

# Евразийский Союз Ученых. Серия: технические и физико-математические науки

Ежемесячный научный журнал  
№ 1 (94)/2022 Том 1

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Макаровский Денис Анатольевич**

AuthorID: 559173

Заведующий кафедрой организационного управления Института прикладного анализа поведения и психолого-социальных технологий, практикующий психолог, специалист в сфере управления образованием.

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

• **Штерензон Вера Анатольевна**

AuthorID: 660374

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт новых материалов и технологий (Екатеринбург), кандидат технических наук

• **Синьковский Антон Владимирович**

AuthorID: 806157

Московский государственный технологический университет "Станкин", кафедра информационной безопасности (Москва), кандидат технических наук

• **Штерензон Владимир Александрович**

AuthorID: 762704

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт фундаментального образования, Кафедра теоретической механики (Екатеринбург), кандидат технических наук

• **Зыков Сергей Арленович**

AuthorID: 9574

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Отдел теоретической и математической физики, Лаборатория теории нелинейных явлений (Екатеринбург), кандидат физ-мат. наук

• **Дронсейко Виталий Витальевич**

AuthorID: 1051220

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Кафедра "Организация и безопасность движения" (Москва), кандидат технических наук

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Художник: Валегин Арсений Петрович  
Верстка: Курпатова Ирина Александровна

Адрес редакции:  
198320, Санкт-Петербург, Город Красное Село, ул. Геологическая, д. 44, к. 1, литера А  
E-mail: [info@euroasia-science.ru](mailto:info@euroasia-science.ru) ;  
[www.euroasia-science.ru](http://www.euroasia-science.ru)

Учредитель и издатель ООО «Логика+»  
Тираж 1000 экз.

# СОДЕРЖАНИЕ

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Нгуен Ван Хай, Нгуен Тьен Тхай</i> СИНХРОНИЗАЦИЯ SDR-ПРИЕМНИКОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПЕЛЕНГАЦИИ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ .....3	<i>Лебедев А.В.</i> РАСЧЕТ БАЛОК И ПЛИТ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ УПРУГОГО ПОЛУПРОСТРАНСТВА. ....21
<i>Нгуен Тьен Тхай, Нгуен Ван Хай</i> МЕТОДЫ ПЕЛЕНГАЦИИ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В МНОГОКАНАЛЬНОМ SDR- ПРИЕМНИКЕ .....8	<i>Кожин-Гребенщиков П.П., Маслов А.Р., Тивирев Е.Г.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ МОДУЛЬНОГО РАСТОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА.....26
<i>Алексеев А.Г., Пикалов В.А., Алексеев П.А.</i> МЕЖЛАБОРАТОРНОЕ СЛИЧЕНИЕ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА НА АЭС..... 13	<i>Кравченко Е.Д., Скопинцев А.В.</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МОДЕЛИ МНОГОУРОВНЕВЫХ АРХИТЕКТУРНО-СРЕДОВЫХ ОБЪЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДСКИХ АНСАМБЛЕЙ СИНГАПУРА) 31

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Гуров В.А., Кубанков А.Н.</i> ТЕОРИЯ СТРУН – ТЕОРИЯ ВСЕГО .....37
---

## АРХИТЕКТУРА

<i>Морозова Е.А., Марченко М.Н.</i> ТЕНДЕНЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ ОФИСНОГО ПРОСТРАНСТВА В ДИЗАЙНЕ ИНТЕРЬЕРА ..... 42	<i>Сухоленцева М.А., Марченко М.Н.</i> ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ДИЗАЙН- ПРОЕКТИРОВАНИЮ УСТОЙЧИВОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ .....47
---	--

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

УДК 621.396.67

**СИНХРОНИЗАЦИЯ SDR-ПРИЕМНИКОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПЕЛЕНГАЦИИ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ***Нгуен Ван Хай**к.т.н, Технический университет им. Ле Куи Дона,  
Социалистическая Республика Вьетнам**Нгуен Тьен Тхай**к.т.н, Технический университет им. Ле Куи Дона,  
Социалистическая Республика Вьетнам***SYNCHRONIZATION OF SDR-RECEIVERS FOR SOLVING THE PROBLEM OF DIRECTION FINDING OF RADIO EMISSION SOURCES***Nguyen Van Hai**PhD, Le Quy Don Technical University, Ha Noi, Vietnam**Nguyen Tien Thai**PhD, Le Quy Don Technical University, Ha Noi, Vietnam**DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2022.1.94.1616***АННОТАЦИЯ**

Рассмотрен алгоритм синхронизации независимых SDR-приемников, предназначенных для пеленгации источников радиоизлучения. Реализовано устройство и проверен алгоритм синхронизации.

**ABSTRACT**

The algorithm of synchronization of independent SDR-receivers intended for direction finding of radio emission sources is considered. The device has been implemented and the synchronization algorithm has been tested.

