проектов пространственных конструкций с учетом эстетических задач архитекторы обращаются к поверхностям одинакового ската. Их можно наблюдать в проектах стадионов (г. Донецк, Украина, г. Волгоград, Россия) (рис. 1) [4], а также в проектах архитектурных ансамблей, включающих сочетания геометрических форм, в том числе поверхности одинакового ската. К ним можно отнести бизнес-центр в Италии, (дизайн Захи Хадид), национальную библиотеку в г. Астана (Казахстан) (рис. 2) [3] и др.

Графическое компьютерное моделирование — реальная возможность решения задач по образованию поверхностей кинематическим способом. Она обусловлена наличием систем автоматизированного конструирования, таких как MathCad, Mathematika, AutoCad и др. Преимуществом системы AutoCad является наличие встроенного в нее языка функционального AutoLisp. Располагая широким набором математических функций и функций для вычерчивания графических объектов, язык AutoLisp позволяет написать программу для вычерчивания оболочек

любой сложности, в частном случае — оболочки одинакового ската на эллиптическом плане, с последующей передачей результатов в среду AutoCAD. Воспроизведение объектов в замедленном режиме дает возможность составлять мини-фильмы о формировании поверхностей. Изображение графических построений в трехмерном пространстве с использованием цветной палитры AutoCAD усиливает выразительность изображения поверхностей и их элементов [1].



**Рис. 1.** Проект стадиона в Волгограде к ЧМ по футболу в 2018 г. (Россия)  
[The project of stadium in Volgograd to FIFA World Cup in 2018 (Russia)]

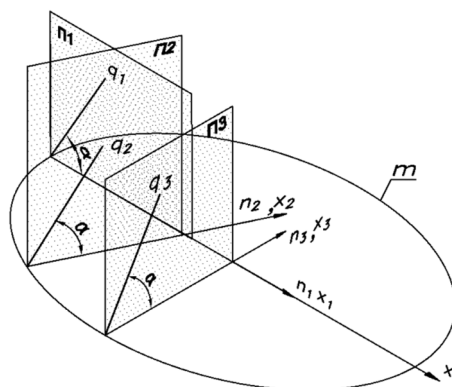


**Рис. 2.** Национальная библиотека в г. Астане (Казахстан)  
[Natonay Library in Astana (Kazakhstan)]

Целью исследования является возможность моделирования поверхности одинакового ската на эллиптическом плане, осуществляемая ее поэтапным вычерчиванием в замедленном динамическом режиме с созданием мини-фильма, позволяющего представить на экране монитора процесс образования поверхности.

Общая теоретическая база для формирования поверхностей описана в [2].

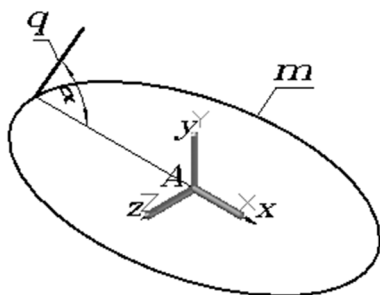
Поверхности одинакового ската формируются прямолинейной образующей, которая во всех положениях имеет постоянный угол наклона  $\mu$  с главными нормальными  $n_1, n_2, n_3, \dots, n_k$  к направляющей кривой  $m$ . Если направляющая кривая — плоская линия, линейные образующие лежат в нормальных плоскостях  $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \dots, \Pi_k$  к направляющей  $m$  (рис. 3).



**Рис. 3.** Образующие линии  $q_1, q_2, q_3$  находятся в плоскостях  $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3$ , расположены по нормальным к направляющей  $m$   
[Formation lines  $q_1, q_2, q_3$  are in planes  $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3$ , located normal to the guide line  $m$ ]

Возможно образование поверхности одинакового ската на эллиптическом плане кинематическим методом.

Элементами поверхности являются эллипс  $q$  — направляющая и прямая линия  $m$  — образующая. Начальное положение элементов поверхности изображено на рис. 4.



**Рис. 4.** Начальное положение элементов поверхности  
[The initial position of the surface elements]

Наиболее подходящей для формирования поверхности в системе AutoCad является функция Loft, при этом в качестве сечений необходимо принять положения образующей при движении по эллипсу. Перемещение образующей выполняет функция Move.

Для выполнения условия постоянства величины угла между образующей прямой и нормалью к эллипсу необходимо на каждом шаге построения устанавливать систему координат в текущую точку на эллиптической кривой и направлять ось  $x$  по нормали в этой кривой. Чтобы установить ось  $x$  по нормали к направляющей, определяется значение производной  $y'(x)$  от эллиптической функции и угол  $\gamma$  между касательной к кривой и осью  $x$ :  $\gamma = \arctg y'$ , а затем угол  $\beta$  между осью  $x$  и нормалью к кривой:  $\beta = \gamma + 90^\circ$ .

Для формирования поверхности разработан комплекс программ, включающий пользовательские функции **Sk10.lsp**, **Form-surface.lsp** и др.

Функцией **Sk10.lsp** строится массив отсеков поверхности и образующих линий, причем каждый отсек и образующая размещаются в соответствующем им слое. Из образующих в процессе формирования составляется список, который далее используется для образования поверхности. Из отсеков и образующих создается блок.

Образование поверхности выполняется функцией **Form-surface.lsp**. Ею предусмотрена вставка блока с отсеками и образующими при «замороженных» слоях, в которых они расположены. Поверхность формируется в замедленном динамическом режиме путем последовательного «размораживания» слоев.

Исходными данными для построения поверхности являются: большая и малая полуоси эллипса **a**, **b**, угол наклона **alfa** образующей прямой к нормали  $n_i$ , длина образующей прямой **Lobr**.

Алгоритм программы образования отсеков поверхности:

1) ввод исходных данных выполняется из командной строки по запросу программы. Используется функция **Getreal**;



2) устанавливается изометрический вид **Nwiso**;

3) строится эллипс посредством пользовательской функции **Elip**. Начало координат — на пересечении осей эллипса;

4) создается пустой набор для образующих поверхности. Функция — **(setq ssr1 '())**;

5) начальная образующая строится по двум точкам: **pt1** и **pte**. Точка **pt1** задается на контуре эллипса при  $\varphi = 0$ , где  $\varphi$  — угол между радиус-вектором точки эллипса и осью  $x$ . Точка **pte** определяется в полярных координатах: **(setq pte (polar pt1 (- pi alfar) lobr))**. Построение образующей выполняет функция **(command "pline" pt1 pte "")**. Образующей присваивается идентификатор **en1**, что позволяет ввести ее в набор **ssr1**;

6) для вычисления точек эллипса и производной эллиптической функции создаются две пользовательские функции **E1 – pt**, **E11 – pt**;

7) для построения отсеков поверхности создается цикл с параметрами  $i$  ( $1 \leq i \leq 71$ ) и  $\varphi$ . Параметр  $i$  необходим для формирования имени слоя, параметр  $\varphi$  — для построения образующих. В цикле выполняются следующие операции:

— создание имени слоя, соответствующем параметру  $i$ , и установка его текущим:

```
(setq nsloy (strcat "vent" (itoa i) )  
(command "layer" "s" nsloy ""));
```

— перенос осей координат в точку эллипса **pt2**, соответствующую углу  $\varphi$ , определяемому соотношением  $\varphi = \varphi + \Delta\varphi$ ;

— для ориентации осей координат по нормали к эллипсу создаются две пользовательские функции **Usk1** и **Usk2**. Угол  $\gamma$ , необходимый для поворота осей координат вокруг оси  $z$ , определяется с помощью функций

```
(setq y11 (/ b (* a -1.0 (/ (sin fi) (cos fi)) )))  
(setq gamma (atan y11)).
```

Последующим поворотом системы координат вокруг оси  $x$  на угол  $\pm 90^\circ$  вокруг оси  $y$  достигается установка осей координат так, что ось  $x$  направлена по нормали к эллипсу;

— вычерчивание образующих выполняет функция **(command "pline" '(0 0) (polar '(0 0) alfar lobr) "")**;

— формирование отсеков поверхности выполняют совместно работающие функции **Loft** и **Foreach**;

8) по окончании работы цикла создается блок **Skat-bl**, содержащий отсеки поверхности и образующие линии.

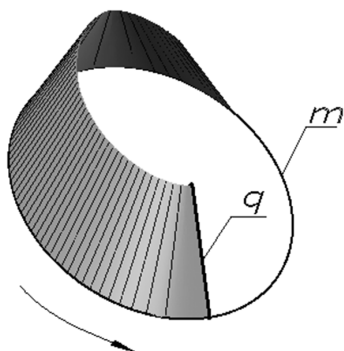
Для визуализации процесса образования поверхности создается пользовательская функция **Sk11.lsp**, включающая функцию **Form-surface.lsp**, выполняющую визуализацию процесса образования поверхности посредством «размораживания» слоев с отсеками, содержащимися в блоке **Skat-bl**.

На рисунке 5 представлен процесс формирования поверхности, на рис. 6 — каркас поверхности, на рис. 7 представлена поверхность одинакового ската.

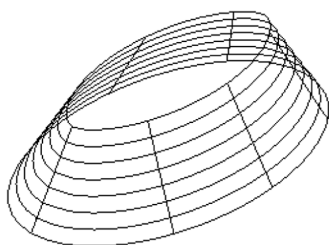
Код функции **Form-surface.lsp** приводим ниже:

```
(defun form-surface (k)  
  (repeat k
```

```
(setq nsloyi (strcat "vent" (itoa i)))
(command «layer» «thaw» nsloyi «»)
(command «erase» s1 «»)
(setq s2 (ssget «x» (list ( cons 8 (substr nsloyi 1 6)) )))
(setq s1 s2)
(command «delay» 300)
(setq i (+ i 1))
))
```



**Рис. 5.** Образование поверхности  
[Formation of surface]



**Рис. 6.** Каркас поверхности  
[The frame surface]



**Рис. 7.** Поверхность одинакового ската  
[The surface of the same slope]

Таким образом, моделирование поверхности одинакового ската стало возможным в САПР AutoCad благодаря программам, составленным на языке AutoLisp.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Иванов В.Н., Романова В.А.* Конструкционные формы пространственных конструкций. Визуализация поверхностей в системах MathCad, AutoCad. М.: Ассоциация строительных вузов, 2016. 410 с.
- [2] *Кривошапко С.Н., Иванов В.Н.* Энциклопедия аналитических поверхностей. М.: ЛИБРОКОМ, 2010. 560 с.
- [3] Национальная библиотека. URL: <http://www.evolu.us/architecture/kazakhstan-library>
- [4] Проект стадиона в Волгограде к ЧМ по футболу 2018 г. URL: <http://www.bing.com/images/search?q=проект+стадиона+в+Волгограде&view=detailv2&&id=7033140072A4CE84D1C66D06E401C528FDB4653B&selectedIndex=47&ccid=8cOH0MIE&simid=608036756150290913&thid=OIP.Mf1c387d0c204e57cf4fa7970b9a08089o0&ajaxhist=0>

## **AUTOMATIC MODELING OF THE SURFACE OF THE SAME SLOPE IN THE ELLIPTICAL PLAN IN AUTOCAD THROUGH THE AUTOLISP LANGUAGE**

**V.A. Romanova, Thoma Anamariya**

Peoples' Friendship University of Russia  
*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

Graphical computer modeling is a real possibility of solving problems for the education surfaces the kinematic method. It is due to the availability of computer-aided design, such as MathCad, Matematika, AutoCad etc. The advantage of AutoCad is the availability of built-in AutoLisp language is functional. Having a wide set of mathematical functions and functions to draw graphical objects, language AutoLisp allows you to write a program to draw the shells of any complexity, in the particular case of shell the same slope in the elliptical plan, with subsequent transfer of results in the AutoCAD environment. The reproduction of objects in slow motion gives you the ability to create mini-movies about the formation of the surfaces. Image graphic creations in three-dimensional space, using the AutoCAD color palette enhances the expressiveness of the image surfaces and their elements.

The aim of the study is the possibility of modeling the surface of the same slope in the elliptical plan, carried out by its gradual drawing in slow dynamically creating a mini-film, which allows to represent on the screen the process of formation of the surface.

**Key words:** surface, modeling, AutoLisp, AutoCAD, shell, formation line, layer, guide line, a plane

### **REFERENCES**

- [1] *Ivanov V.N., Romanova V.A.* Konstruktsionnyie formyi prostranstvennyih konstruktsiy. Vizualizatsiya poverhnostey v sistemah MathCad, AutoCad. M.: Assotsiatsiya stroitelnyih vuzov, 2016 [Structural forms of spatial designs. Visualization of surfaces in the system MathCad, AutoCad. Moscow, Publishing house Association of building universities, 2016]. 410 p.
- [2] *Krovoshapko S.N., Ivanov V.N.* Entsiklopediya analiticheskikh poverhnostey [Encyclopedia of analytical surfaces]. M.: LIBROKOM, 2010. 560 p.
- [3] Natsionalnaya biblioteka [National library]. URL: <http://www.evolo.us/architecture/kazakhstan-library>
- [4] Proekt stadiona v Volgograde k ChM po futbolu 2018 g [The project of stadium in Volgograd to FIFA World Cup in 2018]. URL: <http://www.bing.com/images/search?q=проект+стадиона+в+Волгограде&view=detailv2&&id=7033140072A4CE84D1C66D06E401C528FDB4653B&selectedIndex=47&ccid=8cOH0MIE&simid=608036756150290913&thid=OIP.Mf1c387d0c204e57cf4fa7970b9a08089o0&ajaxhist=0>

# ИННОВАЦИОННОЕ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 504.55.054:622(470.6)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЯЖУЩИХ СВОЙСТВ ЖИДКИХ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ РУД

**В.И. Голик, В.И. Комащенко, Ю.И. Разоренов**

Северо-Кавказский государственный технологический университет  
*ул. Николаева, 44, Владикавказ, РСО-Алания, 44362021*

Актуальность вопросов уменьшения стоимости твердеющих смесей для заполнения технологических пустот при подземной разработке рудных месторождений объясняется развитием ресурсосберегающих и природоохранных тенденций в горном производстве.

Целью работы является обоснование возможности повышения прочности смеси путем использования жидких хвостов обогащения многокомпонентных руд.

В ходе лабораторного и опытно-промышленного эксперимента исследована возможность получения твердеющих закладочных смесей с применением жидких хвостов обогащения руд.

Доказано, что использование жидких отходов обогатительного передела существенно улучшает прочность и другие технологические свойства твердеющих смесей на их основе тем больше, чем меньше марка вяжущего. Применение осветленных дамбовых вод в качестве затворителя при изготовлении твердеющих смесей для получения одной и той же прочности существенно снижает расход цемента, что составляет солидный экономический эффект. Дамбовые воды используют после извлечения из них металлов, что вместе с другой попутной товарной продукцией снижает затраты на приготовление твердеющих смесей. Рекомендован метод извлечения из жидких отходов металлов под влиянием электрического поля в диафрагменных электролизерах. Показано, что после извлечения металлов из пульпообразных отходов последние представляют собой перспективный материал для бетонного производства в горной промышленности и строительной индустрии.

Сделан вывод, что использование в составах твердеющих смесей жидких отходов гидрометаллургического передела существенно улучшает прочность и реологические свойства твердеющих смесей на их основе за счет солей сульфата натрия, хлорида натрия и поверхностно-активных вод. Рациональное использование дамбовых вод увеличивает область применения прогрессивных систем разработки с закладкой твердеющими смесями.

**Ключевые слова:** твердеющая смесь, выработанное пространство, подземная разработка, руда, месторождение, отходы обогащения, эксперимент, металл, прочность смесей

### Введение

Будучи крупной сырьевой державой мира, Россия не преодолела опасности стать сырьевым придатком развитых стран. Устаревшие технологии не решают проблему полноты извлечения сырья из недр и комплексности его использования.

Универсальная природоохранная и ресурсосберегающая технология с закладкой подземных технологических пустот твердеющими смесями требует надежного обеспечения сырьем для изготовления этих смесей, что создает проблемы для окружающей среды. Актуальность проблемы объясняется уменьшением запасов месторождений и необходимостью увеличения объема добычи сырья с ростом населения Земли.

Проблему сырья для приготовления твердеющих смесей решают утилизацией отходов горного и смежных производств [4—9]. Так, экспериментально обоснована возможность извлечения металлов из хвостов обогащения путем механохимической обработки в аппаратах с извлечением до 80% металлов от остаточного содержания [10; 11].

Одним из основных направлений оптимизации горного производства является уменьшение объема руд, оставляемых в недрах для управления состоянием рудовмещающего массива, что в итоге определяет качественные показатели процесса добычи полезных ископаемых. Критерием оптимальности управления состоянием рудовмещающего массива становятся затраты на управление рудовмещающим массивом с учетом ущерба от потерь и разубоживания.

Закладка пустот твердеющими смесями по сравнению с системой разработки с открытым выработанным пространством позволяет эффективно регулировать величину технологических и природных напряжений в окрестностях очистных выработок, используя твердеющие смеси на основе хвостов обогащения.

Содержание фракций в хвостах обогащения металлических руд различно, из них частиц размером менее 0,1 мм содержится до 60%. Количество хвостов на складах предприятий намного превышает потребности в сырье для твердеющих смесей. Так, только на предприятиях КМА их накоплено 320 000 тыс. т. Выход отходов составляет около 5 т/т товарной руды в сухом весе, в том числе при добыче открытым способом до 5,5 т/т, а при подземном способе — 1,3 т/т.

Объем бетонной продукции — твердеющих смесей — на горных предприятиях оценивается от сотен тысяч до первых миллионов м<sup>3</sup> в год, что превышает объем бетонной продукции в строительной индустрии, в связи с этим встает задача снижения стоимости бетонной продукции.

Решение проблем производства бетонной продукции приведет к созданию прибыли, поэтому заполнение подземных пустот хвостами обогащения после их сгущения не может быть признано корректным, поскольку при этом безвозвратно теряются попутные металлы, стоимость которых может превышать стоимость извлеченных титульных металлов.

Подземные выработки в этом случае превращаются в реактор природного выщелачивания металлов с катастрофическими последствиями химического заражения. Еще опаснее использование металлосодержащих хвостов обогащения в промышленном и гражданском строительстве. Наличие металлов, в том числе и весьма распространенных радиоактивных, в строительных материалах и конструкциях создает угрозу жизни людей.

Целью исследования является обоснование возможности использования жидких хвостов обогащения для твердеющих закладочных смесей со снижением их стоимости и уменьшении загрязнения окружающей среды отходами бетонного производства.

### **Материалы и методы исследования**

В качестве материала для приготовления твердеющих смесей использовали пульпообразные отходы гидromеталлургического завода с содержанием фосфогипса. Изменение реологических свойств смеси, в том числе однородность, предельное напряжение сдвига, прочность при одноосном сжатии исследовали стандартными методами.

Базовый состав твердеющих смесей, содержащий комплексное вяжущее, варьировали по условию транспортабельности. Результаты лабораторных исследований проверили в ходе опытно-промышленных работ на закладочном комплексе предприятия.

В ходе опытно-промышленных работ опробовали состав твердеющей смеси, отбираемой на сливе смесителя в закладочную скважину, и готовили контрольные кубы на различные сроки твердения. Опробовали тонкость помола граншлака в шаровой мельнице.

Из искусственного массива отобрали пробы, исследование которых послужило основанием для оценки динамики прочности твердеющих смесей и рекомендации составов твердеющей смеси к промышленному использованию в горном производстве.

На основании данных теории и практики рекомендовали метод изменения физико-механических свойств раствора под влиянием электрического поля в диафрагменных электролизерах.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

В бетонном производстве возможно использование хвостов гидromеталлургического передела металлических руд [6].

Так, на рассматриваемом гидromеталлургическом заводе (ГМЗ) в хвостохранилище направляются объединенные отходы с содержанием фосфогипса 30%, которые могут быть использованы в качестве дешевого сырья для закладочных работ.

Замена песчано-гравийной смеси хвостами ГМЗ — пульпой хвостового сгустителя до объединения отходов обеих линий при соотношении твердого к жидкому  $T : Ж = 1 : 3,5$  улучшает реологические свойства смеси, потому что твердеющая смесь более однородна, а ее предельное напряжение сдвига ниже.

Прочность при одноосном сжатии по сравнению с базовым составом увеличивается в 1,5—4 раза, что объясняется присутствием в пульпе активизирующих солей. Чтобы использовать пульпу, ее сгущают в гидроциклоне до соотношения  $T : Ж = 1 : 0,5$  и подают по пульпопроводу к закладываемому участку.

Осаждение твердой фракции хвостов происходит в хвостохранилище, после чего осветленная дамбовая вода может быть использована в технологическом процессе, так как содержит в своем составе соли сульфата натрия, хлорида натрия и поверхностно-активное вещество — полиакриламид.

Хлористый натрий и сернокислый натрий применяют в качестве добавки к строительным бетонам для повышения начальной пластической прочности.

Лабораторно исследовали влияние солей на прочность твердеющей смеси с использованием дамбовой воды состава: рН 7,0—7,5;  $\text{NH}_4$  18—25;  $\text{NO}_2$  3—7;  $\text{NO}_3$  — нет; сумма катионов и анионов 24000—40000 на 1  $\text{дм}^3$ .

Базовый состав твердеющих смесей содержал 460—480  $\text{кг}/\text{м}^3$  комплексного вяжущего (шлако-портландцемент М-400 плюс мокромолотый гранулированный шлак).

В опытах расход комплексного вяжущего снижали до 400  $\text{кг}/\text{м}^3$ . Установлено, что транспортабельность составов с меньшим количеством комплексного вяжущего приемлема.

Полученные в лабораторных условиях результаты проверены в ходе опытно-промышленных работ на закладочном комплексе по схеме (рис. 1).

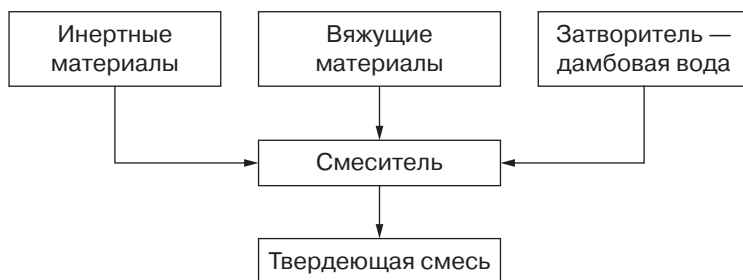


Рис. 1. Схема приготовления твердеющей смеси с дамбовой водой [Scheme of the preparation of forming mixtures with dam water]

Состав закладочной смеси: цемент — 14  $\text{кг}/\text{м}^3$ ; мокромолотый граншлак — 500  $\text{кг}/\text{м}^3$ ; заполнитель — 1100  $\text{кг}/\text{м}^3$ ; вода дамбовая — 400  $\text{л}/\text{м}^3$ .

Продолжительность опытно-промышленных работ — 2 ч 30 мин. при производительности закладочного комплекса 284  $\text{м}^3/\text{ч}$ . Объем изготовленной твердеющей смеси — 710  $\text{м}^3$ .

В ходе опытно-промышленных работ состав смеси опробовали в процессе подачи закладочной смеси, отбираемой на сливе смесителя в закладочную скважину, через каждые 30 мин. Контрольные образцы испытывали после твердения в количестве 28 и 90 дней.

Тонкость помола граншлака в шаровой мельнице, определенная в результате трех опробований, составила соответственно 10, 15, 15% выхода фракции — 0,08 мм. В пробе дамбовой воды содержание солей составило 24 г/л, в 2 раза меньше, чем в дамбовой воде, использованной при лабораторных исследованиях. При подаче смеси в камеру установлено выделение газа-аммиака (ПДК — 20  $\text{г}/\text{м}^3$ ).

Пробы из искусственного массива отобраны бурением двух скважин с углом наклона 4° длиной 18 м и 10° длиной 20 м.

Прочность керновых образцов, испытанных в возрасте 60 с, изменяется в пределах:  $\sigma_{\text{min}} = 0,7$  МПа,  $\sigma_{\text{max}} = 6,2$  МПа,  $\sigma_{\text{сред}} = 2,8$  МПа. В возрасте 90 с  $\sigma_{\text{сред}}$  оказалась равной 2,5—2,8 МПа.

Прочность контрольных образцов, отобранных на сливе смесителя в скважину, в возрасте 28 с оказалась равной  $\sigma_{\text{сред}} = 0,7$  МПа, а в возрасте 90 с  $\sigma_{\text{сред}} = 2,2$  МПа.

В нижней части исследуемой камеры при расходе цемента 83  $\text{кг}/\text{м}^3$   $\sigma_{\text{сред.28с}} = 3,1$  МПа,  $\sigma_{\text{сред.90с}} = 3,7$  МПа.

В верхней части камеры при расходе цемента  $44 \text{ кг/м}^3$  и использовании обычной воды прочность составила  $\sigma_{\text{сред.28с}} = 1,2 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_{\text{сред.90с}} = 1,8 \text{ МПа}$ . При использовании же дамбовой воды с содержанием солей  $24 \text{ г/дм}^3$  при расходе цемента  $14 \text{ кг/м}^3$   $\sigma_{\text{сред.28с}} = 0,7 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_{\text{сред.90с}} = 2,2 \text{ МПа}$ .