**Ключевые слова:** пеленгация, SDR-приемник, синхронизация.

**Key words:** Direction finding, SDR-receiver, synchronization.

**1. Введение**

Для решения задачи пеленгации источников радиоизлучения возможно использовать многоканальный приемник [1, 2]. Для обеспечения его работы необходимо синхронизировать каналы приемника. Потребность в создании недорого когерентного многоканального приемника, используемого в лаборатории, привела к идее использования нескольких дешевых программно-определяемый радиоприемник (SDR) на базе RTL2832u. Система приемников будет работать фазово-когерентной и предоставит пользователю доступ к нескольким радиоканалам. Эти когерентные приемники будут использованы в последующих алгоритмах обработки сигналов, требующих многоканальные данные, в том числе доступ к нескольким независимым радиоканалам одновременно.

В данной работе представлен модульный и доступный по цене когерентный многоканальный программно-определяемый радиоприемник для оценки направления прихода (DOA) сигналов. Разреженные массивы SDR-приемников могут достигать решения круг задач дорогостоящего массива, например, антенные решетки, с уменьшенным количеством элементов, что позволяют снижать требуемую структурную сложность разрабатываемого устройства. Кроме того, разреженные массивы SDR-приемников

способствуют значительному снижению стоимости, поскольку требуется меньше дорогостоящих входных каскадов RF-IF. Так же, представлены метод и схематическая реализация устройства синхронизации каналов.

**2. Анализ литературы по теме исследования**

Многоканальные когерентные приемопередатчики, основанные на коммерческих SDR-приемопередатчиках, обычно дороги для малобюджетных и лабораторных исследований [3]. В связи с этим для разработки многоканального приемника была идея его создания на основе недорого и легкодоступного приемника RTL-SDR. RTL-SDR, первоначально является тюнером USB DVB-T приемника, имеет квадратурный АЦП с частотой дискретизации до 2,56 МГц и 8-битным разрядом, небольшую полосу пропускания. С другой стороны, стоимость RTL-SDR в разы меньше по сравнению с платформами USRP или WARP [4], [5].

Разработанный многоканальный приемник позволяет реализовать многоканальные алгоритмы с большим количеством каналов (больше 4-х каналов), которые обычно доступны только в коммерческих SDR.

В области обработки сигналов массив датчиков позволяет разработать разные методы оценки направления прихода сигнала. Однако

разрешение по углу прихода сигнала и количество одновременно обнаруженных источников зависят от количества датчиков в массиве [6], [7].

RTL-SDR представляет собой архитектуру с низкой промежуточной частотой (ПЧ), состоящую из демодулятора RTL2832U и тюнера R820T/2. Хотя устройство выпускается с различными тюнерами от разных производителей, все из которых обычно называются RTL-SDR, предлагаемая конструкция работает только с моделями тюнеров R820T/2. Это связано с тем, что

тюнер R820T/2 позволяет отключить синтезатор частоты, который имеет решающее значение для синхронизации работы по фазе.

Как уже говорилось, многоканальный когерентный приемник основан на массиве приемников RTL-SDR, которые изначально являются отдельными модулями. Поэтому, приемники в многоканальной системе модифицированы для управления общим тактовым сигналом и подключены к эталонному генератору шума, как показано на рис. 1.



Рис.1. Структурная схема многоканального приемника на основе SDR-приемников

Основной целью работы является реализация устройства синхронизации каналов и эталонного генератора шума.

### 3. Устройство синхронизации, генератор шума

Насколько известно, первые успешные попытки достижения фазовой когерентности для нескольких RTL-SDR были представлены в работе над недорогим пассивным радаром [8]. При этом у одного из приемников был удален кристалл. Контакт входа тактирования этого приемника был подключен через емкостную связь к выходу тактирования кристалла ведущего приемника. Как только приемники синхронизировались от общего источника тактирования, их потоки также синхронизировались с общим опорным сигналом тактирования. Данный подход удовлетворен для массива из нескольких приемников (небольше 3), поскольку кристалл ведущего приемника не может

подавать необходимый ток для управления входной емкостью, возникающей из-за массива параллельных ведомых устройств без буферизации.

Для достижения большего числа подключения параллельных ведомых устройств был добавлен буфер выходного сигнала тактирования от главного кристалла с логическими инверторами серии 74 [9]. В его работе общий эталонный шумовой сигнал передавался через индуктивную связь на ведомые приемники, а на ведущий поступал напрямую.

Предлагаемая здесь конструкция продолжается в том же направлении, с отдельными генератором тактовых импульсов и эталонного генератора шума. Кристаллы всех SDR-приемников будут удалены и подключены к общему генератору тактовых импульсов. Концепция построения устройства синхронизации и генератора шума изображена на рис. 2.

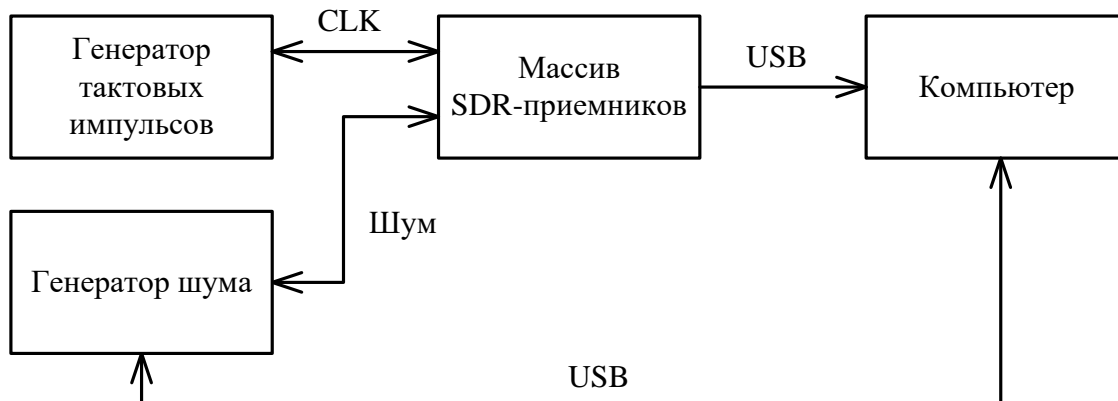


Рис.2. Концепция построения устройства синхронизации и генератора шума

Шум распространяется на приемники с помощью направленных ответвителей на антенные