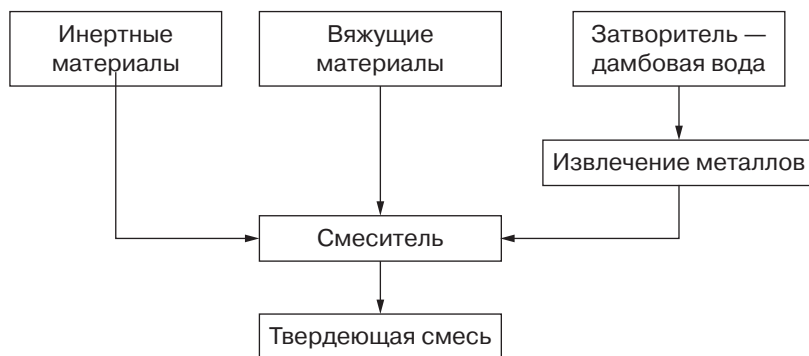
Установлено, что использование дамбовой воды сохраняет прочность смеси при уменьшении расхода цемента в 3 раза.

К промышленному использованию для закладки верхней части камер рекомендуются составы твердеющей смеси:

портландцемент (шлакопортландцемент) М-400	— $15 \text{ кг/м}^3$ ;
мокроемолотый гранулированный шлак	— $400 \text{ кг/м}^3$ ;
песчано-гравийная смесь	— $630 \text{ кг/м}^3$ ;
порода отвалов карьера	— $650 \text{ кг/м}^3$ ;
дамбовая вода	— 380 дм;
водоотделение смеси	— до 4%;
предельное напряжение сдвига смеси	— 90—110 Па;
прочность на сжатие в 28 с.	— до 3,0 МПа.

Препятствием для широкого использования хвостов переработки является наличие в солевых концентратах металлов. Как правило, технологические линии металлургических заводов не извлекают попутные металлы и отправляют их в отходы. Количество и ценность теряемых металлов может превышать стоимость извлекаемых металлов.

Экономически и экологически корректен подход, при котором для изготовления твердеющих смесей без очистки от металлов используются дамбовые воды с незначительным содержанием металлов, а обогащенные попутными металлами воды проходят стадию извлечения металлов одним из способов (рис. 2).



**Рис. 2.** Схема приготовления твердеющей смеси с очищенной дамбовой водой  
 [Scheme of the preparation of forming mixtures with the purified dam water]

Очистка хвостов гидрометаллургии от солей тяжелых металлов осуществляется переводом растворенных их в твердую фазу и разделением жидкой и твердой фаз с последующей утилизацией образующегося осадка [7; 8]. Перспективно извлечение металлов с помощью электрохимической технологии, которая противопоставляется известным технологиям коагуляции, окисления, сорбции, ионообмена, экстракции и т.д.



Очистка осуществляется изменением физико-механических свойств раствора под влиянием электрического поля в диафрагменных электролизерах. Эффект очистки основан на селективности ионитовых мембран, т.е. пропускании катионитовыми мембранами положительно заряженных ионов, а анионитовыми — отрицательных [3].

В камеры обессоливания подают металлосодержащие растворы, а в камеры образования кислоты и щелочей — стоки со скоростью несколько см/с. Под действием электрического поля из камер обессоливания ионы  $\text{Na}^+$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  переходят в камеры образования щелочи и кислоты, соответственно, где соединяются с генерируемыми биполярной мембраной ионами  $\text{OH}^-$  и  $\text{H}^+$ , образуя щелочь и кислоту, нейтрализующие металлосодержащие соли.

Энергоемкость очистки не превышает  $10 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ . Кроме металлов, из осадка извлекаются неметаллические вещества, являющиеся ценным сырьем для цементной и керамической промышленности.

Эффективность эксплуатации установок повышается с увеличением концентрации исходного раствора. Технология обеспечена промышленными электродиализными аппаратами Камышловского завода строительных материалов, Пятигорского опытного завода и машиностроительного завода в г. Тамбов.

Метод электродиализного обессоливания и одновременного концентрирования шахтных вод возможен с циркуляцией раствора через рассольные камеры и без циркуляции.

Предельная концентрация солей с циркуляцией раствора в рассольных камерах при исходной плотности тока  $100 \text{ а}/\text{м}^2$  составила  $\approx 8 \text{ г}/\text{л}$ . При конечной силе тока  $\approx 20 \text{ а}/\text{м}^2$  остаточное солесодержание в диализате составило  $300 \text{ мг}/\text{л}$ , а концентрация компонентов ( $\text{мг}/\text{л}$ ) —  $\text{Na}^+$  — 72;  $\text{Ca}^{2+}$  — 30;  $\text{Mg}^{2+}$  — 10;  $\text{Cl}^-$  — 114;  $\text{SO}_4^{2-}$  — 100;  $\text{Zn}^{2+}$  — 0,42,  $\text{Pb}^{2+}$  — 0,4. В опытах без циркуляции раствора в рассольных камерах получены аналогичные результаты. Расход электроэнергии составил  $0,57 \text{ кВт}$  на килограмм выводимых солей в рассол. Концентрация солей в рассоле составляла  $\approx 95 \text{ г}/\text{л}$  при содержании компонентов ( $\text{мг}/\text{л}$ ) —  $\text{Na}^+$  — 24500;  $\text{Ca}^{2+}$  — 1200;  $\text{Mg}^{2+}$  — 400;  $\text{Cl}^-$  — 42000;  $\text{SO}_4^{2-}$  — 293;  $\text{Zn}^{2+}$  — 6,5. Получаемый рассол в объеме 2% от исходного объема может быть упарен с получением твердого вещества, содержащего металлы.

Предлагаемая технология способствует решению стоящих перед бетонным производством задач:

- дамбовые воды используются в качестве компонентов твердеющих смесей и прочих бетонных изделий;
- стоимость бетонных изделий снижается за счет цены утилизируемых вод и продуктов их очистки, в том числе металлов;
- уменьшение объемов дамбовых вод в хранилищах снижает загрязнение окружающей среды [1; 2].

## Выводы

Использование в составах твердеющих смесей жидких отходов гидromеталлургического передела за счет солей сульфата натрия, хлорида натрия и поверх-

ностно-активных вод существенно улучшает прочность и реологические свойства твердеющих смесей на их основе.

Смесь более однородна, предельное напряжение сдвига уменьшается на 15—25%, прочность увеличивается в 2—3 раза из-за активирующего влияния солей тем больше, чем меньше марка вяжущего.

Применение дамбовых вод в качестве затворителя обеспечивает снижение расхода цемента в среднем по очистной камере с 50 до 35 кг/м<sup>3</sup>, что составляет солидный экономический эффект в зависимости от объема использования.

Дамбовые воды используют для затворения после извлечения из них металлов, что снижает затраты на приготовление твердеющих смесей. После извлечения металлов из пульпо-образных отходов, последние представляют собой по сути новый, перспективный материал.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Комащенко В.И.* Эколого-экономическая целесообразность утилизации горнопромышленных отходов с целью их переработки // *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле.* 2015. № 4. С. 23—30.
- [2] *Kachurin N., Komashchenko V., Morkun V.* Environmental monitoring atmosphere of mining territories. *Metallurgical and Mining Industry.* 2015. Т. 7. № 6. С. 595—598.
- [3] *Голик В.И.* Концептуальные подходы к созданию мало- и безотходного горнорудного производства на основе комбинирования физико-технических и физико-химических геотехнологий // *Горный журнал.* 2013. № 5. С. 93—97.
- [4] *Евдокимов С.И., Евдокимов В.С.* Получение товарной продукции из отходов гидрометаллургического производства триоксида вольфрама // *Горный информационно-аналитический бюллетень.* 2014. № 7. С. 56—67.
- [5] *Ермолович Е.А., Измestьев К.А., Ермолович О.В., Шок И.А.* Исследование свойств лежалых отходов обогащения железистых кварцитов и создание на их основе закладочных материалов // *Горный журнал.* 2015. № 5. С. 79—86.
- [6] *Рыльникова М.В., Ангелов В.А., Туркин И.С.* Обоснование технологической схемы и комплекса оборудования для утилизации текущих хвостов обогащения в выработанном подземном пространстве // *Горный информационно-аналитический бюллетень.* 2014. № 9. С. 138—149.
- [7] *Чантурия В.А., Двойченкова Г.П., Миненко В.Г., Самофалов Ю.Л., Тимофеев А.С.* Электрохимический способ извлечения минералов монтмориллонитовой группы из вод хвостохранилищ // *Горный журнал.* 2012. № 12. С. 67—73.
- [8] *Шадрунова И.В., Орехова Н.Н.* Исследование технологии извлечения цветных металлов из шахтных и подотвальных вод // *Горный информационно-аналитический бюллетень.* 2013. № 9. С. 89—93.
- [9] *Franks D.M., Boger D.V., Côte C.M., Mulligan D.R.* Sustainable Development Principles for the Disposal of Mining and Mineral Processing Wastes // *Resources Policy.* 2011. Vol. 36. No. 2. P. 114—122.
- [10] *Golik V., Komashchenko V., Morkun V.* Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures. *Metallurgical and Mining Industry.* 2015. № 3. P.p. 38—41.
- [11] *Golik V., Komashchenko V., Morkun V.* Innovative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use. *Metallurgical and Mining Industry.* 2015. № 3. P.p. 49—52.

## THE USE OF THE BINDING PROPERTIES OF THE LIQUID TAILINGS AND ORES

V.I. Golik, V.I. Komashchenko, Y.I. Razorenov

North-Caucasian state technological University  
ул. Николаева, 44, Владикавказ, РСО-Алания, 362021

The relevance of reducing the cost of solid mixtures to fill technological voids in underground mining of ore deposits is due to the development of resource-saving and environmental trends in the mining industry.

The aim of this work is to study the possibility of increasing the strength of the mixture by the use of liquid tailings multicomponent ores.

In the course of laboratory and experimental — industrial experiment investigated the possibility of obtaining hardening stowing mixtures with the use of liquid tailings and ores.

It is proved that the use of liquid waste processing processing significantly improves the strength and other technological properties of solid mixtures based on them is greater than the lower grade binder. Clarified the use of dam water as a sealer in the manufacture of solid mixtures for obtaining the same strength significantly reduces the consumption of cement, which is substantial economic effect. Dam water is used after the extraction of these metals, together with other associated commercial products reduces the cost of preparation of solid mixtures. Recommended method of extraction of the waste liquid metals under the influence of an electric field in diaphragm electrolyzers. It is shown that after extraction of the metals from pulpo-shaped waste, the latter represent a promising material for concrete production in the mining industry and construction industry.

It is concluded that the use in the compositions of the solid mixtures, liquid waste hydrometallurgical processing significantly improves the strength and rheological properties of solid mixtures based on them due to salts of sodium sulfate, sodium chloride and surfactant water. Rational use of dam water increases the scope of progressive development systems with the bookmark hardening mixtures.

**Key words:** hardening mixture, goaf, underground development, ore Deposit, tailings, experiment, metal, the strength of mixtures, binder

### REFERENCES

- [1] *Komashchenko V.I.* Ekologo-ekonomicheskaya celesoobraznost' utilizacii gornopromyshlennyh othodov s cel'yu ih pererabotki [Ecological and economic feasibility of disposal of mining waste with the purpose of their processing]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle* [Izvestiya of the Tula state University. Earth science]. 2015. № 4. Pp. 23—30.
- [2] *Kachurin N., Komashchenko V., Morkun V.* Environmental monitoring atmosphere of mining territories. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. T. 7. № 6. Pp. 595—598.
- [3] *Golik V.I.* Konceptual'nye podhody k sozdaniyu malo- i bezothodnogo gornorudnogo proizvodstva na osnove kombinirovaniya fiziko-tehnicheskikh i fiziko-himicheskikh geotekhnologij [Conceptual approaches to the creation of low — and non-waste mining production based on a combination of physico-technical and physicochemical geotechnologies]. *Gornyj zhurnal* [Mining journal]. 2013. № 5. Pp. 93—97.
- [4] *Evdokimov S.I., Evdokimov V.S.* Poluchenie tovarnoj produkcii iz othodov gidrometallurgicheskogo proizvodstva trioksida vol'frama. [Obtaining commercial products from waste of hydrometallurgical production of tungsten trioxide]. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'* [Mining information-analytical Bulletin]. 2014. № 7, pp. C. 56—67.
- [5] *Ermolovich E.A., Izmes'tev K.A., Ermolovich O.V., Shok I.A.* Issledovanie svojstv lezhalyh othodov obogashheniya zhelezistyh kvarcitov i sozdanie na ih osnove zakladochnyh materialov [The study

- of the properties of stale tailings ferruginous quartzite and creation on their basis of stowing materials]. *Gornyj zhurnal [Mining journal]*. 2015. № 5. Pp. 79–86.
- [6] *Ryl'nikova M.V., Angelov V.A., Turkin I.S.* Obosnovanie tehnologicheskoy shemy i kompleksa oborudovaniya dlja utilizacii tekushhih hvostov obogashheniya v vyrabotannom prostranstve. [Justification of the technological scheme of complex equipment for the recycling of current tailings in mined-out space]. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' [Mining information-analytical Bulletin]*. 2014. № 9, pp. 106–112.
- [7] *Chanturija V.A., Dvojchenkova G.P., Minenko V.G., Samofalov Ju.L., Timofeev A.S.* Jelektrohimičeskij sposob izvlečenija mineralov montmorillonitovoj gruppy iz vod hvostohranilišh [Electrochemical method for the extraction of montmorillonite group minerals from the waters of the tailings]. *Gornyj zhurnal [Mining journal]*. 2012. № 12. Pp. 67–73.
- [8] *Shadrinova I.V., Orehova N.N.* Issledovanie tehnologii izvlečenija cvetnyh metallov iz shahtnyh i podotval'nyh vod. [Study the technology of extracting nonferrous metals from pit water podatelna]. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' [Mining information-analytical Bulletin]*. 2013. № 9, pp. 89–93.
- [9] *Franks D.M., Boger D.V., Côte C.M., Mulligan D.R.* Sustainable Development Principles for the Disposal of Mining and Mineral Processing Wastes Resources Policy. 2011. Vol. 36. No. 2. Pp. 114–122.
- [10] *Golik V., Komashchenko V., Morkun V.* Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. № 3. Pp. 38–41.
- [11] *Golik V., Komashchenko V., Morkun V.* Innovative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. № 3. Pp. 49–52.

## **КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ПО УПРАВЛЕНИЮ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРИ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА В СИРИИ В УСЛОВИЯХ НАБУХАЮЩЕГО ГРУНТОВО-ПОРОДНОГО МАССИВА**

**Халиль Саид Алафар**

Российский университет дружбы народов  
ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198

В статье определены структура и классификация методов по управлению геомеханическими процессами при освоении подземного пространства в Сирии в условиях набухающего грунтово-породного массива. Рассмотрены разные методы защиты зданий и сооружений, позволяющие устранить или уменьшать деформации оснований зданий и сооружений на набухающих грунтово-породных массивах.

**Ключевые слова:** геомеханические процессы, освоение подземного пространства, набухающие массивы, Сирия, классификация

Ранее нами были представлены общие подходы к описанию методов защиты зданий и сооружений от влияния горно-строительных работ [3; 5]. Разработаны рекомендации по управлению геомеханическими процессами при строительстве подземной части зданий и сооружений в Сирии, рассмотрены методы усиления оснований и фундаментов зданий и сооружений на набухающих грунтах [3]. В настоящей статье рассмотрены структура и классификация методов по управлению геомеханическими процессами при освоении подземного пространства в Сирии в условиях набухающего грунтово-породного массива, включая и методы защиты зданий и сооружений, которые опираются на учет специфики деформации глинистых грунтов Сирии.

Современный подход к выбору методов управления геомеханическими процессами при освоении подземного пространства отличается использованием комплексных решений и сочетанием горных, геомеханических, конструктивных, технологических, методических и иных решений, заложенных учеными И.В. Баглашовым, М.А. Иофисом, Б.А. Картозия, Э.В. Каспарьяном, А.А. Козыревым, А.Б. Макаровым, А.Г. Протосеня, А.А. Мустафаевым, Е.А. Сорочаном, В.М. Улицким, А.Г. Шашкиным, К.Г. Шашкиным и др.

Следует также отметить, что учеными В.М. Улицким, А.Г. Шашкиным и К.Г. Шашкиным недавно разработаны принципиальные подходы по системе методов управления геомеханическими процессами при строительстве подземных сооружений, изложенные в Концепции геотехнического сопровождения.

Концепция геотехнического сопровождения построена по принципу непрерывного обслуживания этапов жизненного цикла строительства с выделением содержания работ по каждому этапу.

Один из элементов Концепции геотехнического сопровождения — профилактические меры, включающие мониторинг за деформациями породного массива при ведении горных и горностроительных работ.

В числе других перспективных решений при разработке состава методов по управлению геомеханическими процессами можно указать методические подходы, примером которых могут служить методы корректировки расчетных соотношений деформаций оснований на набухающих глинистых грунтах, описанные в [2].

Следует указать на актуальность использования таких решений, как моделирование и расчет грунтовых оснований как необходимый элемент методов управления геомеханическими процессами.

Еще одну группу методов составляют специальные технологические решения, которые создаются на основе учета комплекса факторов — особенностей свойств набухающих грунтов и характера воздействия на них.

Применительно к набухающим грунтам Сирии при разработке специальных технологических решений должны быть приняты во внимание характерные особенности набухающих грунтов с учетом фактора погодноклиматических условий со сменой сезона дождей на засушливый период.

Как следует из обобщения данных по экспериментальным свойствам глинистых грунтов Сирии, выполненных в работах [1; 4], а также результатов моделирования деформаций оснований, принципиальные особенности поведения набухающих грунтов Сирии определяются следующими факторами:

- характером и интенсивностью взаимодействия поверхностных слоев набухающего грунта с атмосферой, при этом взаимодействие происходит посредством теплопередачи и переноса влаги;

- взаимодействием поверхностных слоев набухающего грунта с атмосферой в значительной степени подавляющимся при использовании методов тепло- и гидроизоляции поверхности раздела грунт — атмосфера;

- генезисом, составом и характеристиками грунтов Сирии (например, каолинистая и монтмориллонитовая глины).

На рисунке представлена структура методов управления геомеханическими процессами при освоении подземного пространства в условиях набухающих грунтов Сирии.

Входящие в структуру методы можно условно разделить на группы:

- методы, с помощью которых формируются базы данных для проектирования и строительства зданий и сооружений, — инженерно-геологические изыскания, экспериментальные исследования набухающих грунтов, моделирование и расчет грунтовых оснований;

- нормативные методы защиты эксплуатируемых зданий и сооружений;

- дополнительные методы — профилактические меры, методические подходы, специальные технологические решения, методы усиления оснований и фундаментов, а также основных конструкций зданий.

Специальные технологические решения при строительстве подземной части зданий и сооружений на набухающих грунтах Сирии заключаются в регулировании водо-, теплообмена грунта с окружающей средой.



**Рис.** Структура методов по управлению геомеханическими процессами при освоении подземного пространства в Сирии в условиях набухающего грунтово-породного массива  
[Structure of methods for management of geomechanical processes during the development of underground space in Syria in the conditions of swelling soil-rock mass]

На основании вышеизложенного в таблице приводится классификация методов по управлению геомеханическими процессами при строительстве подземной части зданий и сооружений на набухающих грунтах Сирии.

Таким образом, управление геомеханическими процессами при освоении подземного пространства в условиях набухающего грунтово-породного массива может быть реализовано с использованием разработанных методов, учитывающих специфику деформации набухающих глинистых грунтов Сирии.

Таблица

**Классификация методов по управлению геомеханическими процессами при освоении подземного пространства в Сирии в условиях набухающего грунтового-породного массива [Classification of methods for management of geomechanical processes during the development of underground space in Syria in the conditions of swelling soil-rock mass]**

Наименование метода	Преимущества	Недостатки	Тип метода
Группа методов, с помощью которых формируются базы данных для проектирования зданий и сооружений	Позволяет повысить достоверность проектных решений	Высокие трудозатраты и стоимость	Инженерно-геологические изыскания, экспериментальные исследования, моделирование и расчет грунтовых оснований
Нормативные горные, геотехнические, конструктивные меры защиты эксплуатируемых зданий и сооружений на подрабатываемых территориях	Высокая эффективность для оснований на структурно-устойчивые грунтовые основания	Недостаточно эффективны для оснований на слабых грунтах	Комплексные решения
<i>Профилактические меры</i> , включающие геомеханический мониторинг за деформациями породного массива при ведении горно-строительных работ	Своевременное обнаружение признаков, предшествующих возникновению аварийных ситуаций	В случае оснований на слабых грунтах требуется методическая доработка для учета дополнительных осадок	Методический
<i>Методические подходы</i> (корректировка расчетных соотношений деформаций оснований на набухающих глинистых грунтах)	При расчете деформаций оснований позволяет учесть особенности набухающих глинистых грунтах	Необходимо дополнение нормативных документов	
<b>Методы усиления оснований и фундаментов, а также основных конструкций зданий</b>			
Цементирование	Высокая эффективность	Затратная технология	Химический
Усиление грунта вяжущими веществами	Пригоден для грунтов широкого спектра	Затратная технология	
Динамическое уплотнение (ударное уплотнение)	Высокая эффективность	Высокая энергоемкость технологии	Динамический
Предварительное замачивание основания	Устранение свойства набухания грунтов	Требует много времени	Методический
Укрепление известью, золой	Низкая стоимость исходных материалов	Необходимость отбора сырья	Физический



Применение компенсирующих песчаных подушек	Пригодны для водонасыщенных грунтов	Ограниченная эффективность	Конструктивный
Армирование оснований	Стабилизирует горизонтальные деформации	Недостаточно эффективно для набухающих грунтов	
Устройство свайных фундаментов	Высокая эффективность для глинистых грунтов	Высокая стоимость технологии	
Углубление фундамента ниже зоны колебания водосодержания	Пригоден при необходимости переноса подошвы фундамента на более плотные нижележащие слои грунта.	Значительная трудоемкость	
Увеличение опорной площади фундаментов, подведение железобетонных плит	Эффективно для высоконагруженных оснований	Недостаточно эффективно для набухающих грунтов	
Изменение конструктивной схемы здания, устройство металлических поясов и тяжей	Сохраняет устойчивость зданий при появлении дефектов	Ограниченная эффективность для набухающих грунтов	
Различные способы компенсационного нагнетания	Достаточная эффективность как локальное решение	Малая эффективность для набухающих грунтов	
<b>Специальные технологические решения</b>			
Экранирование поверхности грунтового основания от тепло- влагообмена с атмосферой	Снижает интенсивность тепло- влагообмена грунтового основания с атмосферой	Необходимо методическое решение определения зоны экранирования	Конструкционно-технологический
Полная или частичная замена слоя набухающего грунта ненабухающим	Низкие эксплуатационные деформации	Высокая стоимость технологии	Конструктивный
Вертикальное дренирование	Эффективно в водонасыщенных органических и минеральных сильносжимаемых грунтах	Малая эффективность для грунтов с низким водообменом	

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Махер Шауки Омар*. Набухающие грунты и строительство на них (в условиях Сирийской Арабской Республики): дисс. ... канд. техн. наук. Харьков, 2002. 145 с.
- [2] *Негурица Д.Л., Алафар Халиль Саид*. Прогнозирование сдвижений и деформаций при строительстве подземных сооружений на набухающих глинистых грунтах // Труды XII международной научной школы молодых ученых и специалистов «проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». М.: ИПКОН РАН, 2015. С. 119—126.
- [3] *Негурица Д.Л., Алафар Халиль Саид*. Разработка рекомендаций по управлению геомеханическими процессами при строительстве подземных сооружений в Сирии // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2016. № 1. С. 22—27.
- [4] *Салим Б.* Исследование поведения глинистых грунтов в южном регионе Сирии: дисс. магистра техн. наук. Дамаск (Сирия), 2003 (на арабском языке).
- [5] *Сученко В.Н., Алафар Халиль Саид*. Методы защиты зданий и сооружений от влияния горных работ // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2014. № 2. С. 119—123.

## CLASSIFICATION OF METHODS FOR MANAGEMENT OF GEOMECHANICAL PROCESSES DURING THE DEVELOPMENT OF UNDERGROUND SPACE IN SYRIA IN THE CONDITIONS OF SWELLING SOIL-ROCK MASS

**Khalil Said Alafar**

Peoples' Friendship University of Russia  
*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

In the article defined the structure and classification of methods for management of geomechanical processes during the development of underground space in Syria in the conditions of swelling soil-rock mass. The different methods of protection of buildings and constructions which eliminate or reduce deformation of the bases of buildings and structures on swelling soil-rock masses.

**Key words:** geomechanics processes, development of underground space, swelling masses, Syria, classification

## REFERENCES

- [1] *Maher Shauki Omar*. Nabuhajushhie grunty i stroitel'stvo na nih (v usloviyah Sirijskoj Arabskoj Respubliki) [Swelling soils and building on them (in terms of the Syrian Arab Republic)]. Diss. ... kand. tehn. nauk. Har'kov, 2002. 145 p.
- [2] *Neguritsa D.L., Alafar Khalil Said*. Prognozirovanie sdvizhenij i deformacij pri stroitel'stve podzemnyh sooruzhenij na nabuhajushhih glinistyh gruntah [The prediction of displacement and deformation during construction of underground structures in swelling clay soils]. Trudi XII mezhdunarodnoj nauchnoj shkoly molodyh uchenyh i specialistov «problemy osvoenija nedr v XXI veke glazami molodyh». IPKON RAN [In books of works of XII international school scientists and students "Problems of use of mineral resources in XXI age". M.: IPKON RAS]. 2015. Pp. 119—126.
- [3] *Neguritsa D.L., Alafar Khalil Said*. Razrabotka rekomendacij po upravleniju geomechanicheskimimi processami pri stroitel'stve podzemnyh sooruzhenij v Sirii [Development of recommendations for

- management of the geomechanical processes in the construction of underground structures in Syria]. *Vestnik RUDN [Bulletin of PFUR]*. 2016. No. 1. Pp. 22–27.
- [4] *Salim B.* Issledovanie povedenija glinistyh gruntov v juzhnom regione Sirii [The study of the specifications of swelling soils in Daraa (Syria)]. Diss. magistra tehn. nauk. Damasskij universitet (Sirija), 2003.
- [5] *Suchenko V.N., Alafar KHalil Said.* Metody zashhity zdaniij i sooruzhenij ot vlijanija gornyh rabot [Methods of guards of buildings an mining influence]. *Vestnik RUDN [Bulletin of PFUR]*. 2014. No. 2. Pp. 119–123.

## **ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОГО ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ОПАСНЫХ ПО ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ ЯВЛЕНИЯМ**

**Е.Н. Есина**

Российский университет дружбы народов  
ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198

Получили развитие методы геомеханического обеспечения освоения месторождений, опасных по газодинамическим явлениям. Установлены условия образования сквозных газопроводящих и замкнутых локальных каналов, что дает возможность рационально располагать дегазационные скважины, находить и применять их оптимальные параметры. Выявлена взаимосвязь остаточного давления метана после проведения дегазационных мероприятий с горизонтальными деформациями опасного пласта. Использование результатов исследований позволит предотвратить аварийные ситуации или снизить их негативные последствия, а также повысить эффективность утилизации метана.

**Ключевые слова:** газодинамические явления, предварительная дегазация, горное давление

В последние десятилетия наблюдается усложнение горнотехнических и гидрогеологических условий освоения месторождений твердых полезных ископаемых вследствие перехода горных работ на более глубокие горизонты, недостатка инвестиционных ресурсов, внедрения высокопроизводительного технологического оборудования, интенсификации процесса добычи полезных ископаемых и возрастания опасности динамических проявлений — внезапных выбросов породы, газа и горных ударов [1]. Отработка угольных пластов сопровождается значительными деформациями и сдвигами массива горных пород, вызывая перераспределение напряжений в нем, что провоцирует проявление одновременно геомеханических, гео- и газодинамических явлений, способствующих возникновению катастрофических аварийных ситуаций. Произошедшие на угольных шахтах взрывы метана повлекли гибель большого числа людей и значительные материальные убытки.

Наиболее эффективными методами предотвращения опасных газодинамических явлений являются опережающая отработка защитных пластов, позволяющая в широком диапазоне управлять проявлениями горного давления, и предварительная дегазация угольных пластов.

Увеличение газопроницаемости определяется степенью разгрузки от горного давления. Данные об изменениях давления газа и режима его фильтрации важны для предупреждения внезапных выбросов и осуществления эффективной дегазации метанонасыщенных угольных пластов.

Степень дегазации подрабатываемых и надрабатываемых выбросоопасных пластов зависит от интенсивности образования системы газопроводящих трещин, их размеров и местоположения, которые, в свою очередь, определяются величинами деформаций горных пород [2].

Сдвигение горных пород в подработанном массиве выше зоны обрушения происходит в форме последовательного прогиба слоев с разрывом и без разрыва сплошности. При изгибе подрабатываемого породного слоя в нем образуются зоны растяжения и сжатия [3]. При определенных условиях в зонах растяжения породных слоев появляются трещины разрыва, которые, как правило, между собой не соединяются, т.е. не являются газоводопроводящими каналами. Однако трещины могут стать сквозными — выше зоны обрушения, если слой в результате изгиба в одном направлении получает положительную кривизну, а в другом — отрицательную кривизну. Две взаимно перпендикулярные трещины на сторонах слоя с противоположными по знаку выпуклостями, пересекаясь, образуют сквозной газоводопроводящий канал.

Наибольшее раскрытие имеют трещины на верхней и нижней поверхностях породного слоя. По мере удаления от этих поверхностей трещины уменьшаются и на определенной глубине полностью закрываются. На участках, где кривизна во всех направлениях имеет одинаковый знак, в результате пересечения трещин образуется несквозная воронка, глубина которой равна глубине трещины. На участках, где кривизна в одном направлении имеет положительную кривизну, в другом — отрицательную (слой приобретает форму седла), в результате пересечения трещин образуется сквозная воронка (одна трещина пересекает верхнюю часть слоя, другая — нижнюю).

По мере продвижения забоя лавы перемещаются и образующиеся воронки, при этом за счет перемещения сквозных воронок слой пород рассекается нормальными сечениями на балки, параллельные линии движения забоя.

Интенсивность падения давления газа характеризует увеличение разгрузки защищаемого пласта и величину расслаивания пород междупластья, сопровождающееся раскрытием сообщающихся с выработками систем трещин.

Анализ экспериментальных данных проведения дегазационных мероприятий показывает, что при подработке зона разгрузки в опасном по выбросам пласте велика и прямо пропорциональна мощности обрабатываемого пласта. При надработке она существенно меньше и от мощности пласта практически не зависит. Разуплотнение на контактах слоев определяет возможность притока газа даже к редким поперечным трещинам из удаленных от них участков разгруженных пластов. Поэтому радиусы дегазации значительно повышают размеры областей интенсивного трещинообразования [4].

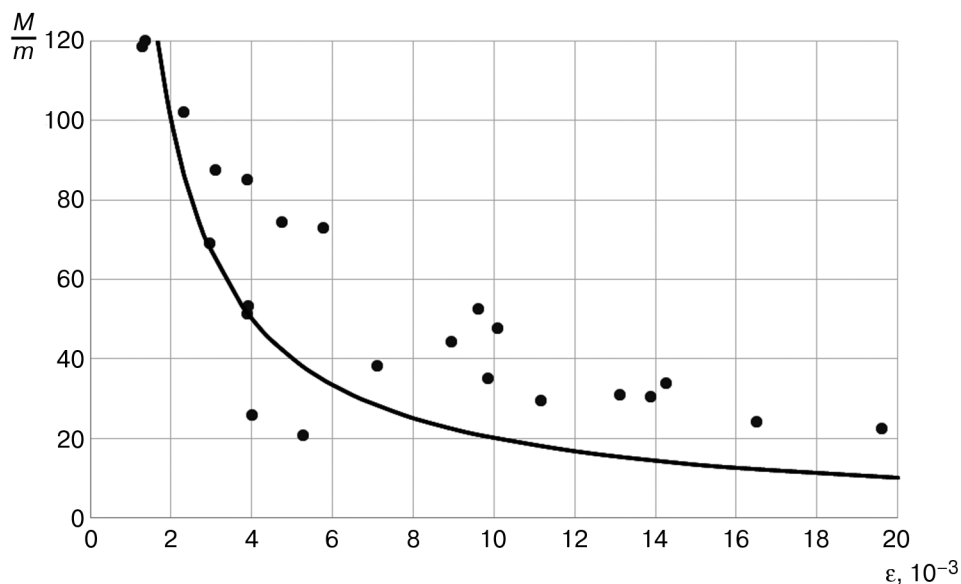
На основе анализа результатов данных натуральных наблюдений за давлением газа до и после проведения дегазационных мероприятий установлена взаимосвязь остаточного давления метана после проведения дегазационных мероприятий с горизонтальными деформациями опасного пласта  $\varepsilon$ :

$$P_0 = 3,6 \cdot 10^{-3} \frac{P_{\text{пр}}}{\varepsilon}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{пр}}$  — природное давление метана до дегазационных мероприятий, ата;  $P_0$  — остаточное давление метана после применения дегазационных мероприятий, ата;  $\varepsilon$  — горизонтальные деформации опасного пласта.

Для определения возможности возникновения газо- и водопроводящих каналов в подработанной толще пород достаточно знать величину относительных деформаций растяжения  $\epsilon$  на границах изгибающегося породного слоя и критическую величину относительной деформации растяжения  $\epsilon_{кр}$  при которой происходит разрыв сплошности горных пород.

Зависимость горизонтальных деформаций, при которых образуется сплошной газопроводящий канал, от кратности подработки  $M/m$ , установленная по результатам данных натуральных наблюдений, представлена на рисунке.



**Рис.** Зависимость горизонтальных деформаций, при которых образуется сплошной газопроводящий канал, от кратности подработки: • — данные натуральных наблюдений  
 [The horizontal deformations dependence, which forms a continuous gaz channel, from a multiplicity mining: • — the data of field observations]

Предельные деформации растяжения  $\epsilon_{кр}$ , при которых осадочные породы теряют сплошность, сквозные трещины будут иметь место при изменении отношения  $M/m$  в диапазоне  $40 \div 25$ , что соответствует  $\epsilon_{кр} = 0,006 \div 0,1$  [5].

В условиях горизонтального залегания пластов при  $M/m > 125$  (что соответствует  $\epsilon_{кр} = 0,002$ ) секущие трещины в осадочных породах, включая угольные пласты, для которых  $\epsilon_{кр} \geq 0,002$ , не образуются.

При  $25 < M/m < 125$  секущие трещины в массиве горных пород ( $0,010 > \epsilon_{кр} \geq 0,002$ ) не создают единую газоводопроводящую систему, вследствие чего на пути движения воды или газа появляется дополнительное сопротивление. При определенном отношении  $M/m$  это сопротивление становится непреодолимым для газа и воды. Такое положение может наступить при  $M/m \geq 80$ , когда сквозные секущие трещины не возникают даже в песчаниках ( $\epsilon_{кр} \geq 0,003$ ). В этих условиях сквозные трещины образуются только в угольных пластах, но их доля в общей толще пород не превышает, как правило, 1—2%. Поэтому в условиях  $M/m \geq 80$  уменьшение давления газа в газоносном подработанном угольном пласте происходит за счет миграции его во вмещающие пласт породы, расширивши-

еса в вертикальном направлении вследствие упругого восстановления и расслоения пород.

Таким образом, защитные функции подработки породного массива обусловлены интенсивностью трещинообразования в нем в результате деформирования (прогиба) породных слоев; в зависимости от интенсивности и размеров зоны трещинообразования происходит полная или частичная дегазация газоносного подработанного угольного пласта. Установленные условия образования сквозных газопроводящих и замкнутых локальных каналов дают возможность рационально располагать дегазационные скважины, находить и применять их оптимальные параметры. Выявленная взаимосвязь остаточного давления метана с горизонтальными деформациями опасного пласта позволяет управлять интенсивностью дегазационных мероприятий процессов.

Использование результатов проведенных исследований позволит предотвратить аварийные ситуации или снизить их негативные последствия, а также повысить эффективность утилизации метана.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Иофис М.А.* Научные основы управления деформационными и дегазационными процессами при разработке полезных ископаемых. М.: ИПКОН РАН, 1984. 230 с.
- [2] *Иофис М.А., Гришин А.В., Есина Е.Н.* Сдвигание горных пород и земной поверхности при разработке месторождений полезных ископаемых: учеб. пособие. М.: РУДН. 2011. 103 с.
- [3] *Петухов И.М., Линьков А.М., Сидоров В.С., Фельдман И.А.* Теория защитных пластов. М.: Недра, 1976. 224 с.
- [4] *Иофис М.А., Шмелев А.И.* Инженерная геомеханика при подземных разработках. М.: Недра, 1985. 248 с.
- [5] *Трубецкой К.Н., Иофис М.А., Есина Е.Н.* Особенности геомеханического обеспечения освоения месторождений, склонных к газодинамическим явлениям // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2015. № 3. С. 64—71.

## FEATURES OF SAFE DEVELOPMENT ENSURE OF HAZARDOUS GAS-DYNAMIC PHENOMENA DEPOSITS

**E.N. Esina**

Peoples' Friendship University of Russia  
*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

Geomechanical methods to control the deposits of dangerous gases are developed. Conditions for the formation of through and closed local gas channels are established. It allows choosing efficient positioning of degasification wells, to find and apply the optimal settings. A correlation between residual pressure of methane after degassing events and horizontal deformations of the dangerous layer is holding. Using the results of researches will allow to prevent accidents or to reduce their negative impacts and to increase the efficiency of methane utilization.

**Key words:** gas-dynamic phenomena, preliminary degassing, rock pressure

## REFERENCES

- [1] *Iofis M.A.* Nauchnye osnovy upravlenija deformacionnymi i degazacionnymi processami pri razrabotke poleznyh iskopaemyh. M.: IPKON RAN, 1984. 230 s. [Iofis M.A. Scientific basis for the control of deformation and degassing processes in the development of mineral resources. M.: IPKON Russian Academy of Sciences, 1984. 230 p.]
- [2] *Iofis M.A., Grishin A.V., Esina E.N.* Sdvizhenie gornyh porod i zemnoj poverhnosti pri razrabotke mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh: ucheb. posobie. M.: RUDN, 2011. 103 s. [Iofis M.A., Grishin A.V., Esina E.N. the Displacement of rocks and the earth surface in the development of mineral deposits: proc. Handbook. M.: PFUR, 2011. 103 p.]
- [3] *Petuhov I.M., Lin'kov A.M., Sidorov V.S., Fel'dman I.A.* Teorija zashhitnyh plastov. M.: Nedra, 1976. 224 s. [Petukhov I.M., Linkov A.M., Sidorov V.S., Feldman I.A. The Theory of protective layers. M.: Nedra, 1976. 224 p.]
- [4] *Iofis M.A., Shmelev A.I.* Inzhenernaja geomehanika pri podzemnyh razrabotkah. M.: Nedra, 1985. 248 s. [Iofis M.A., Shmelev A.I. Engineering geomechanics in underground mines. M.: Nedra, 1985. 248 p.]
- [5] *Trubetskoy K.N., Iofis M.A., Esina E.N.* Geomechanical Service in Mining under Gas-and-Dynamic Phenomena. Journal of Mining Sciences. 2015. № 63. P. 506—512.



# АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 628.161.2

## ПОДГОТОВКА ВОДЫ ДЛЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВЫХ ЦЕЛЕЙ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОЕМОВ С ОГРАНИЧЕННЫМ ДЕБИТОМ

Ж.М. Говорова<sup>1</sup>, А.П. Свинцов<sup>2</sup>, А.Р. Коэн<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский  
Московский государственный строительный университет

*Ярославское шоссе, д. 26, Москва, Россия, 129337*

<sup>2,3</sup> Российский университет дружбы народов  
*ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198*

Подготовка питьевой воды для хозяйственно-питьевых целей из поверхностных водоемов с ограниченным дебитом и формирующимся под воздействием природных и антропогенных факторов качеством воды является одной из первоочередных задач. Рассмотрены методы предподготовки воды (безреагентное удаление фитопланктона на префилт্রে с плавающей загрузкой и комплексное воздействие окислителей), экспериментально подтверждена их роль в повышении эффективности процессов коагулирования воды. Рассмотрены усовершенствованные технологии водоподготовки и приведены результаты их промышленной апробации.

**Ключевые слова:** поверхностный водоем, антропогенная нагрузка, предподготовка воды, фитопланктон, префилтър с плавающей загрузкой, окислители, коагулирование, технологическая схема

### Введение

В районах с дефицитом пресных вод проблема обеспечения малых населенных пунктов питьевой водой является особенно острой. В этих случаях альтернативой высокзатратной организации привозной питьевой воды может быть обоснованное с санитарно-гигиенической экономической точки зрения использование в качестве источников хозяйственно-питьевого водоснабжения небольших пресных озер, питаемых родниковыми подземными водами с ограниченным дебитом, и водоемов, образующихся в результате зарегулирования небольших водотоков.

В то же время при использовании таких водоисточников выбор и обоснование технологической схемы водоподготовки и поиск необходимых инвестиций на

приобретение дорогостоящих оборудования и реагентов является сложной научно-практической задачей [1]. Для ее решения требуется выполнить анализ динамики изменения качества исходной воды; определить возможность применения наиболее рациональных технологий водоочистки для малых водопроводов; обосновать менее энергозатратные методы и сооружения подготовки воды на первой стадии ее очистки; определить на основании натуральных исследований исходные данные для проектирования промышленных станций водоподготовки и выполнить технико-экономическое обоснование.

### Объект исследований

Специфика формирования качества воды в водоисточниках с ограниченным дебитом изучалась нами на примере озера, расположенного в южной части Западно-Сибирской равнины (рис. 1), являющегося единственным местным поверхностным водоисточником для населенного пункта с числом жителей до 8,0 тыс. человек. Допустимый отбор воды из озера на хозяйственно-питьевое водоснабжение по санитарным условиям составляет  $\sim 600 \text{ м}^3/\text{сут}$ , его наибольшая протяженность достигает 1,5—2 км, а максимальная глубина — до 3,5 м.



а

б

**Рис. 1.** Вид на озеро: а) загрязнение береговой полосы; б) ковшевой водоприемник  
[Lake view a) pollution of the coastal strip; b) feeding inlet]

Озерная вода характеризуется цветностью от 23 до 115 град. Мутность в зависимости от волновых процессов и размыва берегов, глубины воды в озере изменяется от 4 до 27,3 мг/л, перманганатная окисляемость — от 7,5 до 27,9  $\text{мгO}_2/\text{л}$ . Щелочность воды достигает 7,5—8,8 ммоль/л, рН колеблется от 7,8 до 9,9. Качество озерной воды формируется под воздействием природных и антропогенной факторов. Поступление с недостаточно очищенными хозяйственно-бытовыми сточными водами, ливневым и талым стоком с поверхности водосбора большого количества органических загрязнений и биогенных веществ приводит к эвтрофикации поверхностного водоисточника, которое сопровождается избыточным развитием фитопланктона и цветением воды. Численность микроводорослей в отдельные периоды года достигает 60—100 тыс. кл/мл, а биомасса — до 20 мг/л. Массовое развитие и отмирание микроводорослей приводит к повышению ко-

личества взвесей в воде, увеличению цветности, концентрации органических соединений и численности бактерий, развитию гнилостных процессов и появлению в воде неприятных запахов и привкусов интенсивностью до 3—4 баллов, продуцируемых некоторыми актиномицетами и плесневыми грибами [8; 10].

### Результаты исследований и их обсуждение

Для извлечения из воды фитопланктона, продуктов его жизнедеятельности и деструкции обычно на действующих водопроводных станциях предусматривается ее предварительная обработка высокими дозами хлора (до 6—10 мг/л) и пропускание воды через микрофильтры и дисковые сита с последующим реагентным осаждением и фильтрованием [5; 6; 9]. Однако предварительное хлорирование воды, разрушая стенки клеток планктона, лишает его плавучести, в то же время приводит к обогащению воды растворенной органикой, ухудшению ее органолептических свойств, образованию в ней большого количества хлорорганических соединений, присутствие которых в питьевой воде жестко регламентировано соответствующими нормативами. Последующая после этого реагентная обработка с использованием коагулянтов и флокулянтов повышенными дозами приводит к их перерасходу.

Повысить эффективность очистки воды из маломощных водоемов после коагулирования позволяет в ряде случаев применение флотации. Но при этом необходимо учитывать, что в результате флотации образуется в большом количестве способный к загниванию, плохо уплотняющийся и сильно обводненный осадок с влажностью 99—99,5%, последующее обезвоживание и утилизация которого вызывают трудности.

Применение микрофильтров и дисковых фильтров требует значительных эксплуатационных затрат при условии обеспечения гарантированной степени очистки воды от фитопланктона.

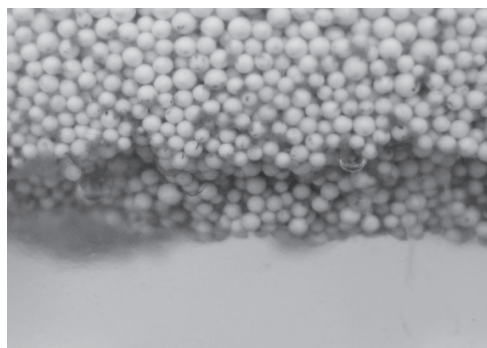
Альтернативой этим методам является задержание фитопланктона в слоях плавающей загрузки префильтра при безреагентном фильтровании воды снизу вверх и промывке загрузки сверху вниз.

Исследованиями эффективности задержания водорослей, содержащихся в исходной воде при разных скоростях восходящего фильтрования через плавающую пенополистирольную загрузку на модели префильтра (рис. 2), было установлено, что при скоростях фильтрования до 40—50 м/ч достигается эффект удаления водорослей по биомассе — до 45,1—48,7%. Снижение скоростей фильтрования до 30 м/ч позволяет повысить эффект очистки по биомассе соответственно до 49,9—52,6% при ее количестве в исходной воде до 26,2—66 мг/л и количестве клеток организмов до 14—30,7 тыс. кл/мл.

Кривые выноса задержанной в загрузке префильтра биомассы за фильтроцикл, количества водорослей и взвешенных веществ в течение промывки осуществляемой с разными интенсивностями при разных значениях грязеемкости слоя загрузки к концу фильтроцикла указывают на то, что основная масса задержанных загрязнений выносятся при интенсивностях промывного потока от 25 до 35 л/с·м<sup>2</sup> в первые 5—6 мин. промывки.



а



б

**Рис. 2.** Модель префильтра: а) вид сбоку; б) фрагмент плавающей загрузки с задержанными водорослями  
 [Model prefilter: a) side view; b) fragment of the floating load of detainees algae]

Использование на последующем этапе подготовки воды окислителей в технологическом процессе обосновывается их ролью в обеспечении эффективности последующих процессов коагуляции и флокуляции примесей в исходной воде. Изучение этих процессов проводилось на цветной воде искусственно зарегулированного участка реки Малая Карла.

Вначале исследовалось воздействие окислителей, коагулянта — оксихлорида алюминия марки «Аква-Аурат™10» (ОХА) и флокулянта — «Праестол 650 TR» на устойчивость коллоидных частиц дисперсной фазы испытуемой воды. Для этого исходная вода подвергалась обработке воды отдельно озоном ( $O_3$ ), пероксидом водорода ( $H_2O_2$ ), гипохлоритом натрия ( $NaOCl$ ) и комплексному воздействию  $H_2O_2$  и  $O_3$ . Затем определялась оптимальная доза ОХА путем пробного коагулирования окисленной воды по стандартной методике в интервале доз коагулянта ( $D_k$ ): от 5 до 50 мг/л по  $Al_2O_3$ , и флокулянта ( $D_f$ ) от 0,05 до 0,5 мг/л. Кинетическую устойчивость частиц взвеси в воде до и после ее совместной обработки окислителями оценивали по изменению величины  $\zeta$ -потенциала, определяемого методом амперометрии по микроэлектрофоретической подвижности коллоидных частиц в электрическом поле.

Сравнение процесса перезарядки  $\zeta$ -потенциалов коллоидных частиц для одной и той же цветной исходной воды, предварительно обработанной разными окислителями в определенных комбинациях их доз и концентраций, а затем — раствором ОХА с  $D_k$  от 5 до 50 мг/л по  $Al_2O_3$  и флокулянта с  $D_f = 0,5$  мг/л, выявило степень влияния отдельных окислителей на процессы коагуляции примесей. Наиболее существенное влияние на снижение доз коагулянтов оказала предварительная совместная обработка воды озоном и пероксидом водорода.

Полученные результаты исследований подтвердили технологическую целесообразность предварительного окисления цветных природных поверхностных вод с использованием  $O_3$  и  $H_2O_2$  или  $NaOCl$  перед ее коагулированием.

Необходимость проведения исследований процессов коагулирования и флокулирования маломутных цветных вод после применения окислителей обусловлена спецификой формирования физико-химического состава воды в водоемах с ограниченным дебитом, внедрением новых типов коагулянтов и флокулянтов в последние годы и недостаточной изученностью влияния сильных окислителей (гипохлорит натрия, раствор оксидантов, пероксид водорода, перманганат калия и др.) на процессы коагуляции природных и техногенных примесей.

Характеристика качества вод, на которых изучались процессы коагуляции и флокуляции приведена в табл. 1.

Таблица 1

**Показатели качества исходной воды из разных водоисточников**  
**[Indicators of source water quality from different water sources]**

Показатель	Водоисточник		Модельный раствор
	озеро Старое	р. М. Карла	
Запах, баллы	3—4	2—3	3—4
Мутность, мг/л	4—27,3	40—93	2,2—22,9
Цветность, град.	23—115	250—320	26—170
Перманганатная окисляемость, $mgO_2/l$	5,5—19,8 (27,9)	12—19,7	7,4—8,2
Азот аммонийный, мг/л	0,4—0,7	2—4,8	1,8—2,2
pH	7,8—9,8	7,1—8,2	7,8—8,5
Щелочность, мг-экв/л	3,9—8,0 (15,6)	н/опр	1,8—3
Окислительно-восстановительный потенциал, мВ	122,4	31	244—442

В опытах в качестве коагулянта применялся 4%-ный раствор ОХА (Аква-Аурат™18). Дозы по  $Al_2O_3$  назначались в пределах от 2,5; 5,0; 7,5; 10; 15 до 20 мг/л. Пробное коагулирование производилось по стандартной методике. Результаты пробного коагулирования по эффективности отстоенных вод из разных водоисточников по мутности, цветности и перманганатной окисляемости показали, что интервал требуемых доз коагулянта для таких вод лежит в пределах от 10 до 30 мг/л по  $Al_2O_3$ . Величины  $Eh$  и  $\zeta$ -потенциала в испытуемом диапазоне доз коагулянта достигали своих максимальных значений соответственно +320 и +40 мВ.

В практике очистки природных поверхностных вод большее распространение получают высокомолекулярные синтетические флокулянты с молекулярной массой равной  $10^4 \div 10^7$ , в том числе «Праестол» и полиДАДМАХ.