линии. Это позволяет выравнивать потоки отсчетов сигналов по времени и фазе использованием

взаимной корреляции. Мы просто находим максимум кросс-корреляционной оценки для каждого сигнального вектора  $x$ . Чтобы ограничить вычислительную нагрузку на хост-компьютер, выполняющий обработку, сдвиг синхронизации потока сигнала выполняется путем настройки аппаратного передискретизатора RTL-SDR, изначально предназначенного для исправления смещения несущей частоты. Чтобы еще больше снизить нагрузку на обработку, расчет корреляции отключается, как только данный сигнальный канал считается синхронизированным по времени.

#### 4. Реализация генератора тактовых импульсов

Все RTL-SDR приемники тактируются от одинакового кристалла с частотой 28,8 МГц. Было

несколько методов генерации тактовых импульсов – усиление сигнала от одного кристалла 28,8 МГц [9] или создание генератора на основе микросхемы Si5351 [10]. Локальный генератор 28,8 МГц [10] имеет низкое качество, значительный сдвиг частоты и температурный дрейф. Для исправления этого, генератор синхроимпульсов можно заменить на более качественный, например генератор на основе Si5351 [10]. Микросхема Si5351 представляет собой схему генератора тактовых импульсов, которая способна генерировать практически любую частоту до 200 МГц со смещением 0 ppm от кристалла TCXO 25 МГц. Для подключения платы Si5351 к RTL-SDR используется разъем SMA, установленный на краю с конденсатором 10 нФ.

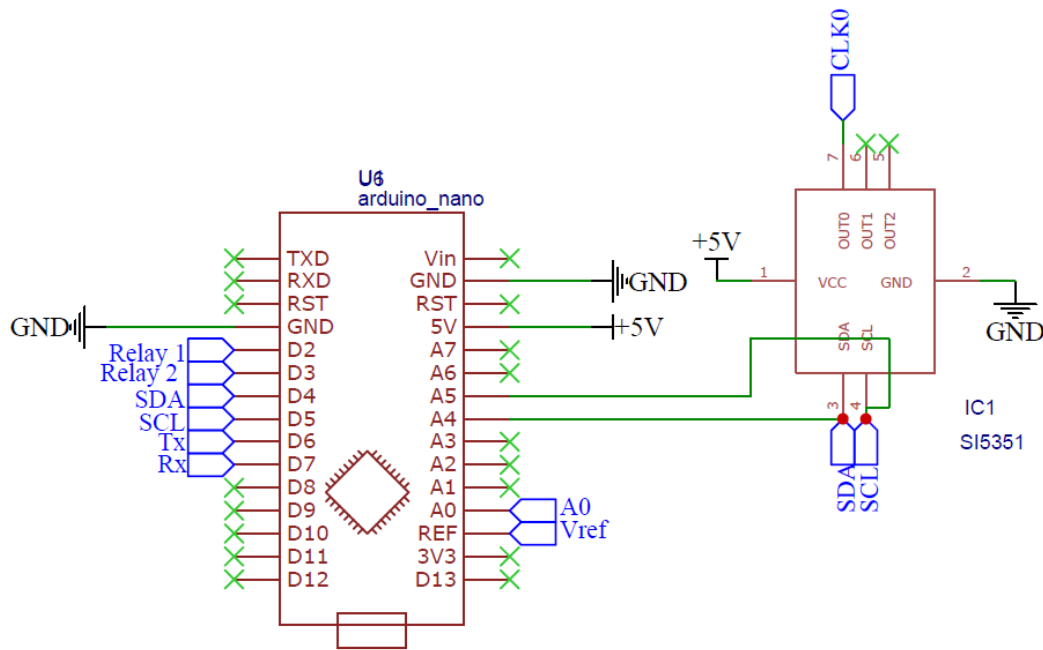


Рис. 3. Принципиальная схема генератора тактовых импульсов 28,8 МГц

В разработанной системе генератор тактовых импульсов полностью отделен от массива приемников. У всех приемников будет удален кристалл и они будут тактироваться отдельным

генератором на микросхеме Si5351, принципиальная схема которого показана на рис.3, а его плата на рис. 4, осциллограмма тактового сигнала на рис.5.