Исходная вода (см. табл. 1) подвергалась предварительному прехлорированию с дозой по активному хлору 2,5 мг/л и коагулированию 4—5%-ным раствором СА. В результате опытов рабочая доза коагулянта была установлена в пределах от 22 до 36 мг/л.

В дополнение к коагулянту использовали флокулянт — «Праестол 650TR» и органический коагулянт — полиДАДМАХ. Добавление последнего в виде 0,01%-го раствора с установленной требуемой дозой 0,4 мг/л позволило уменьшить требуемую рабочую дозу СА с 36 до 22 мг/л без существенного ухудшения качества воды по перманганатной окисляемости при улучшении его по цветности и мут-

ности. Потеря устойчивости коллоидной системы при этом подтверждалась перезарядкой и увеличением  $\zeta$ -потенциала. Сопоставление эффективности полиДАДМАХ с флокулянтом «Праестол 650TR» показало, что в случае его применения с дозой коагулянта 22 мг/л эффект последующего отстаивания воды по основным показателям качества оказался несколько выше. Однако при этом рабочая доза его оказалась почти в 5 раз выше по сравнению с флокулянтом марки «Праестол 650 TR».

Анализ усовершенствованных в последние годы технологий подготовки воды из водоисточников с повышенными антропогенными нагрузками, предложенных авторами [3] показал, что при использовании в качестве водоисточников эвтрофированных водоемов с ограниченным дебитом зачастую повышаются требования к их санитарно-гигиенической надежности.

Полученные результаты исследований процессов предподготовки воды перед подачей ее на основные сооружения позволили разработать усовершенствованную технологическую схему (схема 1) подготовки питьевой воды из маломощных водоисточников [2]. Она отличается от известных применением в ее составе префильтров с плавающей загрузкой, окислителей, коагулянтов и флокулянтов, двухступенных осветлительно-сорбционных фильтров (ОСФ) и обеззараживания ультрафиолетовым-излучением с ультразвуком и раствором гипохлорита натрия. Формирование слоя комбинированной загрузки в ОСФ осуществлялось путем введения мелкогранульного сорбента в верхний слой пенополистирола на последней стадии его промывки [7].



**Рис. 3.** Станция подготовки питьевой воды: а) осветлительный двухступенный фильтр с инертными загрузками; б) контактная колонна постозонирования воды; в) сорбционный фильтр  
 [Station potable water a) clarification two-stage filter with inert downloads; b) contact the column of polotnyany water; c) a sorption filter]



При значительных постоянных антропогенных нагрузках на водоисточник схему приходится дополнять постозонированием и сорбцией (схема 2). При этом в двухступенных контактных фильтрах используются только инертные загрузки. На рисунке 3 представлены фрагменты станции подготовки питьевой воды производительностью до 600 м<sup>3</sup>/сут.

Разработанная технологическая схема с двухступенным последовательным фильтрованием воды (схема 3) и предварительным вводом раствора гипохлорита натрия с дозами по активному хлору от 5,8 до 8,8 мг/л, коагулированием с дозами первичного коагулирования 3%-го раствора ОХА от 10 до 15 мг/л, и вторичного (в ряде фильтроциклов) — от 6,4 до 7 мг/л с добавлением флокулянта «Праестол 653 TR» в количестве до 0,5 мг/л позволяет обеспечить глубокую степень очистки воды не только по мутности и цветности, но по железу и марганцу, снижение которого, как и остаточного алюминия, происходило благодаря наличию в составе загрузки фильтра второй ступени катализатора-сорбента МС [4].

Область применения предложенных усовершенствованных технологий по схемам 1—3 приведена в табл. 2, а основные технико-экономические показатели в ценах 2012 года — в табл. 3 [2].

Таблица 2

**Область применения технологий подготовки питьевой воды**  
[The scope of technologies of preparation of drinking water]

Наименование	Технологические схемы		
	схема 1	схема 2	схема 3
Производительность, тыс. м <sup>3</sup> /сут	250—1000	1000—5000	250—5000
Запах, баллы	2—3	3—4	2—3
Мутность, мг/л	5—30	5—30	50
Цветность, град.	25—150	25—150	180
Перманганатная окисляемость, мгО <sub>2</sub> /л	10—12	15—20	12—15
Железо общее, мг/л	1—3	1—2	2—3
Марганец, мг/л	0,1—0,2	0,1—0,2	0,5—1,0
Фитопланктон, тыс. кл./л	14—35	14—35	15—30

Таблица 3

**Технико-экономические показатели для станции водоподготовки**  
производительностью 1500 м<sup>3</sup>/сут.  
[Technical and economic indicators for water treatment plant with a capacity of 1,500 m<sup>3</sup>/day]

Наименование	Технологические схемы		
	схема 1	схема 2	схема 3
Капитальные вложения, тыс. руб.	21871	26036	27734
Эксплуатационные затраты, тыс. руб.	8060	11466	12361
Срок окупаемости, годы	4	4	4
Приведенные затраты, тыс. руб.	13528	17975	19294
Себестоимость подготовки воды, руб/м <sup>3</sup>	14,7	20,9	22,6

### Заключение

На примере нескольких поверхностных водоисточников с ограниченным дебитом выполнен анализ качества воды и определена их специфика. Выполненными экспериментальными исследованиями показана существенная роль пред-

подготовки воды, направленной на удаление водорослей и окисление органических загрязнений перед последующим коагулированием и флокулированием воды.

Предложены усовершенствованные технологические схемы подготовки питьевой воды из маломощных водоисточников в зависимости от диапазона концентраций загрязнений и определена их эффективная область применения.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Говорова Ж.М., Журба М.Г.* Обоснование водоочистных технологий и их инвестирования. М., 2012. 176 с.
- [2] *Говорова Ж.М., Магомадов З.Р.* Подготовка воды из маломощных водоемов // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 2. С. 62—70.
- [3] *Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В.* Коагуляция в технологии очистки природных вод. М., 2005. 571 с.
- [4] *Журба М.Г., Говорова Ж.М., Куликовский В.А., Гладкий А.И., Магомадов З.Р.* Подготовка питьевой воды из зарегулированных водоисточников с повышенным содержанием органических веществ // Водоснабжение и канализация. 2009. № 7. С. 43—49.
- [5] *Козлов М.Н., Арутюнова И., Ягунков С., Арбузов Р., Абрамов С., Басихин П.* Перспективный метод удаления фитопланктона // Вода. 2014. № 1. С. 18—25.
- [6] *Кульский Л.А.* Теоретические основы и технология кондиционирования воды: Процессы и аппараты. Киев: Наукова думка, 1983. 527 с.
- [7] *Покровский М.С., Говорова Ж.М.* Осветлительно-сорбционный фильтр // Водоснабжение и санитарная техника. 2000. № 7. С. 7—11.
- [8] *Скрябин А.Ю., Поповьян Г.В., Тронь И.А.* Микроводоросли как фактор, влияющий на органолептические свойства воды реки Дон // Водоснабжение и санитарная техника. 2015. № 8. С. 38—41.
- [9] Технический справочник по обработке воды / Л. Андриаирадо и др. Санкт-Петербург: Водоканал Санкт-Петербурга: Новый журн., 2007. 1696 с.
- [10] *Шевелева Н.Г., Воробьева С.С.* Состояние и развитие фито- и зоопланктона нижнего участка Ангары, прогноз формирования планктона в Богучанском водохранилище // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2009. Т. 2. № 3. С. 313—326.

## WATER TREATMENT FOR HOUSEHOLD PURPOSES FROM SURFACE WATER BODIES WITH LIMITED DEBIT

Zh.M. Govorova<sup>1</sup>, A.P. Svintsov<sup>2</sup>, A.R. Kojen<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of water Supply and sanitation  
Moscow State University of Civil Engineering  
Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, Russia, 129337

<sup>2,3</sup> Department of Civil Engineering  
Peoples' Friendship University of Russia  
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

Water treatment for household purposes from surface water bodies with limited debit and that emerging under the influence of natural and anthropogenic factors of water quality is one of the priorities. Methods of pretreatment of water (the reagent-free removal of phytoplankton in the prefilter with



floating charge and the combined effect of oxidants) and experimentally confirmed their role in improving the efficiency of water coagulation process are considered. Advanced water treatment technologies are considered, and the results of their industrial testing are given.

**Key words:** surface water body, anthropogenic load, pretreatment of water, phytoplankton, prefilter with floating charge, oxidants, coagulation, technological outline

## REFERENCES

- [1] *Govorova Zh.M., Zhurba M.G.* Obosnovanie vodoочистnyh tehnologij i ih investirovanija [Substantiation of water treatment technologies and their investments]. M., 2012. 176 p.
- [2] *Govorova Zh.M., Magomadov Z.R.* Podgotovka vody iz malomoshhnyh vodoemov [Production of drinking water from small-scale water reservoirs]. Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika [Water supply and sanitary technique]. 2012. No. 2. Pp. 62—70.
- [3] *Draginskij V.L., Alekseeva L.P., Getmancev S.V.* Koagulyacija v tehnologii oчитki prirodnyh vod [Coagulation in natural water treatment technology]. M., 2005. 571 p.
- [4] *Zhurba M.G., Govorova Zh.M., Kulikovskij V.A., Gladkij A.I., Magomadov Z.R.* Podgotovka pit'evoj vody iz zaregulirovannyh vodoistochnikov s povyshennym soderzhaniem organicheskikh veshhestv [Preparation of drinking water from regulated water sources with high content of organic matter]. Vodosnabzhenie i kanalizacija [Water supply and Sewerage]. 2009. No. 7. Pp. 43—49.
- [5] *Kozlov M.N., Arutjunova I., Jagunkov S., Arбузов R., Abramov S., Basihin P.* Perspektivnyj metod udalenija fitoplanktona [A promising method for removal of phytoplankton]. Journal Voda [Water Magazin]. 2014. No. 1. Pp. 18—25.
- [6] *Kul'skij L.A.* Teoreticheskie osnovy i tehnologija kondicionirovanija vody: Processy i apparaty [Theoretical foundations and technology of water conditioning Processes and apparatus]. Kiev: Naukova dumka [Kiev: Naukova Dumka]. 1983. 527 p.
- [7] *Pokrovskij M.S., Govorova Zh.M.* Osvetlitel'no-sorbcionnyj fil'tr [Clarification and sorption filters]. Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika [Water supply and sanitary technique]. 2000. No. 7. Pp. 7—11.
- [8] *Skrjabin A.Ju., Popov'jan G.V., Tron' I.A.* Mikrovodorosli kak faktor, vlijajushhij na organolepticheskie svojstva vody reki Don [Microalgae as a factor influencing the organoleptic properties of the water of the Don river]. Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika [Water supply and sanitary technique]. 2015. No. 8. Pp. 38—41.
- [9] *Tehnicheskij spravocnik po obrabotke vody* [Technical reference for water treatment]. L. Andriamirado i dr. Sankt-Peterburg: Vodokanal Sankt-Peterburga: Novyj zhurn. [Saint Petersburg: Water utility Saint Petersburg: the New Sib.]. 2007. 1696 p.
- [10] *Sheveleva N.G., Vorobyeva S.S.* Sostojanie i razvitie fito- i zooplanktona nizhnego uchastka Angary, prognoz formirovanija planktona v Boguchanskom vodohranilishhe [Status and development of phyto — and zooplankton of the lower portion of the Angara, the prediction of the formation of plankton in the Boguchany reservoir]. Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Serija: Biologija [Journal of Siberian Federal University. Series: Biology]. 2009. V. 2. No. 3. Pp. 313—326.

## МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИЙ ЗДАНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЕГО ФУНДАМЕНТА

А.А. Тершин<sup>1</sup>, Д.Л. Негурица<sup>1</sup>, Г.В. Алексеев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Российский университет дружбы народов  
ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198

<sup>2</sup> НИУ Московский государственный строительный университет  
Ярославское шоссе, д. 26, Москва, Россия, 129337

В статье анализируются результаты геодезического мониторинга несущих конструкций здания в период работ по усилению его фундаментов. Рассмотрена методика работ, обоснована требуемая точность геодезических измерений. По результатам геодезического мониторинга установлены количественные и качественные характеристики деформаций несущих конструкций здания. Показано, что в результате проведенных работ по укреплению грунтов деформационные процессы в основании фундаментов здания были стабилизированы.

**Ключевые слова:** геодезия, мониторинг, деформации, грунты, обследование, реконструкция, фундамент, здание

В ходе технического обследования строительных конструкций двухэтажного здания административно-хозяйственного назначения выявлены многочисленные трещины в фундаментной балке здания раскрытием от 2 мм (рис. 1), трещины в стяжке пола раскрытием до 10 мм, вздутия поверхности кровельного покрытия. Общее состояние здания по результатам технического обследования было оценено как аварийное.

Конструктивно здание представляет собой каркасную рамно-связевую схему. Каркас здания образован плоскими многопролетными двухэтажными рамами, установленными по цифровым осям с шагом 12 м. Фундаменты колонн мелкого заложения, столбчатые отдельностоящие, одноступенчатые. Наружные ограждающие конструкции опираются на монолитные ж/б фундаментные балки. Габаритные размеры здания в плане 24 × 107,5 м. Согласно нормативной документации здание относится ко II нормальному уровню ответственности.



**Рис. 1.** Трещины в фундаментной балке раскрытием до 10 мм  
[Cracks in the foundation beam opening up to 10 mm]

Для исследования состояния грунтов основания фундаментов здания проведено электроконтактное динамическое зондирование (ЭДЗ), сочетающее в себе динамическое зондирование и токовый каротаж [5]. Исследования проводились облегченной малогабаритной установкой (в соответствии с ГОСТ 19912—2001), разработанной в ЦНИИС Минтрансстроя [1; 4]. При этом разделение пород на геолого-литологические разности производилось по совокупности результатов токового каротажа и динамического зондирования, а расчет физико-механических характеристик грунтов — по данным динамического зондирования.

По результатам зондирования с учетом имеющейся геологической информации установлено, что геолого-литологический разрез в исследованном диапазоне глубин представлен насыпными песчано-глинистыми грунтами, содержащими большое количество строительного мусора и органических включений (битого кирпича, шифера, корней деревьев и пр.). При этом насыпной грунт не является однородным (по вертикали).

Анализ результатов ЭДЗ показал неоднородность разреза в целом (как в плане, так и по глубине) и наличие ослабленного слоя грунтов техногенного происхождения в верхней части разреза до глубины 2,7—3,5 м.

Таким образом, наличие в основании фундаментов здания слабого неоднородного слоя грунтов мощностью до 5 м, характеризующихся повышенной деформируемостью и низкой несущей способностью, способствовало развитию деформационных процессов в фундаментах и надземных несущих конструкциях здания. Доуплотнение под нагрузкой неслежавшихся насыпных грунтов, находящихся под подошвой фундаментов и в основании бетонных полов, неизбежно ведет к дальнейшему развитию деформационных процессов в строительных конструкциях здания.

Для обеспечения несущей способности и эксплуатационной пригодности здания было принято решение выполнить усиление фундаментов и укрепление грунтов основания колонн инъекционным методом путем нагнетания под давлением в грунты цементного раствора. Усиление грунтов цементацией выполняется по манжетной технологии при нагнетании раствора через манжетную колонну по зонам снизу вверх.

В период проведения работ по усилению фундаментов необходим инструментальный контроль над состоянием несущих конструкций геодезическими методами — геодезический мониторинг, который должен выполняться в соответствии с требованиями нормативной документации ГОСТ 24846—2012 и СП22.13330.2011 [2; 6].

В качестве индикатора состояния несущих конструкций выбраны вертикальные перемещения (осадки) фундаментов колонн, самих стальных колонн и стальных балок перекрытий каркасного здания. Для фиксации вертикальных перемещений на несущих конструкциях (колоннах) установлены специальные деформационные знаки.

На рисунке 2 приведен вид типовой деформационной марки, устанавливаемой на стальных колоннах.

Техническим заданием на производство работ по усилению фундаментов для геодезического мониторинга установлена сравнительно высокая требуемая точ-

ность измерения осадок деформационных марок: погрешность определения осадок должна быть не более  $m_{\Delta} = 1,0$  мм. Осадки деформационных марок определяются как разность высот марок текущего и нулевого (начального) цикла геодезических измерений, а также как разность высот марок в соседних циклах измерений. Для достижения требуемой точности измерения осадок необходимо предварительно рассчитать требуемую точность геодезических измерений.



**Рис. 2.** Общий вид деформационной марки на несущей стальной колонне  
[General view of the deformation of the brand on the supporting steel column]

Вертикальное перемещение  $\Delta_i$  деформационной марки  $i$  в цикле  $k$  по отношению к нулевому циклу измерений определяется как разность

$$\Delta_i = H_{ik} - H_{i0} \quad (1)$$

или

$$\Delta_i = h_{(i-исх)k} - h_{(i-исх)0}, \quad (2)$$

где  $H$  — высота деформационной марки;  $h$  — превышение деформационной марки относительно опорной марки.

Используем известный прием получения средних квадратических погрешностей функций измеренных величин

$$m_{Hi}^2 = m_{исх}^2 + m_{hi}^2, \quad (3)$$

где  $m_{Hi}$  — средняя квадратическая погрешность определения высоты искомой деформационной марки;  $m_{hi}$  — средняя квадратическая погрешность определения превышения искомой деформационной марки относительно исходного репера;  $m_{исх}$  — средняя квадратическая погрешность высот опорных марок.

В соответствии с формулами (1), (3) можно установить среднюю квадратичную погрешность определения вертикальных перемещений как

$$m_{\Delta}^2 = m_{H1}^2 + m_{H2}^2 + m_{исх}^2, \quad (4)$$

где индексы 1 и 2 соответствуют сопоставляемым циклам измерений.

Используя принцип равноточных измерений, которые обеспечиваются симметричной в разных циклах схемой измерений, возможностью использования одного и того же набора геодезических инструментов, одних и тех же наблюдателей, организацией наблюдений в сравнительно одинаковых внешних условиях и т.п., можно принять  $m_{H1} = m_{H2} = m_{исх} = m_H$ . Тогда

$$m_{\Delta}^2 = 3 m_H^2. \quad (5)$$

Для заданной техническим заданием погрешности измерения вертикальных перемещений  $m_{\Delta} = 1,0$  мм, по формуле (5) получим предварительную величину необходимой точности определения высоты слабоопределяемой (содержащей наибольшую погрешность) деформационной марки  $m_H = 0,6$  мм для условий равноточных измерений.

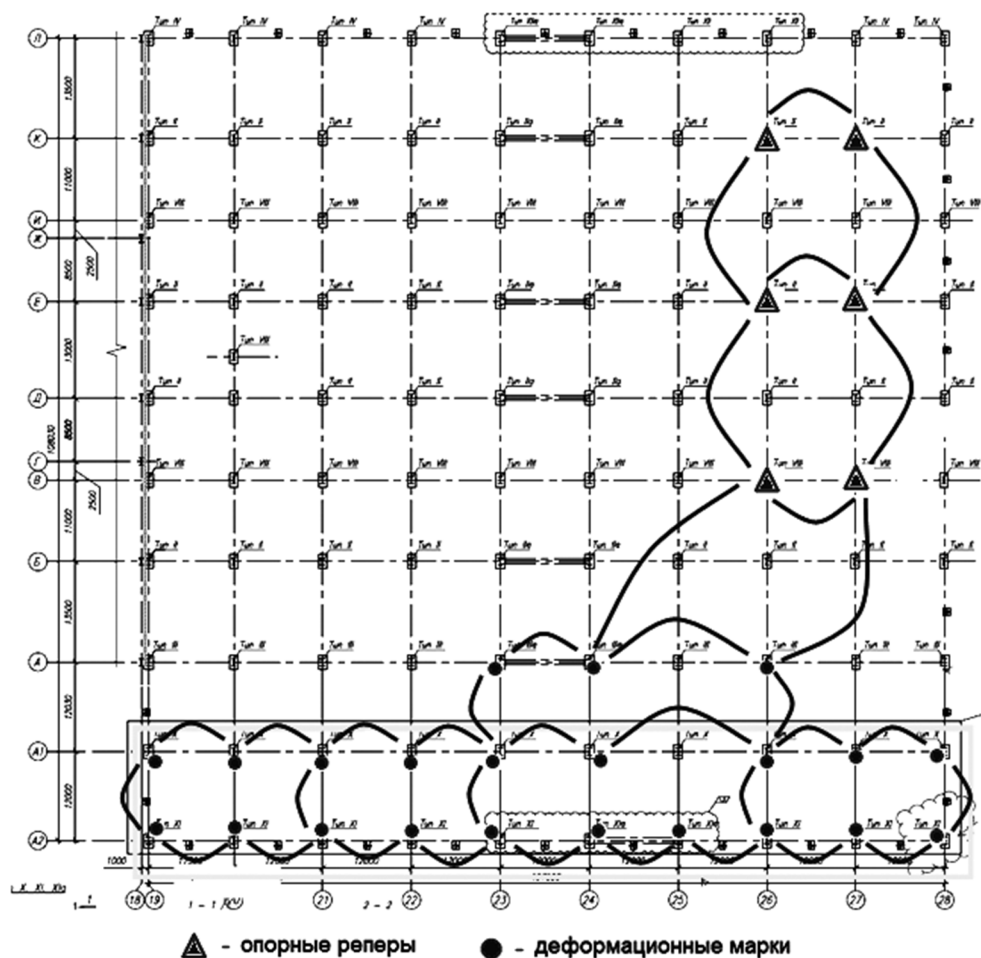
В соответствии с [2] полученная предварительная точность определения высоты может быть обеспечена при выполнении работ по программе геометрического нивелирования I-II класса с использованием нивелиров типа Н05, Ni-007 и им равноценных, а также штриховых (кодовых) инварных реек.

Для производства инженерно-геодезических работ использовался электронный нивелир Sokkia SDL-30 и комплект инварных кодовых реек Nedo. Технические характеристики прибора и реек соответствуют требованиям методики геометрического нивелирования II класса [3]. Схема размещения опорных реперов, деформационных марок на несущих колоннах здания и схема геодезических измерений представлена на рис. 3.

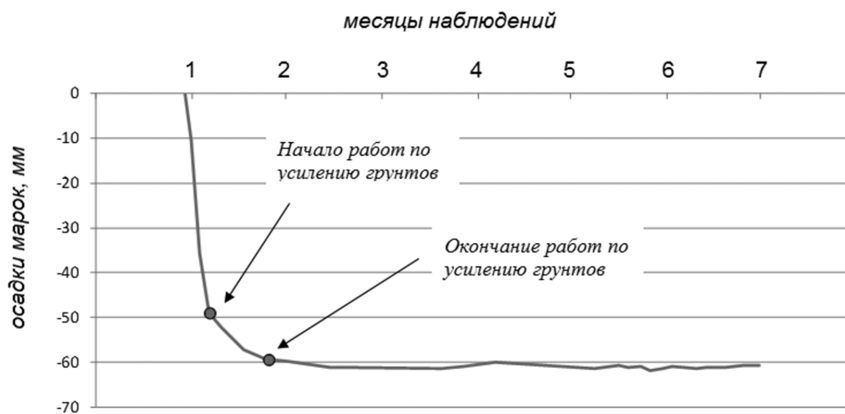
По результатам выполненного геодезического мониторинга установлено, что наибольшее абсолютное значение вертикального перемещения деформационных марок до начала работ по укреплению грунтов и усилению фундаментов здания составило — 50 мм (рис. 4). В этот период наибольшее значение скорости осадок составило — 8,5 мм/сут (рис. 5).

Важным показателем развития деформационных процессов во времени являются скорости осадок. По данным геодезического мониторинга установлено, что скорости осадок резко снизились практически сразу после начала работ по усилению по укреплению грунтов и усилению фундаментов. Это подтверждает правильность ранее сделанных выводов о том, что основной причиной деформаций несущих конструкций здания стали слабые неоднородные грунты, в том числе техногенного происхождения, в основании его фундаментов.

В процессе работ по укреплению грунтов и усилению фундаментов здания прирост осадок продолжался, но значительно меньшими темпами, достигнув максимального значения в — 60 мм с начала инженерно-геодезических работ по мониторингу (рис. 4) В этот период максимальное значение скорости осадок составило — 4,4 мм/сут (рис. 5).



**Рис. 3.** Схема геодезических измерений (нивелирных ходов)  
 [Scheme of geodetic measurements (leveling moves)]



**Рис. 4.** Развитие и стабилизация деформационных процессов  
 в основании фундаментов здания  
 [The development and stabilization of deformation processes  
 at the base of the building foundations]



Рис. 5. Скорости осадков деформационных марок [Speed sediment deformation signs]

В результате проведенных работ по укреплению грунтов дальнейшее развитие деформационных процессов было приостановлено и в течение одного месяца осадки здания были стабилизированы. Данные последующего геодезического мониторинга в течение 6 месяцев подтвердили эффективность выполненных работ по укреплению грунтов и усилению фундаментов здания.

### Выводы

В результате проведенных исследований методом электроконтактного динамического зондирования установлено наличие в основании фундаментов слабого неоднородного слоя грунтов мощностью до 5 м, характеризующихся повышенной деформируемостью и низкой несущей способностью, что привело к развитию деформаций фундаментов здания.

Для восстановления несущей способности конструкций здания были выполнены работы по усилению фундаментов и укреплению грунтов инъекционным методом путем нагнетания под давлением в грунты цементного раствора.

Выполнен комплекс инженерно-геодезических работ по мониторингу состояний несущих конструкций здания до, в процессе проведения и после окончания работ по укреплению грунтов.