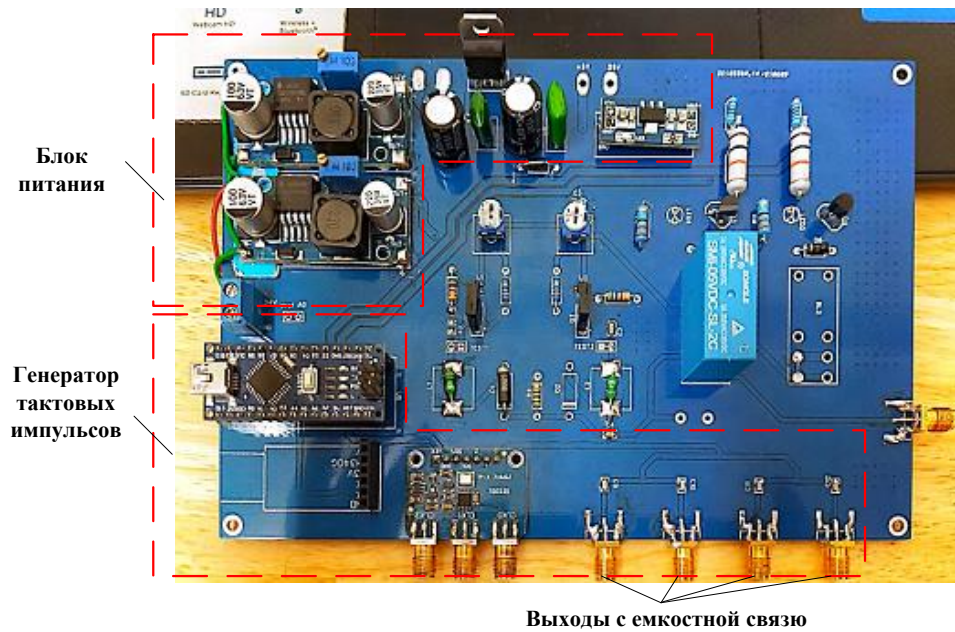


Рис.4. Плата генератора тактовых импульсов

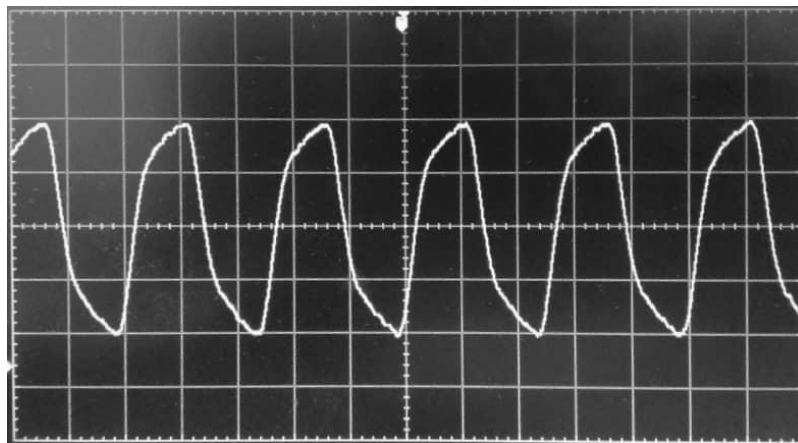


Рис.5. Осциллограмма тактового сигнала с частотой 28,8 МГц

### 5. Реализация генератора шума

Общий опорный сигнал, используемый при синхронизации, должен иметь низкую временную автокорреляцию. Для идеального процесса белого шума  $W(t)$  автокорреляцией является дельта-функция Дирака.

Известно, что диод Зенера производит шум при обратном смещении. То есть превышено напряжение пробоя стабилитрона и ток течет от катода к аноду. На рис. 6 показан принцип работы схемы генератора шума на стабилитроне.

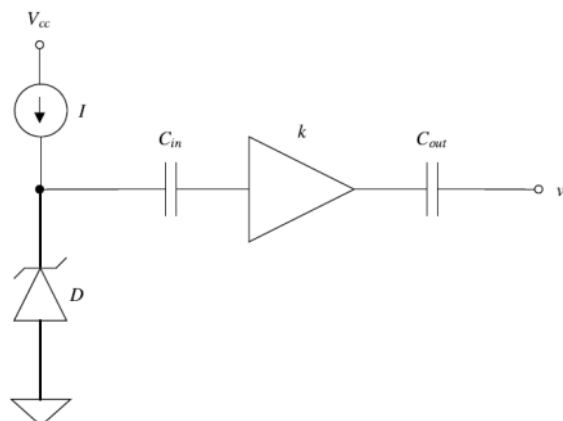


Рис.6. Принцип работы схемы генератора шума на стабилитроне

Емкость  $C_{in}$  предотвращает поступление напряжения смещения постоянного тока на вход усилителя,  $C_{out}$  блокирует потенциальное смещение постоянного тока на выходном каскаде усилителя. В конструкции прототипа, основанной на [11], 24-вольтовый стабилитрон создает слабое шумовое

напряжение, которое затем усиливается цепочкой из трех широкополосных усилителей ММІС. В данной работе используются 3 широкополосные усилители ММІС. Плата генератора белого шума представлена на рис.7, а на рис.8 осциллограмма выходного шума.