По результатам геодезического мониторинга установлены количественные и качественные характеристики деформаций несущих конструкций здания. Определены абсолютные величины деформаций, и характер развития деформационных процессов в основании фундаментов здания во времени.

Данными геодезического мониторинга подтверждено, что комплекс проведенных работ по укреплению грунтов способствовал стабилизации и прекращению дальнейшего развития деформационных процессов в основании фундаментов здания.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] ГОСТ 19912—2001. «Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием». М.: МНТКС, 2001.
- [2] ГОСТ 24846—2012. «Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений». НИИОСП им. Н.М. Герсеванова. М.: Строительство, 2013.
- [3] Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов ГКИНП (ГНТА)-03-010-02. М.: ЦНИИГАиК, 2004.
- [4] Методические рекомендации по производству электродинамического зондирования при инженерно-геологических изысканиях. М.: ЦНИИС Минтрансстрой, 1980.
- [5] Руководство по электроконтактному динамическому зондированию грунтов. М.: ЦНИИС Минтрансстрой, 1983.
- [6] СП22.13330.2011. ОСНОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. М.: Минрегион России, 2011.

## DEFORMATION MONITORING OF BUILDINGS SURVEYING METHODS AT RECONSTRUCTION OF ITS FOUNDATION

A.A. Tereshin<sup>1</sup>, D.L. Neguritsa<sup>1</sup>, G.V. Alekseev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Peoples' Friendship University of Russia

*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

<sup>2</sup> Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)

*Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, Russia, 129337*

The article analyzes the results of geodetic monitoring of bearing structures of the building during the work on strengthening its foundations. The technique works reasonably required accuracy of geodetic measurements. As a result of geodetic monitoring established quantitative and qualitative characteristics of the strain of bearing structures of the building. It is shown that as a result of works to strengthen the soil deformation processes at the base of the foundations of the building were stabilized.

**Key words:** surveying, monitoring, deformation, soils, inspection, reconstruction, foundation building

## REFERENCES

- [1] GOST 19912—2001. Grunty. Metody polevyh ispytaniy staticheskim i dinamicheskim zondirovaniem [Soils. Field test methods by static and dynamic sounding]. М.: MNTKS, 2001.
- [2] GOST 24846—2012. Grunty. Metody izmereniya deformatsiy osnovaniy zdaniy i sooruzhenij [Soils. Methods for measuring the deformation bases of buildings and structures]. NIIOSP im. N.M. Gersevanova. М.: Stroitel'stvo, 2013.
- [3] Instrukiya po nivelirovaniyu I, II, III i IV klassov [For a leveling guide I, II, III and IV classes] GKINP (GNTA)-03-010-02. М.: CNIIGAiK, 2004.
- [4] Metodicheskie rekomendacii po proizvodstvu ehlektrodinamicheskogo zondirovaniya pri inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyah [Guidelines for the production of electrodynamic sensing in geological engineering surveys]. М.: CNIIS Mintransstroya, 1980.
- [5] Rukovodstvo po ehlektrokontaktnomu dinamicheskomu zondirovaniyu gruntov [Guide with electro-dynamic sensing of soil]. М.: CNIIS Mintransstroya, 1983.
- [6] SP22.13330.2011. OSNOVANIYA ZDANIY I SOORUZHENIY [BASIS OF BUILDINGS AND FACILITIES]. М.: Minregion Rossii, 2011.



## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИЗУАЛИЗАТОРОВ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В Г. САМАРЕ**

**А.В. Филатова, Т.В. Дормидонтова, С.С. Саморуков**

Архитектурно-строительный институт  
Самарский государственный технический университет  
ул. Молодогвардейская, д. 194, Самара, Россия, 443001

В статье рассматриваются вопросы использования визуализаторов транспортных сетей при строительстве автомобильных дорог в г. Самаре. Приведены примеры различных способов визуализации при исследовании участков дорог в городских информационных сетях. Как показали исследования, информация о транспортных сетях может отображаться различными способами. Разработаны и межрайонные связи, которые представляют картограммы укрупненных потоков транспортных между районами.

**Ключевые слова:** визуализаторы, информационные сети, автомобильные дороги, картограммы, линии движения, строительство

### **Введение**

Вся транспортная сеть в г. Самаре находится в узлах, ребрах и различных маршрутах. При составлении карты участка дороги мы использовали различные визуализаторы для векторных данных, так как они необходимы для полной информации о рассматриваемом участке автомобильной дороги. Использовать визуализаторы возможно при отображении транспортных сетей и их объектов на картах, при этом удобно использовать векторные данные.

### **Цель исследования**

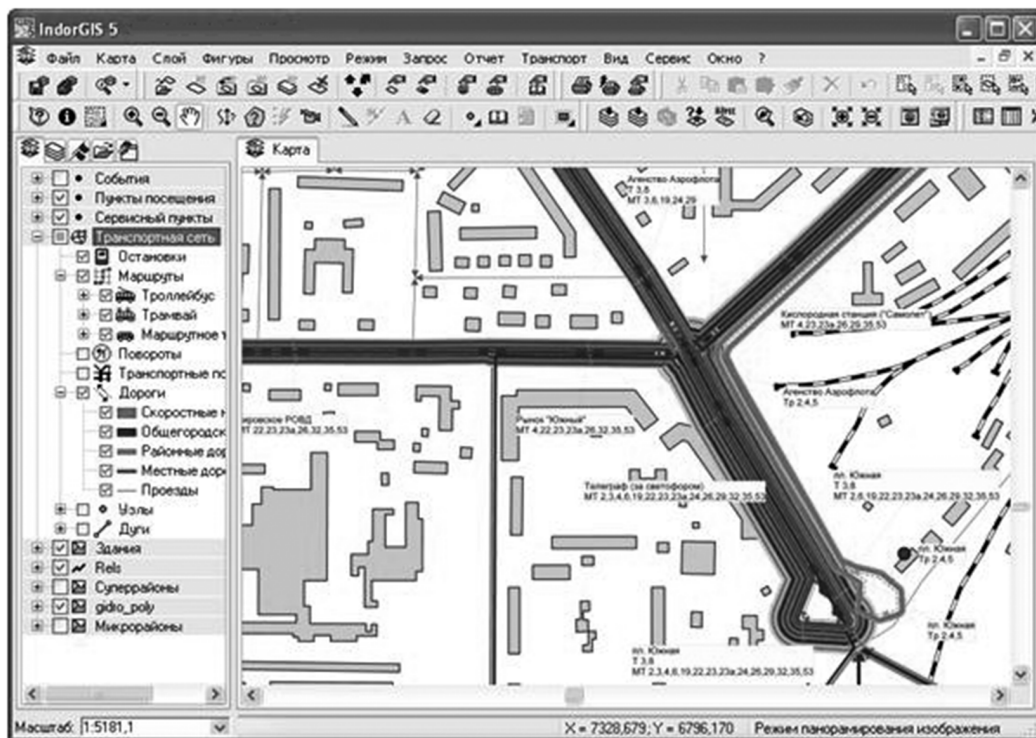
Цель работы заключалась в составлении карты ключевого участка дороги в г. Самаре и обозначении структурных его свойств с подачей основной информации о системе для легкого восприятия. Анализ системы и визуализация результата сделана в одном инструменте, методом исследования.

### **Результаты исследования**

Составлена карта сетей проектируемого участка дороги в г. Самаре. Цвета отображались по высоте. На карте каждая точка цветом отображалась, выбиралась в зависимости от высоты соответствующей точки, находящейся на поверхности. При сборе информации о данных формирования систем мониторинга автомобильных дорог использовались сведения, представленные в технических паспортах автомобильных дорог.

### Обсуждение результатов исследования

В городских информационных сетях способы визуализации для транспортных сетей специфические. На рисунке 1 представлен проектируемый участок дорожной уличной сети г. Самары [1]. Дуги транспортной сети отображаются линиями, стрелки на концах которых, показывают допустимые направления движения. Маршруты общественного транспорта также нанесены со стрелками вдоль дороги.

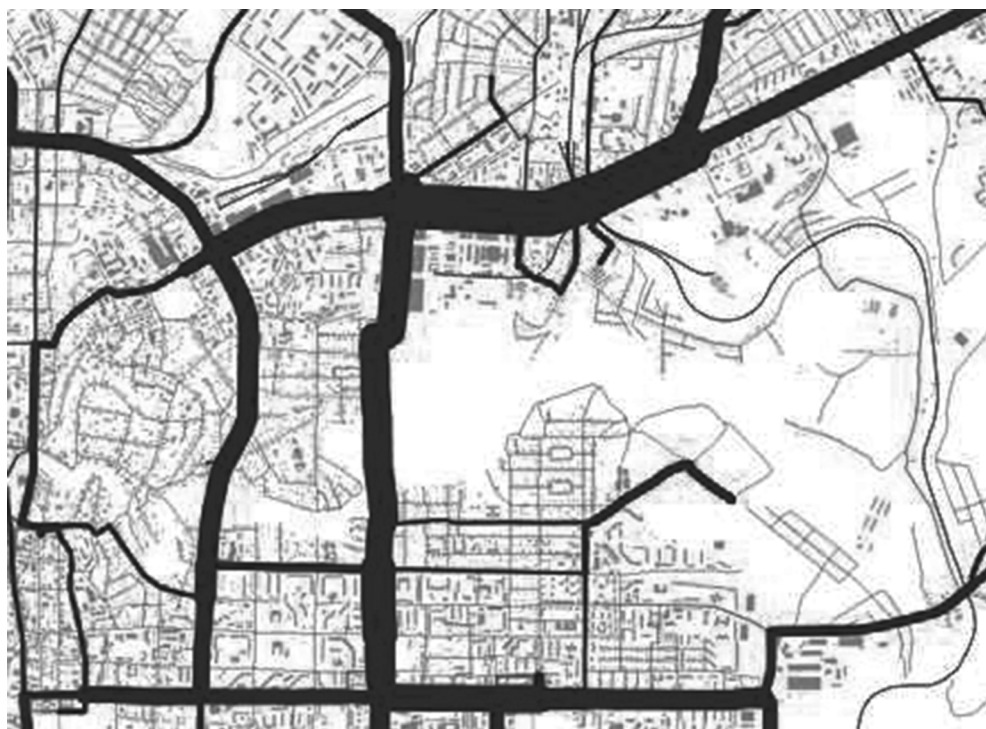


**Рис. 1. Самара, фрагмент уличной дорожной сети с маршрутами транспорта**  
[Samara, a fragment of the street the road network with routes of transport]

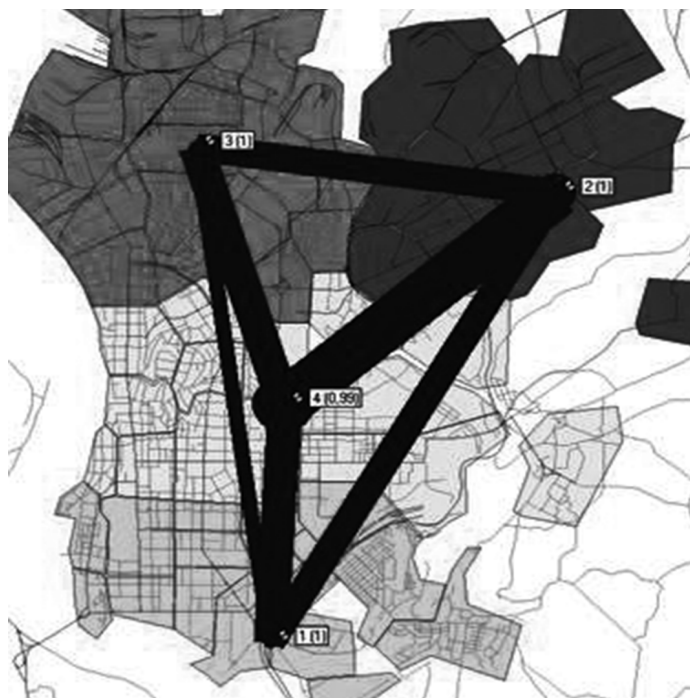
На объекте строительства была представлена информация о транспортных сетях, которая отобразилась другими способами.

1. Картограммы транспортных потоков (рис. 2). В этом случае дуги транспортной сети отображаются одинаковым цветом, но имеют при этом разную толщину, причем пропорциональную транспортному потоку, который находится на соответствующей дуге [2]. Можем рассматривать различные транспортные потоки, под которыми, в частности, понимаем количество автомобилей, проезжающих по дороге за определенное время (час, сутки), а также число пассажиров, провозимых по данной дуге.

Совсем по-другому могут быть представлены межрайонные связи, которые отображают картограммы укрупненных транспортных потоков между районами. Например, между выбранным транспортным районом г. Самары посередине проводим линию, толщина ее при этом должна делиться пропорционально величине транспортного потока, который обобщен по всем имеющимся дорогам между двумя районами (рис. 3).



**Рис. 2.** Пример визуализации транспортных потоков  
[Example visualizations of traffic flows]



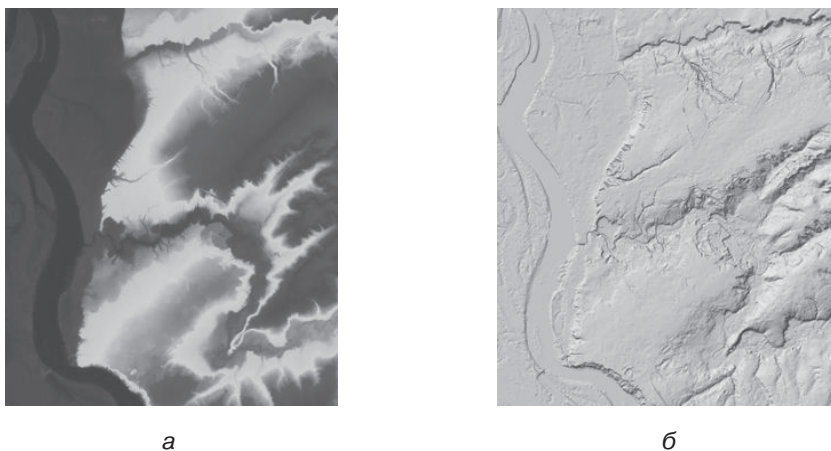
**Рис. 3.** Пример визуализации межрайонных связей транспортных районов  
[An example visualization of inter-district transport links areas]

Далее проводим линию между серединой имеющихся транспортных районов, при этом толщина линии делится пропорционально величине обобщенного транспортного потока по всем имеющимся дорогам между рассматриваемыми двумя районами (рис. 3). По нормам и правилам в ГИС поверхности представляются двумя способами: в виде регулярной/нерегулярной сети отсчетов, т.е. с помощью растровой или триангуляционной модели [3].

Представлены следующие способы отображения на карте поверхностей.

*Цвета отображаются по высоте.* На карте каждая точка цветом отображается, выбирается в зависимости от высоты соответствующей точки находящейся на поверхности (рис. 4, а).

*Отображение светотеневое.* При этом способе цветом отображается точка так, чтобы создался эффект трехмерного изображения (выпуклого) (рис. 4, б).



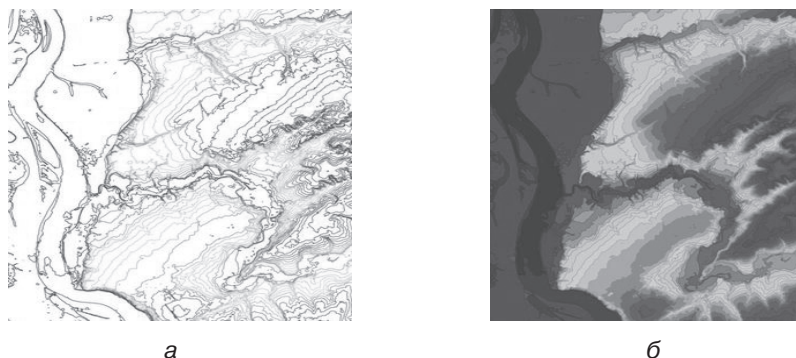
**Рис. 4.** Отображение модели рельефа цветами по высотам (а) и светотенями (б)  
[Display elevation model colors on the heights (a) and light-and-shade (b)]

*Отображение изолиниями.* Множество изолиний отображается на данной карте, по высоте они одинаковые и проводятся через различные высотные отметки с заданным шагом (рис. 5, а).

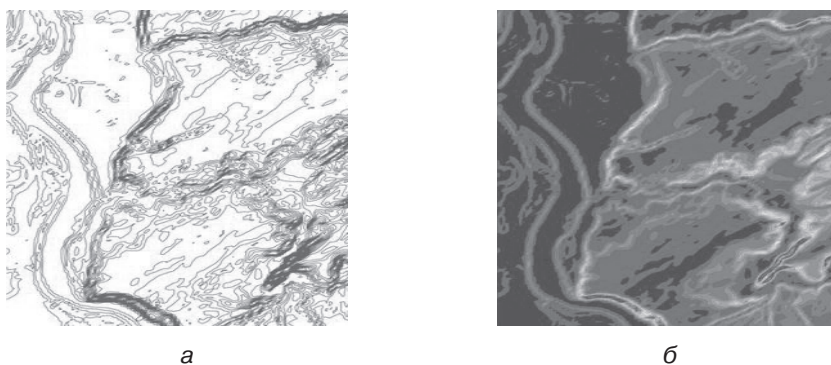
*Отображение изоконтуррами.* Определенную область на карте представляют изоконтурры, в них распределены высоты в определенном диапазоне. Изоконтурры представляют смежные изолинии [4; 5]. Этот способ является компьютерным обобщением способа изолиний, который позволяет в определенных случаях наглядно показать распределение высот на карте, которые раскрашивают в зависимости от высоты отдельных контуров (рис. 5, б).

*Изображение изоклинами.* Линии в этом случае одинакового уклона на поверхности, которые строятся с определенным шагом. Уклон в данной точке поверхности измеряется как отклонение нормали к поверхности в этой точке от вертикали, измеряется в градусах, однако наиболее часто он измеряется в процентах или промилле.

В ГИС изоклины и изолинии, могут отображаться как отдельные линии (рис. 6, а) и в виде замкнутых контуров (рис. 6, б).

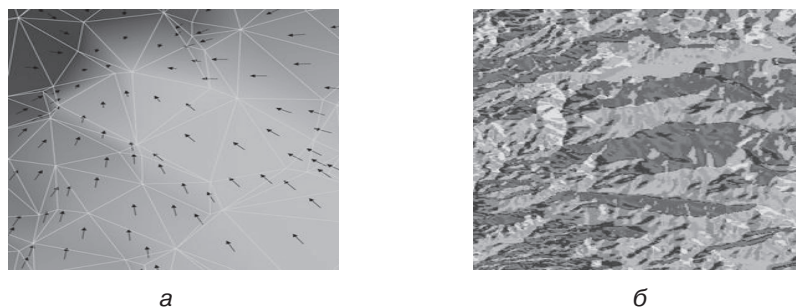


**Рис. 5.** Отображение модели рельефа изолиниями (а) и изоконтуррами (б)  
[Display elevation model contour (a) and izokonturami (b)]



**Рис. 6.** Отображение модели рельефа изоклинами в виде линий (а) и контуров (б)  
[Display elevation model izoklinami as lines (a) and outlines (b)]

*Отображение векторами уклонов.* Этот способ используется при работе в крупном масштабе, когда достаточно визуально определить направление и угол уклона поверхности [6; 7]. Обычно в центре каждой ячейки поверхности ставится стрелка, которая направлена в сторону наклона поверхности, а ее длина показывает степень наклона: чем длиннее стрелка, тем больше уклон (рис. 7, а). Иногда вместо длины стрелки варьируется ее толщина: чем толще стрелка, тем больше уклон.



**Рис. 7.** Отображение модели рельефа векторами уклонов (а) и экспозициями склонов (б)  
[Display elevation model slope vectors (a) and exposures of the slopes (b)]

*Отображение экспозициями склонов.* Данный способ позволяет визуально определить, в какую сторону света наклонена поверхность. Обычно все стороны света делят на восемь частей секторами по 45° (север, юг, запад, восток, северо-запад, северо-восток, юго-запад и юго-восток), а затем для каждой ячейки модели поверхности определяют направление уклона поверхности и выбирают один из 8 цветов отображения ячейки (рис. 7, б).

### **Заключение**

На определенном этапе сбора информации о данных формирования систем мониторинга автомобильных дорог г. Самары послужили сведения представленных в технических паспортах автомобильных дорог. На сегодняшний день была сформирована модель системы мониторинга и создан программный продукт, который на первом же этапе осуществляется его внедрение, и апробировано в системе автомобильных дорог, определено направление по углублению и расширению системы мониторинга, которую создали на участке дороги. Это позволит качественно изменить систему управления информацией в дорожном хозяйстве.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] *Dormidontova T.V., Filatova A.V.* Research of influence of quality of materials on a road marking of highways // *Procedia Engineering*, 2016. Т. 153. 933 с.
- [2] *Дормидонтова Т.В., Филатова А.В.* Алгоритм корреляционно-регрессионного анализа в сборнике: Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство сборник статей / под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, В.П. Попова. Самара: Изд-во СамГАСУ. 131 с.
- [3] *Филатова А.В.* Качество строительства автомобильных дорог в городе Самара // Наука и образование в жизни современного общества: сб. науч. трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 12 частях. Самара: Издат-во СамГАСУ, 2015. 144 с.
- [4] *Бургонутдинов А.М., Дормидонтова Т.В., Погорельцева Ю.А., Толстиков А.Н., Филатова А.В., Юшков Б.С., Юшков В.С.* Автомобильный транспорт и технический прогресс. Новосибирск, 2015. 26 с.
- [5] *Филатова А.В., Зайцев П.А.* Понятие имиджа при подборе кадрового состава в организации при строительстве автодорог // Управление развитием территорий на основе развития преобразующих инвестиций: сб. науч. статей Международной научно-технической конференции / под ред. В.В. Бондаренко, М.А. Таниной, И.А. Юрасова, В.А. Юдиной. 2015. 197 с.
- [6] *Филатова А.В., Зуев М.С.* Причина образования колеи и их исследования // Пути улучшения качества автомобильных дорог: сб. статей / под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, Т.В. Дормидонтовой. Самара: Изд-во СамГАСУ, 2015. 202 с.
- [7] *Филатова А.В., Иванов И.С., Михайлов А.В., Мордяшов А.А.* Мониторинг автомобильных дорог // Пути улучшения качества автомобильных дорог: сб. статей / под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, Т.В. Дормидонтовой. Самара: Изд-во СамГАСУ, 2015. 206 с.

## THE USE OF VISUALIZERS TRANSPORT NETWORKS DURING THE CONSTRUCTION OF ROADS IN THE CITY OF SAMARA

A.V. Filatova, T.V. Dormidontova, S.S. Samorukov

Samara state technical university institute of architecture and construction  
*Molodogvardeyskaya str., 194, Samara, Russia, 443001*

The article discusses the use of Visualizers transport networks during the construction of roads in the city of Samara. Examples of various visualization techniques in the study of sections of roads in urban networks. As studies have shown, information on transport networks can be displayed in various ways. Developed and inter-connected, which are cartograms of enlarged flows of transport between districts.

**Key words:** visualization, information networks, roads, grids, lines, motion, construction

### REFERENCES

- [1] *Dormidontova T.V., Filatova A.V.* Research of influence of quality of materials on a road marking of highways. *Procedia Engineering* [Research of influence of quality of materials on a road marking of highways. *Procedia Engineering*]. 2016. T. 153. 933 p.
- [2] *Dormidontova T.V., Filatova A.V.* Algoritim korreljacionno–regressionnogo analiza. Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. *Stroitel'stvo sbornik statej. pod red. M.I. Bal'zannikova, K.S. Galickova, V.P. Popova* [The Algorithm of correlation and regression analysis in the book: Tradition and innovation in construction and architecture. The construction of a collection of articles. under the editorship of M.I. Balzannikov, K.S. Galitskova, V.P. Popov]. Samara: Publishing House of Samgas. 131 p.
- [3] *Filatova A.V.* Kachestvo stroitel'stva avtomobil'nyh dorog v gorode Samara. *Nauka i obrazovanie v zhizni sovremennogo obshhestva sbornik nauchnyh trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno–prakticheskoy konferencii: v 12 chastjah* [The Quality of construction of roads in the city of Samara In the book: Science and education in modern society the collection of scientific works on materials of the International scientific-practical conference: in 12 parts]. Samara: Publishing in Samgasa, 2015. 144 p.
- [4] *Burhanuddin M.A., Dormidontova T.V., Pogoreltsev J.A., Tolstikov A.N., Filatova A.V., Yushkov B.S., Yushkov V.S.* Avtomobil'nyj transport i tehniceskij progress [Motor transport and technical progress]. Novosibirsk, 2015. 26 p.
- [5] *Filatova A.V., Zaitsev P.A.* Ponjatie imidzha pri podbore kadrovogo sostava v organizacii pri stroitel'stve avtodorog. *Upravlenie razvitiem territorij na osnove razvitija preobrazhajushhih investicij sbornik nauchnyh statej Mezhdunarodnoj nauchno–tehniceskoy konferencii. Pod redakciej V.V. Bondarenko, M.A. Taninoj, I.A. Jurasova, V.A. Judinoj* [The concept of the image in the selection of personnel in organizations in the construction of highways In the collection: Managing the development of territories through the development of transformational investments, the collection of scientific articles of International scientific-technical conference. Under the editorship of V.V. Bondarenko, M.A. Tannoy, I.A. Yurasova, V.A. Yudina]. 2015. 197 p.
- [6] *Filatova A.V., Zuev M.S.* Prichina obrazovaniya kolei i ix issledovaniya. *Puti uluchsheniya kachestva avtomobil'nyh dorog Sbornik statej. Pod redakciej M.I. Bal'zannikova, K.S. Galickova, T.V. Dormidontovoj* [Cause rutting and their research In the book: ways of improving the quality of roads, the Collection of articles. Under the editorship of M.I. Balzannikov, K.S. Galitskova, T.V. Dormidontova]. Samara: Publishing House of Samgas, 2015. 202 p.
- [7] *Filatova A.V., Ivanov I.S., Mikhailov A.V., Mordashov A.A.* Monitoring avtomobil'nyh dorog. *Puti uluchsheniya kachestva avtomobil'nyh dorog Sbornik statej. Pod redakciej M.I. Bal'zannikova, K.S. Galickova, T.V. Dormidontovoj* [The Monitoring of roads in the book: ways of improving the quality of roads, the Collection of articles. Under the editorship of M.I. Balzannikov, K.S. Galitskova, T.V. Dormidontova]. Samara: Publishing House of Samgas, 2015. 206 p.