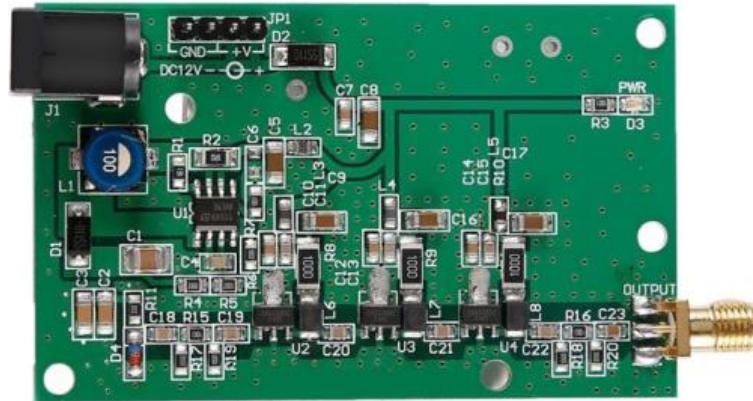


Рис.7. Плата генератора шума

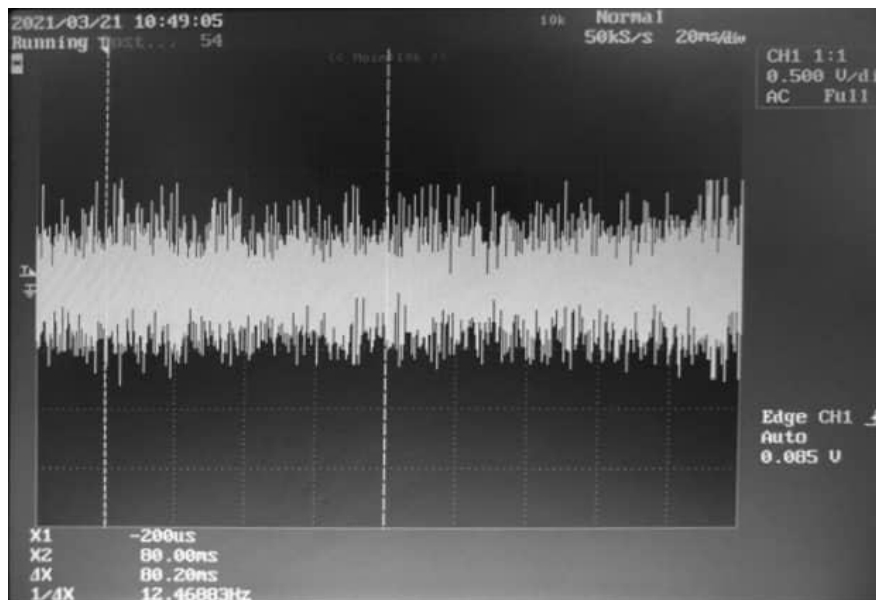


Рис.8. Осциллограмма выходного шума

### Заключение

Работа проводилась с использованием весьма неидеального перепрофилированного радиооборудования. Несмотря на это, массив недорогих SDR был успешно доведен до фазовой когерентности. Тесты показали, что реализация работает, несмотря на недостатки источника шума. Созданный здесь приемник использовался в экспериментах по оценке направления прихода сигнала.

### Список литературы

- [1] Лиепинь У.Р., Головина Л.В., Куприй В.М. Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках, работающих в среде с флуктуирующими электродинамическими параметрами // Радиоэлектроника (Изв. высш. уч. завед.). – 2001. – № 2. – С. 25 – 32.
- [2] Solomon I S.D., Gray D.A., Abramovic

Y.M., Anderson S.I. Receiver Array calibration using disparate sources // IEEE Trans. Sign. Proc. – 1999. – Vol. 47, № 3. – P. 496 – 505.

[3] S. Malkowsky et al., "The World's First Real-Time Testbed for Massive MIMO: Design, Implementation and Validation," in IEEE Access, vol. 5, pp. 9073-9088, 2017.

[4] P. Murphy, A. Sabharwal and B. Aazhang, "Design of WARP: A wireless open-access research platform," 2006 14th European Signal Processing Conference, Florence, 2006, pp. 1-5.

[5] M. Laakso, "Multichannel coherent receiver on the RTL-SDR," M.Sc. Thesis, Sch. of Electrical Engineering, Aalto Univ., Espoo, 2019. Available: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/37163>

[6] C. Liu and P. P. Vaidyanathan, "Super Nested Arrays: Linear Sparse Arrays With Reduced Mutual Coupling—Part I: Fundamentals," in IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 64, no. 15, pp.

3997-4012, 1 Aug.1, 2016.

[7] R. Rajamaki and V. Koivunen, "Comparison of Sparse Sensor Array Configurations with Constrained Aperture for Passive Sensing," 2017 IEEE Radar Conference (RadarConf), Seattle, WA, 2017, pp. 0797- 0802.

[8] J. Vierinen, "Passive radar with \$16 dual coherent channel rtl-sdr dongle receiver." Internet: <http://kaira.sgo.fi/2013/09/passive-radar-with-16-dual-coherent.html>, Sep. 26, 2013 [Jan. 13, 2019].

[9] T. Peltola, "Synchronized RTL-SDR Receivers." Internet:

[https://github.com/tejeez/rtl\\_coherent](https://github.com/tejeez/rtl_coherent), Jul. 6, 2016 [Sep. 29, 2018].