# АРХИТЕКТУРА

УДК 72.036

## ОРГАНИЧЕСКАЯ АРХИТЕКТУРА: В ГАРМОНИИ С ЧЕЛОВЕКОМ И ПРИРОДОЙ

**В.М. Шувалов, Ю.А. Комарова, О.В. Головатая, О. Кенич**

*Российский университет дружбы народов  
ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198*

Статья посвящена вопросам органической целостности трех составляющих компонентов — человека, архитектуры и ландшафта. Одной из главных задач современной архитектуры является возрождение и воссоединение ранее утерянной связи целостной системы «человек—окружающая среда». Основные цели данной статьи заключаются в выявлении особенностей и принципов слияния архитектуры и ландшафта, а также в обосновании необходимости расположения человека в максимально приближенные, а следовательно, комфортные условия естественной природной среды. Выявлены факторы, негативно влияющие на психологическое и физическое состояние человека в условиях городской среды. Также выявлена и обоснована актуальность индивидуального строительства. На основании органического подхода представлены решения изменения архитектуры городского пространства.

**Ключевые слова:** окружающая естественная среда, органическая архитектура, природные материалы, целостность, гармоничность

Окружающая среда в своем многообразии оказывает колоссальное и непосредственное влияние на человека. Люди, которые большую часть своей жизни проводят в городской среде, особенно остро ощущают ее влияние, так как наиболее тесно связаны с процессами урбанизации. Городские жители подвергаются наибольшему воздействию на физическое и психологическое состояние в связи с тем, что окружающая городская среда не соответствует потребным для человека зрительным воздействиям: городские пейзажи представляют собой прямые линии, серые цвета, одинаковые улицы, серые полосы дорог. Помимо этого, в связи с техногенным воздействием на окружающую природную среду загазованный воздух, недостаточная инсоляция, повышенный уровень шума негативно сказываются на здоровье жителей городов.

То городское пространство, которое переполнено транспортом и людьми, вызывает у человека стресс, волнение, напряжение, склонность к различным заболеваниям. Жители городов ощущают критическое состояние архитектуры го-



родской среды, которая обильна агрессивными, подавляющими эмоционально, однообразными образами, что не может не привести за собой дегуманизацию пространств городов (рис. 1).



**Рис. 1.** Монотипная архитектура мегаполиса  
[Monotype metropolis architecture]

На протяжении многих миллионов лет человек эволюционно приспособился к естественной природной среде, поэтому городская агрессивная среда негативно сказывается на жителях мегаполисов. В связи со сложившейся ситуацией необходимо понимание того, что размещение людей для временного или постоянного пребывания в условия, максимально приближенные к естественной природной среде, окажет положительное влияние на организм и общее состояние человека. Одним из вариантов подобной среды обитания, где возможно расположение людей в природной среде, — это архитектура, которая гармонично вписана в окружающий ее ландшафт, является его естественным продолжением и развитием, выполняет условие неразрывного, органичного единства структуры «человек—архитектура—ландшафт» [8].

Вышеперечисленными особенностями обладает так называемая органическая архитектура, которая среди существующих направлений и концепций современной архитектуры занимает достойное место в XX—XXI в.

Для некоторых архитекторов, приверженцев органической архитектуры, природа становится главным вдохновителем для их будущих проектов, несмотря на то, что мы живем в век высоких информационных технологий с соответствующей нашему времени архитектурой. Началось тотальное переосмысление в сфере взаимоотношений человека и природы, что привело к новому восприятию архитектуры и окружающей человека среды в целом. Подобная архитектура основана на органическом методе, концепцией которого является согласование среды человека и природы, человеческого существования как неразделимой части всего органического, целостного на планете [1].

Органическая архитектура подчинена следующим принципам:

— соответствие законам природы. Здание имеет тот же характер, что и окружающая естественная среда, оно гармонично вписывается в ландшафт, не вопреки при этом природные объекты, а создавая своеобразный образ;

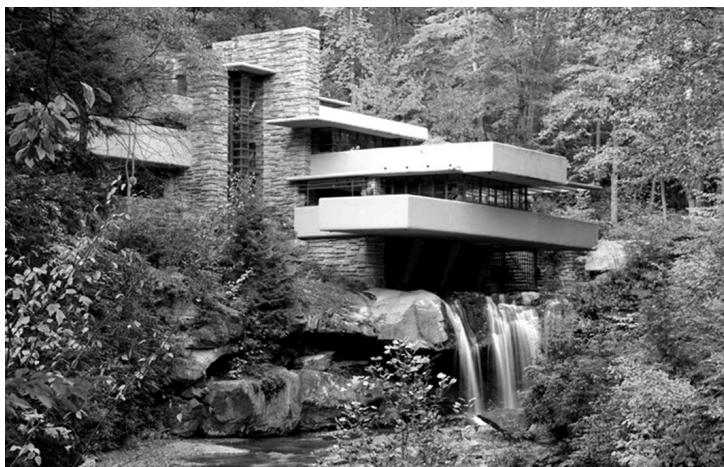
— создание гармонии между формой и функцией. Форма здания вытекает из его назначения;

— здание — неразделимое целое. Все элементы здания — от структуры до деталей интерьера — связаны, взаимодействуют и дополняют друг друга, отражая саму структуру природы. Здание спроектировано таким образом, что все пространство образует единое целое, но свободно просматривается, давая тем самым ощущение единства, гармонии и красоты;

— осуществление потребностей, задач и целей человека. Все составляющие части здания проектируются на основе материальных и личностных потребностей тех людей, для которых предназначается данное здание;

— использование природных материалов. В органической архитектуре применяются экологически безопасные материалы, которые гармонично вписываются в окружающий натуральный ландшафт. Материалы, которые применяются при строительстве, берутся из окружающей среды и в дальнейшем возвращаются человеком обратно в окружающую среду, тем самым человек поддерживает естественные процессы, и проблема отсутствия единства человека, архитектуры и природы разрешается. Наличие искусственных материалов перестает делать здание «живым», что не вписывается в концепцию органической архитектуры [9].

Анализируя отечественный и зарубежный опыт, можно заметить, что органическая архитектура нашла широкое применение в США и Европе. Одним из первых архитекторов, который создает проекты органической архитектуры, является американский архитектор Фрэнк Ллойд Райт. В 1935 году он строит один из известнейших домов — «Fallingwater» (рис. 2). Дом расположен над водопадом, тем самым создается тесный диалог с льющимися струями воды. Горизонтальные плоскости и система консолей здания повторяют и безупречно сочетаются с местной природой, а водопад является структурной частью дома. Форма и эстетичность здания определяются его внутренней структурой, взаимосвязь природного материала и формы здания создает необходимую естественную целостность. Таким образом, всемирно известный пример органической архитектуры стал образцом гармоничного взаимодействия архитектуры и ландшафта [10; 7].



**Рис. 2.** «Дом над водопадом». Архитектор Фрэнк Ллойд Райт  
[“Falling water”. Architect Frank Lloyd Wright]

Постепенно и в России архитекторы обращают свое внимание на органическую архитектуру. Такая архитектура получила широкое распространение в строительстве индивидуальных домов (частное строительство), которые являются прямым дополнением окружающего ландшафта. Индивидуальные дома не диссонируют с природным ландшафтом, как это происходит в городской застройке, а наоборот, гармонируют с окружающей средой. Происходит увеличение строительства и развитие частных секторов, началось постепенное застраивание Подмоскovie: как индивидуальное строительство, так и застройка поселков (рис. 3). Индивидуальное строительство имеет больше преимуществ перед городскими квартирами по ряду причин. Строительство частного дома осуществляется по индивидуальному проекту, в связи с чем возможно проектирование комфортного жилья по персональным запросам, с учетом лишь собственных потребностей. У частного дома осуществляется слияние здания с окружающей средой при помощи различных архитектурно-планировочных и объемно-пространственных решений, таких как свободная планировка, открытость пространства, плавное перетекание одного объема здания в другое, проектирование малоэтажного здания, наличие козырьков, навесов, террас, большого количества остекления и т.д. При использовании природных материалов при строительстве и отделке экстерьеров и интерьеров здания имеется возможность органично вписать архитектуру в ландшафт [4].



**Рис. 3.** Частный дом в стиле органической архитектуры.  
Поселок Шелестово, Московская область  
[Detached house in the «organic architecture» style.  
Shelestovo village, Moscow region]

Строительство индивидуальных домов доступно не для каждого человека. Оно возможно только при условии наличия земельного участка, на котором предполагается строительство, но не каждый человек имеет такую возможность. В таком случае принципы органической архитектуры можно внедрить в городскую застройку. Это можно осуществить при помощи следующих методов:

— использование природных материалов (дерево, камень, кирпич) в местах непосредственного контакта с человеком, например, при отделке стен первого

этажа высотного здания, ограждений и покрытия пола террас, эксплуатируемой кровли, объектов ландшафта и элементов благоустройства (рис. 4);

— создание естественной среды с помощью включения рекреационных зон вокруг и внутри здания, внедрение природных элементов в структуру здания (зимние сады, «зеленые» зоны, природные объекты, озеленение крыш). Это положительно скажется на человеке в связи с постоянным зрительным и тактильным контактом с естественными природными элементами в любое время года (рис. 5);

— использование природной естественной цветовой гаммы в отделке здания оказывает благоприятное воздействие в связи с особенностями зрительного восприятия: естественные пастельные тона, в особенности зеленые, положительно влияют на человека (рис. 6) [5—8].



**Рис. 4.** Использование природных материалов (дерево, камень) во внутреннем дворе здания  
[Use of natural materials (wood, stone) in the courtyard of the building]



**Рис. 5.** Внедрение природных элементов в структуру здания  
[The introduction of natural elements in the building structure]

Таким образом, можно сделать вывод, что при внедрении принципов органической архитектуры в городскую застройку возможно решение следующих проблем в современной архитектурной среде города:

- недостаток элементов естественной среды, рекреационных и «зеленых» зон;
- однообразие жилой застройки XX в.;
- большое количество «коробок» современных зданий офисов с чрезмерным количеством стекла и бетона;
- улучшение физиологического и психологического состояния человека;
- улучшение экологической обстановки в городской среде.



**Рис. 6.** Использование природных цветов в отделке здания  
[The use of natural colors in the decoration of buildings]

Из вышесказанного можно сделать вывод: органическая архитектура — это архитектура комфортного жилья, которая реализует принцип органической целостности в структуре «человек—архитектура—ландшафт», гармонирует с естественной окружающей средой и, как следствие, оказывает положительное влияние на физическое и психологическое состояние человека. При реализации принципа органической целостности можно получить сложную, но активную, объединяющую и эволюционирующую среду, в которой возможно размещение разных людей с их индивидуальными потребностями.

Окружающая человека среда отражается в его внешней и внутренней жизни, влияет на формирование сознания, что в дальнейшем определяет его будущее. Поэтому вопрос о том, в какой среде человек живет и развивается, очень важен и актуален и в настоящее время. В связи с этим архитекторы сосредоточили свое внимание на тех проектах, которые способны улучшить жизнь людей и экологическую обстановку в будущем.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Анисимова И.И. «Уникальные дома от Райта до Гери». М.: Архитектура-С, 2009.
- [2] Бионика. URL: [http://novikov-architect.ru/organic\\_arch.htm](http://novikov-architect.ru/organic_arch.htm)
- [3] Внедрение здания в естественную среду. URL: [http://www.forma.spb.ru/magazine/articles/d\\_0010/main.shtml](http://www.forma.spb.ru/magazine/articles/d_0010/main.shtml)

- [4] Гармоничное единство человека, архитектуры и ландшафта. URL: <http://suomik.com/finland/2560-organicheskaya-arxitektura-v-finlyandii.html>
- [5] Зеленая архитектура. URL: <http://landscape.totalarch.com/node/164>
- [6] Ландшафтная архитектура. URL: <http://papamaster.su/landshaftnaya-arxitektura-goroda/>
- [7] Органическая архитектура. URL: <http://arx.novosibdom.ru/node/484>
- [8] Органическая архитектура Райта. URL: <http://www.zs-z.ru/zagorodnoe-stroitelstvo/arxitektura-i-dizajn/organicheskaya-arxitektura-rajta.html>
- [9] Райт Ф.Л. Будущее архитектуры / пер. с англ. М., 1960.
- [10] Райт Ф.Л. Органическая архитектура: архитектура демократии / Ф.Л. Райт.

## ORGANIC ARCHITECTURE IN HARMONY WITH MAN AND NATURE

V.M. Shuvalov, J.A. Komarova, O.V. Golovataya, O. Kenic

Peoples' Friendship University of Russia  
*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

This article is devoted to three components of the organic totality: human, architecture and environment. For many years people have evolved to the environment and were an integral part of it, dwelt in harmony and unity with nature, but due to the current established processes of urbanization there is a rupture of the connection between man and environment. For this reason, urban residents may feel uncomfortable in the urban space and try to move closer to human-nature environment. One of the main tasks of modern architecture is the revival and reunification of previously lost connection of the integral system “man-environment”. Since XIX—XX centuries the rethinking of the relationship between man and nature began and it gave a push to the latest ideas in the field of architecture. It led to the beginning of organic and harmonious fusion of man, architecture and nature. The goal of this article is to identify the fusion characteristics of architecture and landscape to prove necessity to arrange the person to environmental conditions as close as possible and, therefore, comfortable conditions to the natural environment. Analyzed the state of the metropolis' architecture and the results of environmental impact on the human, there are factors that negatively affect to psychological and physical health in the urban environment. As well the urgency of individual housing is revealed. According to the principles of the organic approach solutions of architectural urban space changes are presented.

**Key words:** organic architecture, natural environment, natural materials, the unity, the harmony

### REFERENCES

- [1] *Anisimova I.I.* «Unique homes from Wright to Gehry», Pb. Architecture-S, Moscow, 2009.
- [2] Bionics. URL: [http://novikov-architect.ru/organic\\_arch.htm](http://novikov-architect.ru/organic_arch.htm)
- [3] Buildings' introduction into the natural environment. URL: [http://www.forma.spb.ru/magazine/articles/d\\_0010/main.shtml](http://www.forma.spb.ru/magazine/articles/d_0010/main.shtml)
- [4] The harmony of man, architecture and landscape. URL: <http://suomik.com/finland/2560-organicheskaya-arxitektura-v-finlyandii.html>
- [5] Green architecture. URL: <http://landscape.totalarch.com/node/164>
- [6] Landscape architecture. URL: <http://papamaster.su/landshaftnaya-arxitektura-goroda/>
- [7] Organic architecture. URL: <http://arx.novosibdom.ru/node/484>
- [8] Wright's organic architecture. URL: <http://www.zs-z.ru/zagorodnoe-stroitelstvo/arxitektura-i-dizajn/organicheskaya-arxitektura-rajta.html>
- [9] *Wright F. L.*, An organic architecture. The architecture of democracy, L., 1939; Zevi B., Towards an organic architecture, L., 1950.
- [10] *Wright F. L.*, An Organic Architecture: The Architecture of Democracy/ Wright F.L. — The MIT Press, 1970.

## РАЦИОНАЛЬНЫЕ ТИПЫ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЖИЛЫХ КОМПЛЕКСОВ (МФЖК) ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ЛАНДШАФТНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ РАЙОНОВ ОБЪЕДИНЕННЫХ АРАБСКИХ ЭМИРАТОВ (ОАЭ)

А. Иншаси

Российский университет дружбы народов  
ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198

В статье рассмотрены актуальные проблемы и тенденции строительства и архитектуры жилых комплексов на территории ОАЭ. Рассмотрено влияние ландшафтно-климатических, демографических, экономических факторов, а также религиозных особенностей и традиций на характер проектирования МФЖК в ОАЭ. Отмечены наиболее важные, по мнению автора, приемы, необходимые для решения выявленных проблем проектирования жилых зданий и актуальность применения принципа многофункциональности в условиях ОАЭ. Автором предложены рациональные типы МФЖК для различных ландшафтно-климатических районов. Разработаны и подробно описаны наиболее рациональные типы квартир, удовлетворяющие потребности различных групп населения ОАЭ в специфических ландшафтно-климатических и экономических условиях.

**Ключевые слова:** архитектура ОАЭ, многофункциональный жилой комплекс, МФЖК, рациональный тип МФЖК, рациональный тип квартир, проблема проектирования, климатический фактор

Объединенные Арабские Эмираты располагаются в северо-восточной части Аравийского полуострова. В состав ОАЭ входит семь эмиратов — Абу-Даби, Аджман, Дубай, Фуджейра, Рас эль-Хайма, Шарджа и Умм-аль-Кувейн. Одной из особенностей географии страны является то, что большую часть территории ОАЭ занимает пустыня. Климат Объединенных Арабских Эмиратов засушливый, пустынный, тропический, с ничтожно малым количеством осадков, сильными ветрами и палящим солнцем. Уровень осадков в ОАЭ составляет не более 100 мм в год. Суточная амплитуда температуры, в зависимости от сезона, колеблется от +10 °С до +48 °С. В прибрежных регионах страны летом и осенью влажность доходит до 90%, а в зимние месяцы не превышает 50—60%.

Температурно-влажностные характеристики климата ОАЭ могут отрицательно сказываться на комфортности жилья. Защита жилых помещений от перегрева в таких условиях должна осуществляться максимально эффективно, для этого применяются следующие приемы: правильный подбор конструкций и материалов, тщательный расчет размеров оконных проемов, искусственная климатизация, активный воздухообмен, грамотное использование приемов солнцезащиты и т.д. [8].

МФЖК в ОАЭ являются компактными объектами, сочетающими функции труда и быта населения, в связи с этим назрела необходимость проведения ком-

плексных исследований по разработке принципов их архитектурно-планировочной организации, которые в настоящее время отсутствуют, в частности, с учетом климатических особенностей региона необходимо разработать рациональные типы МФЖК для различных ландшафтно-климатических районов Объединенных Арабских Эмиратов.

Процесс формирования архитектуры МФЖК ОАЭ, находящихся в регионе жарко-сухого климата, закономерно приводит к такой композиции МФЖК, при которой окружающая их пространственная среда требует ограничения продолжения собственного жилища и защиты его от комплекса неблагоприятных факторов [8]. Этот архитектурно-планировочный принцип ограничения и защиты является отражением национальных и исторических традиций для строительства в местах с жарким климатом. В связи с этим для МФЖК следует предусматривать условия защиты от перегрева открытых пространств, обеспечивая максимальную затененность, прохладную аэрацию или кондиционирование воздуха и нормальный режим естественного освещения. Традиционным решением является замкнутая архитектурно-пространственная композиция комплексов.

В условиях жарко-сухого климата ОАЭ архитектурно-планировочные решения МФЖК должны предусматривать создание ветровых коридоров, усиливающих естественную прохладную аэрацию воздуха, а также ориентацию в направлении морских ветров и водных каналов, бассейнов, фонтанов.

В современном понятии замкнутая композиция, характерная для архитектуры стран с жарко-сухим климатом, не означает необходимости полной застройки периметра. Обычно сплошь застраивается часть периметра, обращенная в неблагоприятную сторону проявления внешней среды [8].

Солнечное облучение или инсоляция территории и помещений измеряется количеством времени прямого облучения в часах и минутах. Минимальная величина инсоляции для квартир, жилых комнат гостиниц и общежитий, обслуживающих учреждения составляет 3 ч в дни осеннего и весеннего равноденствия. В условиях ОАЭ это время необходимо сократить вдвое.

Ограничение избыточной инсоляции достигается соответствующей ориентацией зданий и увеличением сроков и площади затенения зданий и территорий соседними зданиями [2]. В МФЖК допускается ориентация жилых комнат на северный сектор горизонта в пределах от 310 до 50° если не все комнаты выходят на этот сектор горизонта. Для МФЖК, в которых размещены квартиры с двусторонней ориентацией, по условиям инсоляции возможно любое расположение в застройке. Для МФЖК частично ограниченной ориентации (часть квартир имеет одно-, часть- двустороннюю ориентацию) возможно меридиональное и широтное (при ориентации односторонних квартир на север) расположение в застройке [6].

Рекомендуется ориентация жилых комнат на юго-восток. Для исключения перегрева помещений во внутренних районах ОАЭ не допускается ориентация на юго-западный сектор горизонта (от 200 до 290°) жилых комнат односторонне ориентированных квартир и основных помещений обслуживающих учреждений.

Характерной особенностью ОАЭ является повышенная яркость небосвода — в 3—4 раза выше, чем в умеренном поясе. Учитывая это обстоятельство, целесо-



образно предусматривать в интерьере более глубокие помещения, а также сокращать площади световых проемов за счет высоты проема. Кроме того, защита помещений от перегрева может быть усилена при заполнении оконных проемов теплозащитным стеклом, отражающим тепло солнечной радиации, а также стеклопакетами, стеклоблоками и светорассеивающим стеклом [6].

В зданиях МФЖК с нормальным режимом эксплуатации хорошие результаты дают кровли из специального покрытия, облицованного с наружной стороны светоотражающей фольгой, или с бронирующим слоем, состоящим из минеральной крошки. В некоторых зданиях МФЖК со строго заданным температурно-влажностным режимом возможны водонаполненные покрытия со слоем воды толщиной 50—100 мм.

Солнцезащитные устройства не должны ухудшать условия воздухообмена в помещениях. Они должны быть удобными и надежными в эксплуатации. Тип солнцезащитных устройств выбирают с учетом назначения здания, природных особенностей района, ориентации, формы и размеров светопроемов, режима эксплуатации и технико-экономических показателей. Наибольшее распространение получили козырьки, жалюзи, маркизы. В многоэтажных МФЖК на фасадах любой ориентации применяют комбинированные (коробчатые) солнцезащитные устройства, состоящие из вертикальных и горизонтальных плит, обрамляющих световые проемы [10]. Коробчатая система хорошо защищает помещение от прямых и косых солнечных лучей.

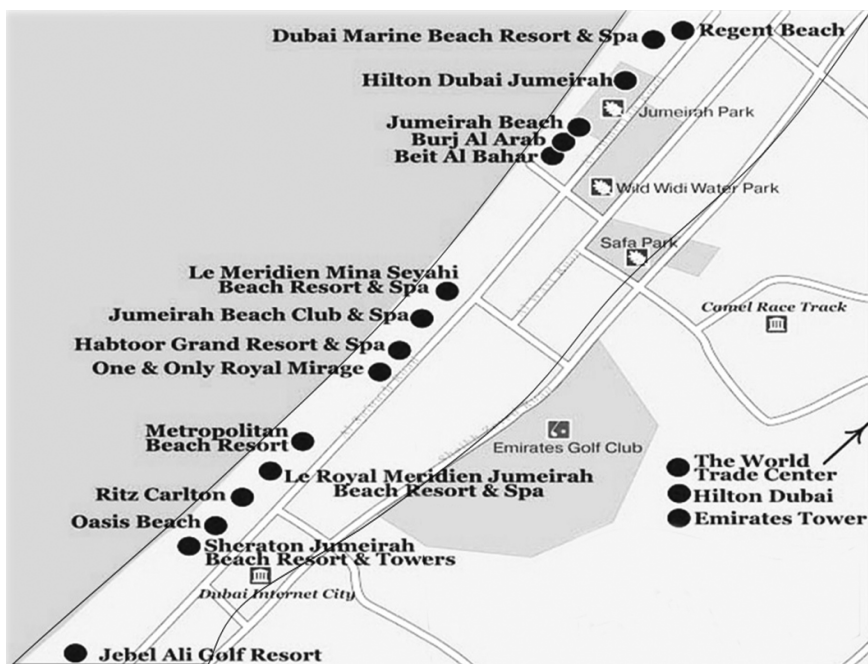
Предлагается следующая типовая форма МФЖК: замкнутая архитектурно-планировочная структура башенного типа с направленностью основных фасадов в сторону моря с целью увеличения возможностей для циркуляции влажного морского прохладного воздуха и естественной аэрации. Внутри каждого корпуса МФЖК предлагается расположить обширные холлы, объединяющие рекреации нескольких этажей, искусственные водопады и сады.

Большая роль должна быть уделена остеклению фасадов МФЖК. Предлагается остекление данного вида строений стеклопакетами с изменяющейся плотностью тонирования в зависимости от степени инсоляции на данный период суток, «хамелеон».

Климатическими особенностями ОАЭ обусловлено возникновение дополнительного типа МФЖК, включающего помещения дневного и ночного пребывания, отличающиеся направлением относительно траектории движения солнца и процентом времени за сутки под воздействием прямых солнечных лучей. Как правило, помещения дневного пребывания ориентированы в северную сторону, хорошо кондиционируются и оборудованы дополнительными системами светоотражения. Замкнутая система МФЖК обуславливает формирование тенистого двора, позволяющего снижать температуру воздуха внутри него на 3—4 градуса за счет уменьшения времени воздействия инсоляции.

Учет ветрового режима очень важен при разработке генеральных планов жилых групп, комплексов, районов и вообще при размещении жилых зон в городах ОАЭ. Это объясняется тем, что движение раскаленных воздушных масс ухудшает аэрацию застроенных территорий в случае направления ветра со стороны пустынь-

ных территорий, в таком случае аэрация из пустыни исключается глухими фасадами, а также соответствующей ориентацией здания. В то же время при изменении направления движения воздушных потоков, ветер со стороны моря улучшает аэрацию и создает приятную экологическую обстановку [3]. Для наиболее эффективного учета влажности и ветрового режима применяется зонирование территории на прибрежную (до 5 км от берега моря) и индустриальную зоны (рис.).



**Рис.** Ландшафтно-климатическое зонирование прибрежной территории на примере центральной части эмирата Дубай (Объединенные Арабские Эмираты).  
 Источник: [http://www.goldtravel.ru/files/user/image/uae\\_maps1\\_big.jpg](http://www.goldtravel.ru/files/user/image/uae_maps1_big.jpg)  
 [Climatic and landscaping zoning central part of Dubai Emirate (United Arab Emirates).  
 Source: [http://www.goldtravel.ru/files/user/image/uae\\_maps1\\_big.jpg](http://www.goldtravel.ru/files/user/image/uae_maps1_big.jpg)]

Особого внимания заслуживает система кондиционирования и фильтрации воздуха. Предлагается использование приточно-вытяжной вентиляции с преобладанием притока, используемой в медицинских учреждениях, для создания комфортного микроклимата внутри здания и вытеснения теплых воздушных масс. Фасады данных МФЖК должны быть выполнены в виде ячеистых поверхностей, для рассеивания солнечных лучей и предотвращения фасадов от перегрева. Светлые тона поверхностей и декоративных покрытий также призваны отражать солнечные лучи [10].

В ОАЭ, как и в любой мусульманской стране, большое влияние на проектирование МФЖК оказывают особенности национального и религиозного воспитания, которые невозможно не учитывать.

Требования к мусульманскому жилищу, конечно, стали более современными и значительно сгладились, однако национальные черты все же прослеживаются в современных МФЖК, в частности, учитывается разделение жилой зоны на муж-

скую и женскую половины [7; 12]. Предусматриваются большие квартиры для совместного проживания больших семей. Как правило, проектировщики учитывают обычаи гостеприимства и закладывают в проекты обширные помещения для приема большого количества гостей.

Традиционные особенности накладывают определенный отпечаток на архитектурно-планировочные приемы, применяемые в МФЖК. Общеизвестно, что допустимое количество жен в арабском мире достигает четырех. Как правило, семьи, в которых муж имеет более одной супруги, проживают в нескольких квартирах [7]. Нередко встречаются варианты, когда эти апартаменты находятся в одном МФЖК, но, как правило, на разных этажах.

Для осуществления традиционных ритуалов каждый МФЖК должен иметь хотя бы одну мечеть. Для обеспечения женщин местом для произнесения молитв в МФЖК высокого социального класса предполагается наличие молельных комнат в каждой квартире [13].

Другим фактором, определяющим особенности проектирования МФЖК в ОАЭ, являются демографические показатели. Начиная с 1968 г. благодаря притоку трудовых мигрантов население ОАЭ увеличилось почти в 20 раз. В 2003 году общая численность населения страны составляла 3,75 млн человек. Характер занимаемых мигрантами профессий обуславливает выраженные диспропорции в половой структуре населения. Кроме того, большинство наемных рабочих из других стран не имеют финансовых возможностей, чтобы приехать на заработки в ОАЭ в сопровождении семьи, за счет этого на сегодняшний день женщины составляют всего около 33% населения страны [13; 11].

Интенсивность миграционных потоков, проходящих через ОАЭ, практически не имеет сезонности, поэтому процент иностранных рабочих в общей структуре населения страны довольно постоянен и составляет около 80%. В целом, наиболее этническими группами на территории ОАЭ являются выходцы из Индии (около 30% или 1,2 млн) и Пакистана (около 20%) [11].

Демографические характеристики населения ОАЭ оказывают существенное влияние на архитектурно-планировочную структуру жилых комплексов. Наиболее существенное значение в этом смысле имеют следующие параметры: численность и темпы роста населения, распределение по полу и возрасту, число, размер и структура семей [5; 9].

Прирост населения в ОАЭ носит довольно динамичный характер, в том числе в последние десятилетия отмечается значительное увеличение удельного веса городских жителей. Эти изменения нашли отражение в высочайших темпах развития городского строительства.

Специфика архитектурно-планировочной организации жилого фонда и типология жилых зданий и квартир должна четко соответствовать половозрастной структуре населения [5]. С течением времени образ жизни людей претерпевает кардинальные изменения и система жилого пространства должна реагировать на эти естественные процессы [1]. Одним из вариантов, например, является создание для пожилых людей особой типологической группы МФЖК. Однако традиционно в арабских странах ближайшие родственники преклонного возраста пред-

почитают оставаться в семье, вместе со своими детьми и внуками, поэтому в ОАЭ наибольшее распространение получили квартиры, рассчитанные на совместное проживание представителей трех поколений.

Вместе с тем государственные программы жилищного строительства учитывают потребности и молодежного состава населения. В структуру жилого фонда еще на этапе планирования закладывается возможность обеспечения молодых людей и недавно созданных семей соответствующими квартирами [13; 1]. Молодежное жилище, как правило, организуется на основе социальных моделей и отличается от массовой застройки более развитым общественным сектором и преобладанием малокомнатных компактных квартир.

Уровень образованности населения также является одним из факторов, оказывающих влияние на проектирование жилища. В ОАЭ, где программы по повышению уровня образования населения проводятся под эгидой государства, этой важной составляющей принадлежит особая роль. Повышение уровня образования влечет за собой потребность в наличии оборудованного рабочего места в квартирах. При проектировании такого жилья должны предусматриваться дополнительные площади для комфортных занятий учебной, научной или творческой деятельностью.

Одну из главных ролей в определении тенденций проектирования МФЖК в ОАЭ играет экономика. Огромные финансовые инвестиции позволяют вкладывать значительные суммы в использование самых современных технологий строительства.

Высокий финансовый уровень жителей Эмиратов требует удовлетворения самых высоких запросов по уровню комфортности жилищного, поддержания определенного социального статуса и учета индивидуальных, подчас самых неожиданных, пожеланий заказчика [4]. Учитывая экономический рост ОАЭ, можно предположить, что темпы современного жилищного строительства с каждым годом будут неуклонно возрастать, создавая все более и более инновационные сооружения на благо человека и задавая при этом еще более высокие цели и задачи.

С учетом перечисленных экономических и традиционных особенностей ОАЭ, согласно требованиям общей площади, количества комнат и оснащенности были разработаны основные планировочные модели квартир МФЖК.

1. Квартиры «минимальный стандарт» предназначены для непостоянного проживания обслуживающего персонала и сезонных рабочих. Данная категория населения состоит из представителей в основном стран юго-восточной Азии, не граждан ОАЭ. Планировки таких квартир отличаются преимущественной развитостью площади коллективной зоны. Индивидуальная зона представлена спальнями, рассчитанными на одного человека, вспомогательная — оснащена неполным или минимальным набором санитарно-гигиенического оборудования. Большинство помещений непроходные. Совмещение хозяйственных и бытовых функций максимальное. Такие квартиры принадлежат государству и предназначаются в основном для контингента, не имеющего средств для покупки или аренды дорогостоящего комфортного жилья.

2. Квартиры категории «стандарт». Планировки квартир характеризуются высокой долей площадей помещений основной зоны, обеспечивающих высокий уровень изолированности жизнедеятельности, минимальной оснащённостью санитарно-гигиеническим оборудованием помещений коллективного пользования и стремлением свести к минимуму площади коммуникационных и незанятых функциями частей помещений. Незначительная площадь, высокая компактность и достаточная оснащённость таких квартир способны обеспечить необходимый комфорт проживания одиноких молодых людей и семейных пар с небольшим количеством детей (1-2 ребенка).

3. Квартиры категории «улучшенный стандарт» предназначены для более комфортного расселения семей из среднего класса, имеющих возможность приобрести частную квартиру, построенную государственными или частными строительными компаниями. Более высокие параметры площадей и компактность квартиры способны удовлетворить конкретные требования семей различных социально-демографических групп. Такие квартиры характеризуются: сбалансированным составом и площадью основных и вспомогательных помещений; уменьшенной изолированностью общесемейных зон; повышенным уровнем специализации подсобных помещений; большей дисперсностью размещения подсобных помещений, увеличенной численностью санитарно-гигиенических приборов и растущей значимостью индивидуальных зон со своими основными и подсобными помещениями. Планировка квартир допускает устройство дополнительных входов в квартирах, предназначенных для расселения семей из нескольких поколений, что крайне актуально для стран Ближнего Востока, в частности ОАЭ, учитывая национальные особенности и традиции.

4. Квартиры категории «высокий стандарт», как правило, ориентированы на удовлетворение самых высоких требований отдельных социальных групп населения, стремящихся проживать при повышенных нормах жилищной обеспеченности. Строительство таких квартир, в основном, осуществляется по частным индивидуальным заказам силами крупных специализированных строительных организаций, с привлечением иностранных архитекторов. Такие квартиры характеризуются сбалансированным развитием индивидуальной и коллективной зоны; расширенным составом санитарно-гигиенических приборов, большей интеграцией основных и подсобных помещений; увеличенным диапазоном специализации отдельных помещений, выраженным в применении как специализированных, так и полифункциональных их типов; наличием значительного числа проходных комнат, обладающих возможностями гибкого и вариантного использования.

Таким образом, в ОАЭ основными типобразующими факторами, влияющими на формирование объёмно-пространственной структуры МФЖК, являются ландшафтно-климатические, демографические, экономические, а также мусульманский традиционный уклад жизни. С учетом перечисленных особенностей в архитектурно-планировочной организации МФЖК в ОАЭ особую роль играет использование современных методов защиты жилища от избыточной инсоляции, в частности, уменьшение площади световых проемов на 15—20% и применение

современных солнцезащитных устройств. Также рекомендуется ограничивать остекление фасадов и уделять особое внимание искусственной климатизации зданий. Во всех эмиратах предлагается применение принципа ландшафтно-климатического зонирования, подразделяющего территорию на прибрежные (около 5 км от берега) и индустриальные районы, что позволит наилучшим образом учесть неблагоприятные воздействия, оказываемые на комфортность жилья близостью моря и окружающей пустыни. Жилой фонд квартир в МФЖК должен иметь как минимум четыре типа квартир, разработанных для различных целевых категорий населения и различающихся такими характеристиками как площадь основных и вспомогательных помещений, соотношением изолированных и коллективных зон, а также уровнем оснащенности и комфорта.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Алексеев С.Ю., Миронов Е.И.* Структура пространства жилых домов. Эволюция представлений. Ростов-на-Дону: РАИ, 1995. 57 с.
- [2] *Иниаси А., Коршунова Н.Н.* Размещение МФЖК в условиях городов в Объединенных Арабских Эмиратах (ОАЭ) // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2013. № 2. С. 125—128.
- [3] *Иниаси А., Коршунова Н.Н.* Современные проблемы проектирования и строительства многофункциональных жилых комплексов (МФЖК) в ОАЭ // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2012. № 4. С. 125—128.
- [4] *Истомин Б.С.* Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре 20-х годов XXI века // Вестник строительства и архитектуры. Орел: Картуш, 2010. № 4. С. 3—19.
- [5] *Коршунова Н.Н.* Особенности конструктивных решений зданий многофункционального назначения в различные периоды развития архитектуры // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2005. № 1 (11). С. 121—124.
- [6] *Нагиб А.А.Х.* Архитектурное формообразование традиционного и современного жилища Йемена: национальные особенности и перспективы развития: дисс. ... канд. арх. М., 1993. 196 с.
- [7] *Талебиан Нима, Аташи Мехди, Хабизадех Сима.* Новые типы городского жилища. Мешхед, 2006. 43 с.
- [8] *Фирсанов В.М.* Архитектура тропических стран. М.: Издательство Российского университета дружбы народов, 2002. 234 с.
- [9] *Фирсанов В.М.* Средства и приемы архитектурной композиции: учеб. пособие. М.: Издательство Российского университета дружбы народов, 2004. 31 с.
- [10] *Хабонимана Дезире.* Архитектурно-планировочная организация жилого комплекса в условиях Бурунди: дисс. ... канд. арх. СПб., 2001. 231 с.
- [11] *Ibrahim Al Abed, Paula Vine, Peter Hellyer, Peter Vine.* United Arab Emirates Yearbook 2008. London.: Trident Press, 2008. 331 p.
- [12] *Modernity and Continuity: Architecture in the Islamic World.* London: Thames & Hudson. 2001. 166 p.
- [13] *Salma S. Damluji.* The Architecture of the United Arab Emirates. New-York: Ithaca Press. 2006. 334 p.

## **RATIONAL TYPES OF MULTIFUNCTIONAL RESIDENTIAL COMPLEXES (MFRC) FOR DIFFERENT LANDSCAPE AND CLIMATIC REGIONS IN UNITED ARAB EMIRATES (UAE)**

**A. Inshasi**

Peoples' Friendship University of Russia  
*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

In article actual problems and tendencies of construction and architecture of residential complexes in the UAE are considered. The author observing an influence of major factors as landscape and climatic, demographic and economic factors as well as the religious characteristics and traditions to design of multifunctional residential complexes (MFRC). The most important in the opinion of the author techniques required to address the identified problems of designing of residential buildings are noted and the relevance of the application of the principle of multifunctionality in residential buildings of UAE are observed. The author offers rational types MFZHK for various landscape-climatic regions. Developed and described in detail the most rational types of apartments that best meet the needs of different groups of the population of the UAE in specific landscape and climate and economic conditions.

**Key words:** architecture of UAE, multifunctional residential complex, MFRC, rational type of MFRC, rational type of apartment, design problem, climatic factor

### **REFERENCES**

- [1] *Alekseev S. Yu, Mironov E.I.* Struktura prostranstva zhilykh domov. Evolyutsiya predstavlenii [The structure of the space of residential buildings. Evolution of ideas]. Rostov-na-Donu: RAI [Rostov-on-Don: RAI], 1995. 57 p.
- [2] *Inshasi A., Korshunova N.N.* Razmeshchenie MFZhK v usloviyakh gorodov v Ob'edinennykh Arabskikh Emiratakh (OAE) [Multifunctional residential complexes accomodation in the cities of United Arab Emirates (UAE)]. Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Inzhenernye issledovaniya [Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Engineering Researches]. 2013. No. 2. Pp. 125—128.
- [3] *Inshasi A., Korshunova N.N.* Sovremennye problemy proektirovaniya i stroitel'stva mnogofunktsional'nykh zhilykh kompleksov (MFZhK) v Ob'edinennykh Arabskikh Emiratakh (OAE) [Modern approaches to designing of many-storeyed housing estates in conditions hot-arid climate (on an example of the United Arab Emirates)]. Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Inzhenernye issledovaniya [Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Engineering Researches]. 2012. No. 4. Pp. 125—128.
- [4] *Istomin B.S.* Aktual'nye problemy v stroitel'stve i arkhitekture 20-kh godov XXI veka [Current problems in construction and architecture of the 20s of the XXI century]. Vestnik stroitel'stva i arkhitektury [Bulletin of building and architecture]. Orel: Kartush, 2010. No. 1. Pp. 3—19.
- [5] *Korshunova N.N.* Osobennosti konstruktivnykh reshenii zdaniy mnogofunktsional'nogo naznacheniya v razlichnye periody razvitiya arkhitektury [Features of multifunctional building's design solutions in different periods of architecture development]. Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Inzhenernye issledovaniya [Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Engineering Researches]. 2005. No. 1 (11). Pp. 121—124.
- [6] *Nagib A.A.Kh.* Arkhitekturnoe formoobrazovanie traditsionnogo i sovremennogo zhilishcha Iemena: natsional'nye osobennosti i pespektivy razvitiya: dissertatsiya kand. arkh. [Architectural shaping of traditional and contemporary residential buildings in Yemen: national characteristics and development perspectives [dissertation]. Moskva [Moscow], 1993. Pp. 3—196.

- [7] *Talebian Nima, Atashi Mekhdi, Nabizadekh Sima*. Novye tipy gorodskogo zhilishcha [New types of urban residential buildings]. Meshkhed, 2006. Pp. 27—43.
- [8] *Firsanov V.M.* Arkhitektura tropicheskikh stran [Architecture of tropical countries]. Moskva: Izdatel'stvo Rossiiskogo universiteta druzhby narodov [Moscow: Publisher of Peoples' Friendship University of Russia], 2002. Pp. 5—234.
- [9] *Firsanov V.M.* Sredstva i priemy arkhitekturnoi kompozitsii: uchebnoe posobie [Tools and techniques of architectural composition. Tutorial]. Moskva: Izdatel'stvo Rossiiskogo universiteta druzhby narodov [Moscow: Publisher of Peoples' Friendship University of Russia], 2004. Pp. 3—31.
- [10] *Khabonimana Dezire*. Arkhitekturno-planirovochnaya organizatsiya zhilogo kompleksa v usloviyakh Burundi: dissertatsiya kand. arkh. [Architectural design of a residential complexes in Burundi [dissertation]. Sankt-Peterburg [Saint-Petersburg], 2001. Pp. 4—231.
- [11] *Ibrahim Al Abed, Paula Vine, Peter Hellyer, Peter Vine*. United Arab Emirates Yearbook 2008. London: Trident Press, 2008. Pp. 5—331.
- [12] *Modernity and Continuity: Architecture in the Islamic World*. London: Thames & Hudson, 2001. Pp. 5—166.
- [13] *Salma S. Damluji*. The Architecture of the United Arab Emirates. New York: Ithaca Press, 2006. Pp. 5—334.



## СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ МАЛОЭТАЖНОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ В СИРИИ

И. Халиль

Российский университет дружбы народов  
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117193

В статье рассматриваются социально-экономические факторы, оказывающие наиболее значительное влияние на объемно-планировочную структуру малоэтажной жилой застройки в Сирии (МЖЗ), в том числе с учетом современной военно-политической ситуации.

**Ключевые слова:** архитектура Сирии, малоэтажное жилое здание, объемно-планировочная структура, социальный фактор, экономический фактор

Социальная структура населения региона достаточно разнообразна. Большинство жителей страны составляют промышленные и сельскохозяйственные рабочие и члены их семей (75%), немногим менее половины всего населения (43%) — селяне и очень небольшую долю — кочевые и полукочевые скотоводы (12%). Живущие в деревнях крестьяне трудятся на собственной (19%) или арендованной земле (24%), однако многие вынуждены довольствоваться сельскохозяйственной работой по найму (39%).

Самые малочисленные среди национальных меньшинств — кочевые цыгане, турки, иранцы, ассирийцы, евреи (последние сосредоточены в основном в Дамаске и Халебе).

В антропологическом отношении арабы Сирии, как и арабское население большинства других стран Юго-Западной Азии, неоднородно. Исконно оседлое население характеризуется признаками арменоидной группы. Кочевникам и полукочевникам, в том числе и тем, которые переходили к оседлой жизни в последние века, свойственны признаки средиземноморской группы. В результате смешения тех и других есть промежуточные, переходные антропологические варианты.

Этнический состав по численности распределен следующим образом: сирийские арабы 80%, курды 12%, армяне 3%, бедуины 1,6%, туркмены 0,7%, черкесы 0,7%, цыгане 0,6%, турки 0,4%, иранцы 0,4%, ассирийцы 0,4%, евреи 0,2%.

Качество жилой среды определяется ее функционально-планировочными, гигиеническими, техническими и эстетическими характеристиками, которые в равной степени важны и для МЖЗ, и для поселения в целом. Наличие этих характеристик обеспечивает комфорт проживания, и социальную эффективность жилой среды. Достижение комфорта составляет главную цель проектирования. На устройство жилища глубокое влияние оказывают социальная структура общества и социальные процессы, происходящие в нем, поскольку МЖЗ [7] — это не только архитектурная, функциональная, техническая, но и социальная категория.

Проектируя жилую среду на всех ее уровнях, необходимо учитывать образ жизни населения, его демографическую структуру, потребности людей в сфере быта и досуга. Сформированная жилая среда сама воздействует на человека и во многом определяет его образ жизни.

Для Сирии характерна экономика смешанного типа с высокой долей государственного сектора (около 50% национального дохода, 75% стоимости промышленной продукции и 70% основных средств производства). Финансы, энергетика, железнодорожный и авиационный транспорт на протяжении долгого времени целиком находились в ведении государства. Частная собственность явно преобладает в сельском хозяйстве, а также включает мелкие и средние предприятия торговли, сферу обслуживания, автотранспорт и жилищное строительство. Ежегодный прирост ВВП в середине 1990-х оценивался в 3,6%. В довоенный 2003 прирост ВВП составил 0,9%, т.е 58,01 млрд долл. США, доходы на душу населения составили 3300 долл. По данным 2003 года по секторам ВВП делился следующим образом: сельское хозяйство — 28,5%, индустрия — 29,4% и другие службы — 42,1%.

В последние годы экономические санкции и политическая нестабильность нанесли серьезный урон состоянию в жилищном секторе Сирии. Боевые действия между правительственными войсками и террористическими группировками привели к существенному разрушению многих жилых зданий в городах и поселениях страны [6]. Происходят существенные изменения, касающиеся миграции населения, возвращаются беженцы, начинается активное строительство новых и восстановление разрушенных зданий. По данным Ближневосточного агентства ООН за время гражданской войны разрушено и утрачено около 20% жилого фонда, больше всего пострадали города Алеппо и Босра. В восточных и северных регионах страны продолжаются боевые действия. Без крова осталось более 2 миллионов человек, основная масса которых проживала в МЖЗ.

Все эти условия находят отражение в социальной политике государства — жилищное строительство становится одной из самых важных ее составляющих. Состояние жилищного фонда по некоторым городам Сирии на 2015 г. находится в критическом состоянии. Например, в таких городах как Дерья (население 858 000 человек), Хомс (население 1 561 000 человек), Хама (население 1 416 000 человек) в полном или частичном восстановлении нуждаются от 15% до 30% зданий, Алеппо (Халерб) (население 4 120 000 человек), Ракка (население 811 000 человек). В некоторых населенных пунктах (Эль-Кунейтра, население 69 000 человек) разрушениям подверглись 100% жилых зданий [5].

В текущих социально-экономических условиях наиболее целесообразно в конструктивных решениях зданий применять самые простые схемы. Кроме того, уменьшение этажности снизит требования к несущей способности и капитальности конструкций, а также позволит применять более дешевые варианты несущих элементов [2]. Условия, в которых в настоящее время в Сирии проводятся работы по скорейшему восстановлению жилого фонда, заставляют архитекторов ориентироваться на относительно малые объемы, меньшую этажность объектов и более простую технологию их возведения средствами малой механизации, по-

этому на данный момент МЖЗ являются наиболее востребованным и актуальным типом зданий для пострадавших от военных действий регионов страны.

Правительство предпринимает меры по повышению уровня жизни в сельской местности: были построены дороги и школы, осуществлена обширная программа электрификации. Экологические и энергоэффективные требования к качеству жилой среды повышаются с применением инженерно-технических сооружений (солнечные коллекторы, биогазовые установки, ветрогенераторы и теплоаккумуляторы). На генплане участков отведенных под строительство МЖЗ появляются сооружения, которые представляют собой комплекс автономных инженерных агрегатов и конструкций. Например, современные биогазовые установки представляют собой отдельно стоящие сооружения, формируя генеральный план МЖЗ и архитектурный образ окружающей застройки.

МЖЗ и сооружения несут в себе отражение национальных, бытовых и культурных традиций этносов населяющих Сирию. По археологическим раскопкам жилых поселений можно реконструировать жизнь ушедших цивилизаций когда-то населяющих эту территорию. Анализ таких архитектурных памятников показывает сходство сохранившихся архитектурных элементов с приемами, применяемыми в современном строительстве в Сирии [1].

Жилище всегда отражает иерархическую структуру общества: зона для индивидуума — индивидуальное пространство; зона для внутрисемейной группы — помещение для внутрисемейной группы; зона для семьи — жилая ячейка — дом или квартира; зона для сбора соседей — придомовое пространство, дом (рис.).

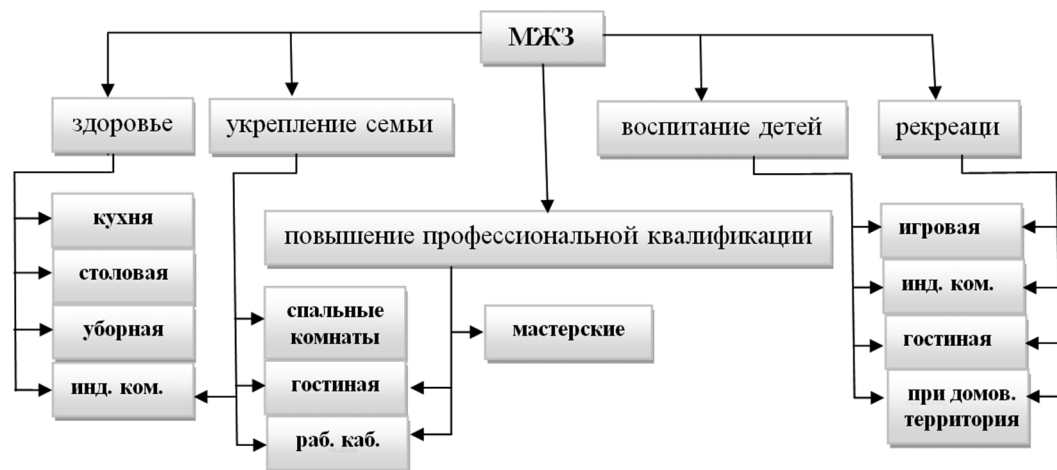


Рис. Структурная Модель МЖЗ [Structural Model MZHZ]

Для разработки в проекте планировочного и объемного решения МЖЗ необходима структурная модель МЖЗ, которая способна дать ей материально-пространственное оформление для выполнения предусмотренных функций [4].