[10] Noori BniLam; Dennis Joosens; Jan Steckel; Maarten Weyn, "Low Cost AoA Unit for IoT Applications", 2019 13th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)

[30] L. Sliwczynski, "Zener diode and MMICs produce true broadband noise." Internet: <https://www.edn.com/design/test-and-measurement/4358938/Zener-diode-and-MMICs-produce-true-broadband-noise>, Oct. 14, 1999 [Oct. 3, 2018].

УДК 621.396.67

---

## МЕТОДЫ ПЕЛЕНГАЦИИ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В МНОГОКАНАЛЬНОМ SDR-ПРИЕМНИКЕ

---

*Нгуен Тьен Тхай*

*к.т.н, Технический университет им. Ле Куи Дона,  
Социалистическая Республика Вьетнам*

*Нгуен Ван Хай*

*к.т.н, Технический университет им. Ле Куи Дона,  
Социалистическая Республика Вьетнам*

## DIRECTION FINDING METHODS FOR RADIO EMISSION SOURCES IN A MULTI-CHANNEL SDR RECEIVER

*Nguyen Tien Thai*

*PhD, Le Quy Don Technical University,  
Ha Noi, Vietnam*

*Nguyen Van Hai*

*PhD, Le Quy Don Technical University,  
Ha Noi, Vietnam*

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2022.1.94.1617

### АННОТАЦИЯ

Рассмотрены методы пеленгации источников радиоизлучения, используемые в многоканальном SDR-приемнике. Для проверки работоспособности методов были реализованы алгоритмы пеленгации в средах GNUradio.

### ABSTRACT

The methods of direction finding of radio emission sources used in a multichannel SDR receiver are considered. To test the performance of the methods, DOA algorithms were implemented in the GNU radio and Matlab environments.

**Ключевые слова:** пеленгация, SDR-приемник, синхронизация.

**Key words:** Direction finding, SDR-receiver, synchronization.

### 1. Введение

Сегодня беспроводная технология находит все более широкое применение во многих областях, от военных до гражданских. Это затрудняет контроль источников радиоизлучения. Поэтому потребность в создании оборудования для разведки, пеленгации и местонахождения источников радиоизлучения возрастает, особенно в конкретных областях, таких как военной и безопасности [1, 2].

Одним из актуальных новых направлений в области радиосвязи является разработка оборудования на базе технологии SDR (Software-Defined Radio). Под SDR понимается программно определяемое радио, т.е. структура, параметры радиоприемника или передатчика изменяются программно. Преимуществом этой технологии

является ее высокая адаптивность, реагирующая на быстро меняющиеся электронные ситуации [2].

В настоящее время, исследование приемников пеленгации на основе технологии SDR является новым направлением во Вьетнаме. С такими приемниками можно решить множество различных задач, таких как: приемники панорамной разведки; пеленгование и местонахождения источников радиоизлучения; измерение, анализ параметров сигнала и т. д. В данной работе представлены современные методы пеленгации источника радиоизлучения, которые могут быть использованы в приемниках пеленгации мягкой конфигурации на технологии SDR.

### 2. Обзор литературы по теме

В настоящее время, в приемниках пеленгации используется множество различных методов



определения направления источника радиоизлучения. Некоторые из популярных методов включают [2]:

**-методы, которые реализуются на основе механически подвижных, вращающихся антенн:**

- + пеленгаторы по максимуму сигнала;
- + пеленгаторы по минимуму сигнала;
- + доплеровские пеленгаторы;
- двухканальное автоматическое пеленгование (пеленгаторы Edcock/Watson-Wat);
- квазидоплеровское пеленгование;
- фазовые интерферометры;
- корреляционные интерферометрические измерители;
- алгоритмы высокого разрешения Bartlett, Capon, MUSIC, ESPRIT vv.

В приведенных методах широко используются алгоритмы MUSIC, Capon, ESPRIT, Bartlett... благодаря их высокой избирательности. Они легко реализуются на цифровых микросхемах или компьютерах. Поэтому, эти алгоритмы подходят для решения задачи пеленгования в SDR-приемниках. Ниже приводится обзор некоторых из вышеперечисленных методов: MUSIC, Root-MUSIC.

### 3. Математическая модель сигнала

Схема многоканального устройства представлена на рис. 1 [2, 3], на котором показаны  $M$  источников радиоизлучения с  $M$  разных направлений прихода  $\theta_m, (m = 1, 2, \dots, M)$  и линейная антенная решетка с  $N$  одинаковыми элементами, распределенными друг от друга на расстояние  $d$ .

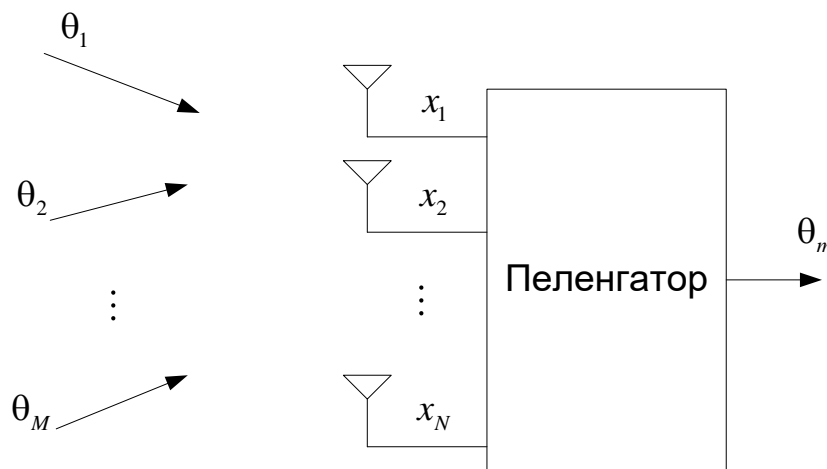


Рис.1. Схема многоканального устройства пеленгации

Эта решетка принимает сигнал дальнего поля, падающий на решетку под углом  $\theta$  к оси решетки. Принимая первый элемент в качестве эталона. Если приемный сигнал в первом элементе  $x_1(t) = s(t)$ , то в  $i$ -ом элементе он задерживается на величину:

$$\tau_i = \frac{(i-1)d \sin \theta}{c} \tag{1}$$

Тогда сигнал в  $i$ -ом элементе:

$$x_i(t) = x_1(t)e^{-j2\pi f \tau_i} = s(t)e^{-jkd(i-1) \sin \theta} = s(t)e^{-j(i-1)\psi} \tag{2}$$

где  $k = 2\pi/\lambda$  – волновое число;  $\psi = 2kd \sin \theta$ . Сигналы принимаются в  $N$  элементах антенной решетки:

$$\mathbf{x}(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \vdots \\ x_N(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{-j\psi} \\ \vdots \\ e^{-j(N-1)\psi} \end{bmatrix} s(t) = \mathbf{a}(\theta)s(t) \tag{3}$$

где  $\mathbf{a}(\theta)$  с – сканирующий вектор.

Если имеется  $M$  источников излучения, то модель сигнала, принятого в антенной решетке:

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{A}(\theta)s(t), \tag{4}$$

где  $\mathbf{A}$  – матрица сканирующих векторов,  $\mathbf{A} =$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ e^{-j2\psi_1} & e^{-j2\psi_2} & \dots & e^{-j2\psi_M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e^{-j(N-1)\psi_1} & e^{-j(N-1)\psi_2} & \dots & e^{-j(N-1)\psi_M} \end{bmatrix} \tag{5}$$

### 4. Методы пеленгации

#### 4.1. MUSIC

MUSIC (Multiple Signal Classification) – популярный алгоритм высокого разрешения, основанный на методе собственных структур. Основная идея этого алгоритма DOA заключается в выполнении декомпозиции по собственным значениям корреляционной матрицы [3], [4], разделяющей ее на два подпространства: подпространство сигналов и подпространство шума.

Основным подходом этого алгоритма является разложение матрицы ковариации принятого сигнала на собственные значения. Поскольку этот алгоритм учитывает некоррелированный шум, порожденная ковариационная матрица имеет

диагональный вид. Здесь подпространства сигнала и шума вычисляются с использованием линейной алгебры, и являются ортогональными друг другу. Поэтому алгоритм использует свойство ортогональности для выделения сигнальных и шумовых подпространств [5].

Путь принятый сигнал в антенной решетке с шумом:

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{A}(\theta)\mathbf{s}(t) + \mathbf{n}(t) \quad (6)$$

Вычисление ковариационной матрицы:

$$\mathbf{R}_{xx} = \varepsilon\{\mathbf{x}(t)\mathbf{x}^H(t)\} = \mathbf{A}\mathbf{R}_{ss}\mathbf{A}^H + \sigma_0^2\mathbf{I} \quad (7)$$

где  $\mathbf{R}_{ss} = \varepsilon\{\mathbf{s}(t)\mathbf{s}^H(t)\} = \text{diag}\{\sigma_1^2, \dots, \sigma_M^2\}$ .

$\mathbf{R}_{xx}$  имеет  $N$  собственных значений  $[\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N]$  и  $N$  собственных векторов, образующих подпространство  $\bar{\mathbf{E}} = [\bar{\mathbf{e}}_1, \bar{\mathbf{e}}_2, \dots, \bar{\mathbf{e}}_N]$ . Сортируя  $N$  собственных значений от наименьшего к наибольшему, подпространство  $\bar{\mathbf{E}}$  можно разбить на два подпространства:

$$\begin{aligned} \bar{\mathbf{E}} &= \underbrace{[\bar{\mathbf{e}}_1, \bar{\mathbf{e}}_2, \dots, \bar{\mathbf{e}}_M]}_{\mathbf{E}_N} , \underbrace{[\bar{\mathbf{e}}_{M+1}, \dots, \bar{\mathbf{e}}_N]}_{\mathbf{E}_S} \\ &= [\bar{\mathbf{E}}_N \ \bar{\mathbf{E}}_S] \end{aligned} \quad (8)$$

$\bar{\mathbf{E}}_N$  – шумовое подпространство  $N \times (N - M)$ , состоящее из собственных векторов, связанных с шумом,  $\bar{\mathbf{E}}_S$  – сигнальное подпространство  $N \times M$ , состоящее из собственных векторов, связанных с поступающим сигналом.