Жилище должно выполнять следующие функции:

— сохранение здоровья человека — достигается за счет создания требуемых санитарно-гигиенических условий;

- укрепление семьи и создание в ней здорового психологического климата, способствование развитию семьи;
- повышение профессиональной квалификации;
- воспитание детей;
- создание условий для рекреации индивидуального, семейного и коллективного.

Необходимо предусмотреть и разработать социальную модель жилища (МЖЗ).

Для разработки в проекте планировочного и объемного решения МЖЗ необходима структурная модель МЖЗ, которая способна дать ей материально-пространственное оформление.

Для сохранения здоровья человека необходимы следующие помещения: кухни, столовые, уборные и санитарно-бытовые блоки, индивидуальные комнаты. В помещениях необходим оптимальный микроклимат: влажность, движение воздуха, температура; допустимые уровни шума, радиации, вибрации; применение экологических материалов при отделке помещений и мебели и многое другое [8].

Для укрепления семьи и создание в ней здорового психологического климата, способствующего развитию семьи, необходимы следующие помещения: гостиные, спальня, комнаты, индивидуальные комнаты, рабочий кабинет и места для творческих занятий и увлечений (хобби) членов семьи.

Для повышения профессиональной квалификации работающих членов семьи необходимы следующие помещения: мастерские для занятий ремеслами, рабочие кабинеты, гостиные комнаты. В помещениях для повышения профессиональной квалификации необходимо иметь современное оборудование, инструменты и обучающие программы.

Для воспитания детей необходимы следующие помещения: игровые комнаты, гостиные, спальня, комнаты, индивидуальные комнаты, места для творческих занятий и увлечений (хобби) детей.

Для создания условий рекреации (индивидуальной, семейной и коллективной) необходимы следующие помещения: игровые комнаты, гостиные, индивидуальные комнаты, места для творческих занятий и увлечений (хобби) членов семьи, придомовая территория для рекреации. В структуре поселения предусмотреть места для индивидуальной, семейной и коллективной рекреации.

Форма и объемно-планировочная структура МЖЗ и сооружений существенно зависят от климата и от местных строительных материалов. Развитие производительных сил и индустриальной базы строительства также влияет на архитектуру МЖЗ. В Сирии созданы различные жилые постройки: каменные и кирпичные МЖЗ с плоской кровлей, современные секционные дома средней этажности из монолитного железобетона в городах [3].

В разгар сложной политической ситуации, сложившейся в Сирии в настоящее время МЖЗ представляют собой наиболее актуальный тип жилых зданий, проектирование которых требует тщательного анализа и учета новых социально-экономических условий.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Алексеев С.Ю., Миронов Е.И.* Структура пространства жилых домов. Эволюция представлений. Ростов-на-Дону: РАИ, 1995. 57 с.

- [2] Вильковский М. Социология архитектуры. М.: Русский авангард, 2010. 592 с.
- [3] Гельфонд А.Л. Архитектурное проектирование общественных зданий и сооружений. М.: Архитектура-С, 2007.
- [4] Доклад генерального комиссара Ближневосточного агентства ООН для помощи беженцам и организации работ в Сирии 2014.
- [5] Истомин Б.С. Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре 20-х годов XXI века // Вестник строительства и архитектуры. 2010. № 1. С. 3—19.
- [6] Карташова К.К. Жилище в условиях современных социальных реалий: автореф. дисс. ... д-ра архитектуры. М., 2011. 5 с.
- [7] Мирзаи Реза. Жилые дома средней этажности, возводимые индустриальными методами для жарко-сухой климатической зоны: на примере крупных городов Ирана: дисс. ... канд. арх. М., 2009. 195 с.
- [8] Фирсанов В.М. Архитектура тропических стран. М.: Издательство Российского университета дружбы народов, 2002. 234 с.

## INFLUENCE OF SOCIAL AND ECONOMIC FACTORS TO DEVELOPMENT OF SPACE-PLANNING STRUCTURE OF THE LOW-RISE RESIDENTIAL BUILDINGS AND FACILITIES IN SYRIA

I. Khalil

Peoples' Friendship University of Russia  
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117193

The article reviews influence of social and economic factors to development of space-planning structure of the low-rise residential buildings and facilities in Syria, including most recent military and political situation.

**Key words:** Architecture of Syria, low-rise residential building, space-planning structure, social factor, economic factor

### REFERENCES

- [1] Alekseev S. Yu., Mironov E. I. Struktura prostranstva zhilykh domov. Evlyutsiya predstavlenii [The structure of the space of residential buildings. The evolution of ideas]. Rostov-na-Donu: RAI [Rostov-on-Don: PARADISE], 1995. 57 p.
- [2] Vil'kovskii M. Sotsiologiya arkhitektury [architecture Sociology]. M.: Russkii avangard [Fund "Russian avant-garde"]. M., 2010. 592 p.
- [3] Gel'fond A. L. Arkhitekturnoe proektirovanie obshchestvennykh zdaniy i sooruzhenii [The architectural design of public buildings and facilities]. M.: Arkhitektura-S [Architecture-S], 2007. No. 3. 271 p.
- [4] Doklad general'nogo komissara Blizhnevostochnogo agentstva OON dlya pomoshchi bezhentsam i organizatsii rabot v Sirii [Middle East Report of the Commissioner-General of the United Nations Agency for Refugees and Works in Syria]. Damascus, 2014.
- [5] Istomin B. S. Aktual'nye problemy v stroitel'stve i arkhitekture 20-kh godov XXI veka [Current problems in construction and architecture of the 20s of the XXI century]. Vestnik stroitel'stva i arkhitektury [Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2010. № 1. Pp. 3—19.

- [6] *Kartashova K.K.* Zhilishche v usloviyakh sovremennykh sotsial'nykh realiy: avtoref [Dwelling in contemporary social realities: Abstract] avtoref. dis. d-ra arkhitektury [Abstract of. Dis. by Dr. Architecture]. M., 2011. Pp. 2—5.
- [7] *Mirzai Reza.* Zhilye doma srednei etazhnosti, vozvodimye industrial'nymi metodami dlya zharkosukhoi klimaticheskoi zony: na primere krupnykh gorodov Irana [Dwelling houses high-rise, constructed in industrial methods for hot-dry climate zone: the example of Iran's major cities] dissertatsiya kand. arkh. [PhD thesis. architect]. M., 2009. Pp. 4—195.
- [8] *Firsanov V.M.* Arkhitektura tropicheskii stran [Architecture tropical countries]. Izdatel'stvo Rossiiskogo universiteta druzhby narodov [Publishing of the Russian University of Friendship of Peoples]. M., 2002. Pp. 5—234.

## НАШИ АВТОРЫ

**Алафар Халиль Саид** — аспирант департамента нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела Инженерной академии Российского университета дружбы народов

E-mail: khalel-sayed@hotmail.com

**Алексеев Герман Валерьевич** — кандидат технических наук, доцент Национального исследовательского московского государственного строительного университета

E-mail: alexeev\_german@bk.ru

**Баранов Андрей Анатольевич** — кандидат физико-математических наук, Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

E-mail: andrey\_baranov@list.ru

**Гворова Жанна Михайловна** — доктор технических наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения Национального исследовательского московского государственного строительного университета

E-mail: fonsvit@bk.ru

**Голик Владимир Иванович** — доктор технических наук, профессор Северо-Кавказского государственного технологического университета

E-mail: v.i.golik@mail.ru

**Головатая Оксана Владимировна** — магистрант департамента архитектуры и строительства Инженерной академии Российского университета дружбы народов

E-mail: andreyrizin@mail.ru

**Дормидонтова Татьяна Владимировна** — кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и геодезического сопровождения строительства Самарского государственного технического университета архитектурно-строительного института

E-mail: adisc63@mail.ru

**Есина Екатерина Николаевна** — кандидат технических наук, доцент департамента горного и нефтегазового дела Инженерной академии Российского университета дружбы народов

E-mail: esina\_en@pfur.ru

**Иншаси Ахмед** — аспирант департамента архитектуры и строительства Инженерной академии Российского университета дружбы народов

E-mail: ahmed2008.82@mail.ru

**Кенич Ольга** — магистрант департамента архитектуры и строительства Инженерной академии Российского университета дружбы народов

E-mail: andreyrazin@mail.ru

**Комарова Юлия Александровна** — магистрант департамента архитектуры и строительства Инженерной академии Российского университета дружбы народов

E-mail: andreyrazin@mail.ru

**Комащенко Виталий Иванович** — доктор технических наук, профессор Северо-Кавказского государственного технологического университета

E-mail: komashchenko@inbox.ru

**Козн Арсений Романович** — кандидат технических наук, ассистент департамента архитектуры и строительства Инженерной академии Российского университета дружбы народов

E-mail: ARKoen@if-capital.ru

**Лапшинский Валерий Алексеевич** — кандидат технических наук, доцент департамента кибернетики и мехатроники Инженерной академии Российского университета дружбы народов

E-mail: nano-e@yandex.ru

**Лебедь Евгений Васильевич** — кандидат технических наук, доцент кафедры металлических и деревянных конструкций Национального исследовательского московского государственного строительного университета

E-mail: evglebed@mail.ru

**Назаров Александр Викторович** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий конструирования радиоэлектронных устройств Московского авиационного института

E-mail: a-v-naza@outlook.com

**Нгуен Хюн Кыонг** — аспирант кафедры гидравлики, водоснабжения и водоотведения Воронежского государственного технического университета

E-mail: hcuongsgvn2003@gmail.com

**Негурица Дмитрий Леонидович** — кандидат технических наук, доцент, директор департамента геологии, горного и нефтегазового дела Инженерной академии Российского университета дружбы народов

E-mail: neguritsa\_dl@pfur.ru

**Разоренов Юрий Иванович** — доктор технических наук, профессор, ректор Северо-Кавказского государственного технологического университета

E-mail: yiri1963@mail.ru

**Разумный Владимир Юрьевич** — ассистент департамента механики и мехатроники Инженерной академии Российского университета дружбы народов

E-mail: vladimir.razoumny@gmail.com



**Романова Викторина Анатольевна** — доцент департамента архитектуры и строительства Инженерной академии Российского университета дружбы народов

E-mail: v.a.r-victoryna@mail.ru

**Саморуков Сергей Сергеевич** — магистр кафедры автомобильных дорог и геодезического сопровождения строительства Архитектурно-строительного института Самарского государственного технического университета

E-mail: adisc63@mail.ru

**Свинцов Александр Петрович** — доктор технических наук, профессор департамента архитектуры и строительства Инженерной академии Российского университета дружбы народов

E-mail: svintsovap@rambler.ru

**Терешин Александр Александрович** — кандидат технических наук, доцент департамента нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела Инженерной академии Российского университета дружбы народов

E-mail: tereshin\_aa@pfur.ru

**Тхома Анамария** — магистр департамента архитектуры и строительства Инженерной академии Российского университета дружбы народов

E-mail: anamariathoma@yahoo.fr

**Филатова Анастасия Викторовна** — кандидат философских наук, доцент кафедры автомобильных дорог и геодезического сопровождения строительства Архитектурно-строительного института Самарского государственного технического университета

E-mail: nastyafilatova\_7@mail.ru

**Халиль Иван** — аспирант департамента архитектуры и строительства Инженерной академии Российского университета дружбы народов

E-mail: evanovich\_47@yahoo.com

**Шувалов Василий Максимович** — кандидат архитектуры, старший преподаватель департамента архитектуры и строительства Инженерной академии Российского университета дружбы народов, профессор кафедры архитектуры сельских населенных мест МАРХИ

E-mail: andreyrazin@mail.ru

**Щербаков Владимир Иванович** — доктор технических наук, профессор кафедры гидравлики, водоснабжения и водоотведения Воронежского государственного технического университета

E-mail: scher@vgasu.vrn.ru

## **ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РУКОПИСЕЙ СТАТЕЙ ДЛЯ ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК РУДН. СЕРИЯ: ИНЖЕНЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ»**

Журнал «Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования» принимает к публикации материалы на русском и английском языках (по выбору автора), содержащие результаты оригинальных исследований, оформленные в соответствии с требованиями к оформлению рукописей статей.

Публикации в журнале подлежат только оригинальные статьи. Опубликованные материалы (как в традиционных, так и в электронных изданиях), а также материалы, представленные для публикации в другие журналы, к рассмотрению не принимаются.

Представляемая для публикации статья должна описывать результаты самостоятельного научного исследования, проведенного автором (авторами) или с участием автора. Научная новизна работы и собственный авторский вклад должны быть ясно видны из содержания статьи. Статьи, содержащие только обзор состояния какой-либо проблемы, а не собственные новые научные результаты авторов, могут приниматься при специальном согласовании с редколлегией. В этом случае обзорный характер статьи должен быть ясно оговорен в ее тексте.

### **СТАТЬИ ОФОРМЛЯЮТСЯ СТРОГО В СООТВЕТСТВИИ С ИЗЛОЖЕННЫМИ НИЖЕ ПРАВИЛАМИ!**

### **СТАТЬИ, ОФОРМЛЕННЫЕ С ОТСТУПЛЕНИЕМ ОТ ЭТИХ ПРАВИЛ, ЗАДЕРЖИВАЮТСЯ С ОПУБЛИКОВАНИЕМ ДО ПОЛНОГО ИСПРАВЛЕНИЯ!**

Общие требования к оформлению статей:

- текстовый редактор Word (версия 2003 г.), шрифт Times New Roman, формате А4, размер 12, интервал 1,5; поля страниц: слева, справа, снизу — по 3,5 см, сверху — 4 см;
- абзацы разделяются красной строкой, отступ — 0,5 см;
- объем до 12 стр., включая раздел ЛИТЕРАТУРА (увеличение объема возможно только после консультации с *Главным редактором серии*);
- аннотация (на русском и английском языках) — размер шрифта 10, ЛИТЕРАТУРА (назв. и список) — размер шрифта 12;
- список ключевых слов (на русском и английском языках);
- материалы предоставляются в электронном и в напечатанном виде; автор также сообщает следующие сведения: тел., e-mail, место работы, должность, ученое звание и звание;
- рукописи принимаются ответственным секретарем серии после согласования с главным редактором серии или заместителем главного редактора серии;
- для сносок, отсылающих к ЛИТЕРАТУРЕ, использовать квадратные скобки [ ], например [5. С. 400]; список ЛИТЕРАТУРА формируется по алфавиту (сначала источники на русском языке, затем — на английском);
- формулы создаются в виде объектов редактором формул Equation 3.0, центрируются; нумерация, если она необходима, ставится справа в скобках; выравнивание по правому краю.

Небольшие формулы можно размещать не в отдельной строке, а в тексте. После формул нужно ставить знаки препинания в соответствии с орфографией. Не рекомендуется использовать в редакторе формул русские буквы. Греческие буквы рекомендуется всегда помещать в редактор формул в ненаклонном виде. Векторы изображаются полужирным прямым шрифтом. Размеры шрифта в Equation 3.0 следует установить следующие:

Размеры	
Обычный	11 пт
Крупный индекс	9 пт
Мелкий индекс	8 пт
Крупный символ	18 пт
Мелкий символ	11 пт

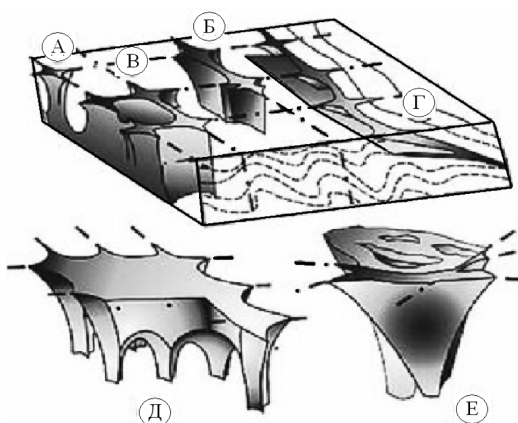
$$(1+B)^2 \sum_{p=1}^{kp} n_k$$

**Если эти требования не соблюдаются, то за неоднозначность прочтения формул во всех версиях издания ответственность несёт автор.**

На таблицы и рисунки в тексте должны быть ссылки. Таблицы должны иметь название, а рисунки — подрисуночные подписи.

Рисунок должен быть оформлен как отдельный объект в тексте статьи, **расположение поверх текста не допускается**; рисунок отделяется от текста сверху и снизу пустой строкой. Рекомендуются использовать черно-белую палитру, качество воспроизведения рисунков цветной палитры не гарантируется. **Если рисунок имеет серый фон** (частое явление после сканирования исходных рисунков), **то редакция за качество печати таких рисунков не отвечает**. Подпись центрируется, шрифт — 10 пт (смотри ниже). Для растровых рисунков шириной на всю страницу, рекомендуемое число пикселей по горизонтали от 500 до 2000. Символы на рисунке должны быть близки по размеру к основному тексту.

Образец оформления рисунка:



**Рис. 1.** Основные морфологические модели структурных ловушек и карстовых воронок в ложе россыпи (по Н.А. Шило [6]): А — одиночные воронкообразные тела; Б — линейные тела; В — сетчатые штокверки; Г — пластовые тела, локализованные вдоль надвиговых структур, межформационных контактов и границ литологически разнородных пород; Д — многокорневые структуры; Е — формы облекания тектонических трещин

В конце статьи (после раздела ЛИТЕРАТУРА) указывается на английском языке (или на русском языке, если статья на английском): название статьи; инициалы и фамилия автора; полный рабочий адрес автора, аннотация (3—4 строки) и ключевые слова.

Список литературы оформляется в соответствии с образцом, приведенном ниже. Если использованный источник имеет название на русском языке, то дополнительно выполняется транслитерация названия и всех выходных данных этого источника, заключенная в квадратные скобки. Транслитерация может быть выполнена по следующим стандартам ISO9:1995, ГОСТ 7.79-2000, ГОСТ 52535.1-2006.

Перед заголовком текст статьи должен иметь номер УДК (Универсальная десятичная классификация, появившаяся в результате дальнейшего развития "Десятичной классификации" М. Дьюи). Основные правила определения УДК можно найти на сайте <http://www.naukapro.ru/metod/htm> или другом сайте в Интернете.

Образец оформления заголовка:

УДК 550.4

## **ЙОДОМЕТРИЯ ПРИ ПОИСКАХ ЭНДОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**В.В. Дьяконов, А.Е. Котельников, В.Е. Марков, Е.Е. Котельников**

Кафедра МПИ  
Инженерный факультет  
Российский университет дружбы народов  
*ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198*

В статье изложена теоретические предпосылки применения йодометрии при поисках эндогенных месторождений, особенности поведения йода над рудными телами. Рассмотрен пример применения комплексного литогеохимического исследования вторичных ореолов над медно-порфировым месторождением и возможности использования йодометрии для поисков хромитовых руд.

**Ключевые слова:** геохимия, йодометрия, поиски месторождений

## **IODIMETRY METHOD OF ENDOGENOUS DEPOSITS SEARCH**

**V.V. Diakonov, A.E. Kotelnikov, V.E. Markov, E.E. Kotelnikov**

Department of Mineral Deposits, Engineering faculty  
Peoples' Friendship University of Russia  
*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

The article deals with the theoretical background for the application of iodometry search of endogenous deposits, particularly the behavior of iodine above the ore bodies. Given example of an

integrated research of lithogeochemical secondary halos over the porphyry copper deposits and the possibility of using iodometry for chromite ore search.

**Key words:** geochemistry, iodometry, deposits search

**Объем аннотации (abstract) должен быть не менее 200 (двухсот) слов.**

Образец оформления списка литературы:

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дмитриевский А.Н., Волож Ю.А., Баланюк И.Е., Карякин А.Е. Автоколебательная модель формирования месторождений гигантов (на примере Астраханского месторождения) // Докл. АН РФ. Сер. «Геология». 2001. Т. 381. № 3. С. 1—3.
- [2] Бродский А.Я., Пыхалов В.В., Тинакин О.В., Токман А.К., Комаров А.Ю. Развитие разрывных нарушений и зон очаговой трещиноватости и их влияние на распределение ФЕС отложений Астраханского свода // Газовая промышленность. 2010. № 5. С. 22—25.
- [3] Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных пластов и скважин / под ред. Г.А. Зотова, З.С. Алиева. М.: Недра, 1980. 301 с.

#### REFERENCES

- [1] Dmitrievskij A.N., Volozh Ju.A., Balanjuk I.E., Karjakin A.E. Self-oscillating model of the oramation of deposits giants (on the example of the Astrakhan Deposit). Reports AS RF. Ser. «Geology». 2001. T. 381. № 3. P. 1—3. [Dmitrievskij A.N., Volozh Ju.A., Balanjuk I.E., Karjakin A.E. Avtokolebatel'naja model' formirovanija mestorozhdenij gigantov (na primere Astrahanskogo mestorozhdenija). Dokl. AN RF. Ser. «Geologija». 2001. T. 381. № 3. S. 1—3.]
- [2] Brodskij A.Ja., Pyhalov V.V., Tinakin O.V., Tokman A.K., Komarov A.Ju. The development of faults and fracture zones of focal and their impact on the distribution of FES deposits of the Astrakhan arch. Gas industry. 2010. № 5. P. 22—25. [Brodskij A.Ja., Pyhalov V.V., Tinakin O.V., Tokman A.K., Komarov A.Ju. Razvitie razryvnyh narushenij i zon ochagovoj treshhinovatosti i ih vlijanie na raspredelenie FES otlozhenij Astrahanskogo svoda. Gazovaja promyshlennost'. 2010. № 5. S. 22—25.]
- [3] Instruction on complex research of gas and gas condensate formations and wells. Edited G.A. Zotov, Z.S. Aliev. M.: Nedra, 1980. 301 p. [Instrukcija po kompleksnomu issledovaniju gazovyh i gazokondensatnyh plastov i skvazhin. Pod red. G.A. Zotova, Z.S. Alieva. M.: Nedra, 1980. 301 s.]

Научный журнал

**ВЕСТНИК**  
**Российского университета**  
**дружбы народов**

**Серия:**  
**ИНЖЕНЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

**2016, № 4**

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-61174 от 30.03.2015 г.

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»  
(ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198)

Редактор *И.В. Успенская*  
Компьютерная верстка: *О.Г. Горюнова*

**Адрес редакции:**  
Российский университет дружбы народов  
ул. Орджоникидзе, д. 3, Москва, Россия, 115419  
Тел.: (495) 955-07-16; e-mail: ipk@pfur.ru

**Адрес редакционной коллегии**  
**серии «Инженерные исследования»:**  
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419  
Тел.: (495) 955-07-92  
E-mail: engjournalrudn@pfur.ru

---

Подписано в печать 14.12.2016. Выход в свет 28.12.2016. Формат 70×100/16.  
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «NewtonС».  
Усл. печ. л. 10,64. Тираж 500 экз. Заказ № 1461

Цена свободная.

Типография ИПК РУДН  
ул. Орджоникидзе, д. 3, Москва, Россия, 115419, тел. (495) 952-04-41

Scientific journal

**Peoples' Friendship  
University of Russia**

**RUDN Journal  
of Engineering Researches**

**2016, № 4**

Editor *I.V. Uspenskaya*  
Computer design: *O.G. Gorunova*

**Address of the editorial board:**  
Peoples' Friendship University of Russia  
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419  
Ph. +7 (495) 955-07-16; e-mail: ipk@pfur.ru

**Address of the editorial board**  
**Series «Engineering researches»:**  
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419  
Tel.: + (495) 955-07-92  
E-mail: engjournalrudn@pfur.ru

---

Printing run 500 copies

Open price.

**Address of PFUR publishing house**  
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419  
Ph. +7 (495) 952 0441

ф. СП-1

ФГУП «ПОЧТА РОССИИ»

АБОНЕМЕНТ на журнал

**18230**

(индекс издания)

**ВЕСТНИК РУДН**  
**Серия «Инженерные**  
**исследования»**

Количество  
комплектов:

на 2016 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

**ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА**

на журнал

**18230**

(индекс издания)

ПВ	место	литер

**ВЕСТНИК РУДН**

**Серия «Инженерные исследования»**

Стои- мость	подписки	_____ руб. ____ коп.	Количество комплектов:	
	переадресовки	_____ руб. ____ коп.		

на 2016 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)



ф. СП-1

ФГУП «ПОЧТА РОССИИ»

АБОНЕМЕНТ на журнал

--

(индекс издания)

**ВЕСТНИК РУДН**

Серия \_\_\_\_\_

Количество комплектов:

--

на 2016 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

**ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА**

ПВ	место	литер

на журнал

--

(индекс издания)

**ВЕСТНИК РУДН**

Серия \_\_\_\_\_

Стои- мость	подписки	_____ руб. ____ коп.	Количество комплектов:	
	переадресовки	_____ руб. ____ коп.		

на 2016 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

**ДЛЯ ЗАМЕТОК**

---