Из-за ортогональности шумового подпространства и сканирующих векторов антенной решетки при углах прихода  $\theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_M\}$ , матричное произведение  $\mathbf{a}^H(\theta)\mathbf{E}_N\mathbf{E}_N^H\mathbf{a}(\theta)$  равно нулю для этих углов. Обратная величина этого матричного произведения дает острые пики для углов прихода. Таким образом, псевдоспектр MUSIC задается как

$$P(\theta) = \left| \frac{1}{\mathbf{a}^H(\theta)\mathbf{E}_N\mathbf{E}_N^H\mathbf{a}(\theta)} \right| \quad (9)$$

#### 4.2. Root-MUSIC

Метод *MUSIC* является предельным случаем метода *Capon* при стремящемся к бесконечности отношении сигнал/шум. Но появляется необходимость предварительной оценки размерности сигнального и шумового подпространств. Он критичен к неопределенностям параметров математической модели и величине соотношения сигнал/шум, когда источники близко расположены. Отметим большую вычислительную

сложность метода, определяемую вычислением сингулярного разложения ковариационной матрицы выходов элементов антенной решетки. Метод не дает результатов для коррелированных источников сигналов. *Root-MUSIC* позволяет осуществлять пеленгацию когерентных сигналов [5].

Алгоритм метода *Root-MUSIC* для оценки угловых координат следующий:

1. оценить корреляционную матрицу  $\mathbf{R}$  используя формулу (7);

2. оцениваются матрицы собственных векторов и собственных значений корреляционной матрицы  $\mathbf{R} = \mathbf{E}\mathbf{L}\mathbf{E}^H$ . Операция выполняется сингулярным разложением корреляционной матрицы сигнала;

3. разделяется  $\mathbf{E}$  так, чтобы получить  $\mathbf{E}_N$ . Для этого из матрицы  $\mathbf{E}$  выбрасывают первые  $M$  столбцов, которые соответствуют сигнальному подпространству;

4. получить  $\mathbf{C}_l$  путём суммирования  $l$ -ой диагонали  $\mathbf{C} = \mathbf{E}_N\mathbf{E}_N^H$ ,

5. найти нули полученного полинома в количестве  $(N-1)$  пар;

6. из  $(N-1)$  корней внутри единичной окружности выбрать  $M$  расположенных наиболее близко к самой линии окружности;

7. получить оценку угловых координат цели, используя выражение (10)

$$\theta_m = \cos^{-1} \left( \frac{1 \ln(z_m)}{\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)d} \right), m = 1, \dots, M \quad (10)$$

где  $z_m$  –  $m$ -ый найденный корень.

#### 5. Результаты моделирования

Моделирование приводится в среде GNU-radio [6], которая будет использоваться для разработки пелегатора на основе приемниках RTL-SDR. Данный алгоритм в GNU-radio также используется в пелегатора с данными, полученными в каналах приемника.

В работе реализуется пелегатор с 4 каналами. В качестве входные данные используются сигналы, сгенерированные в среде Matlab и сохранены в файлах, сигнал в каждом канале задержен на соответствующее время (соответственно угол прихода сигнала). Коррелятор реализуется на основе использования БПФ, схема которого представлена на рис. 2. Схема пелегатора приведена на рис. 3, блоки реализации алгоритмов MUSIC и Root-MUSIC были написаны в языке python затем преобразованы в блоках среды GNU-radio. Пример результат определения угла прихода приведен на рис.4.

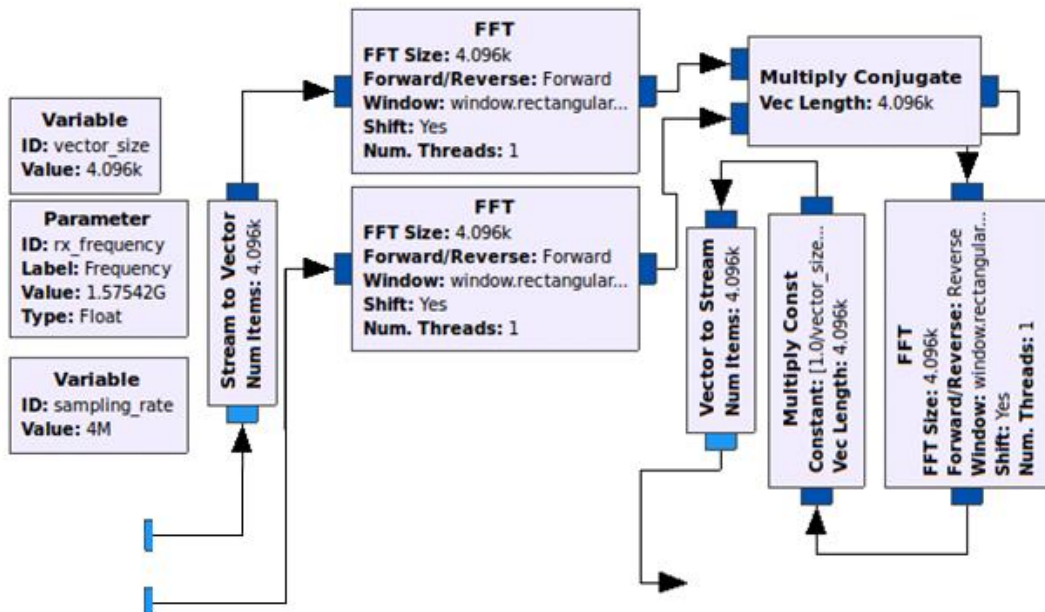


Рис.2. Схема реализации блока взаимнокорреляции на основе БПФ

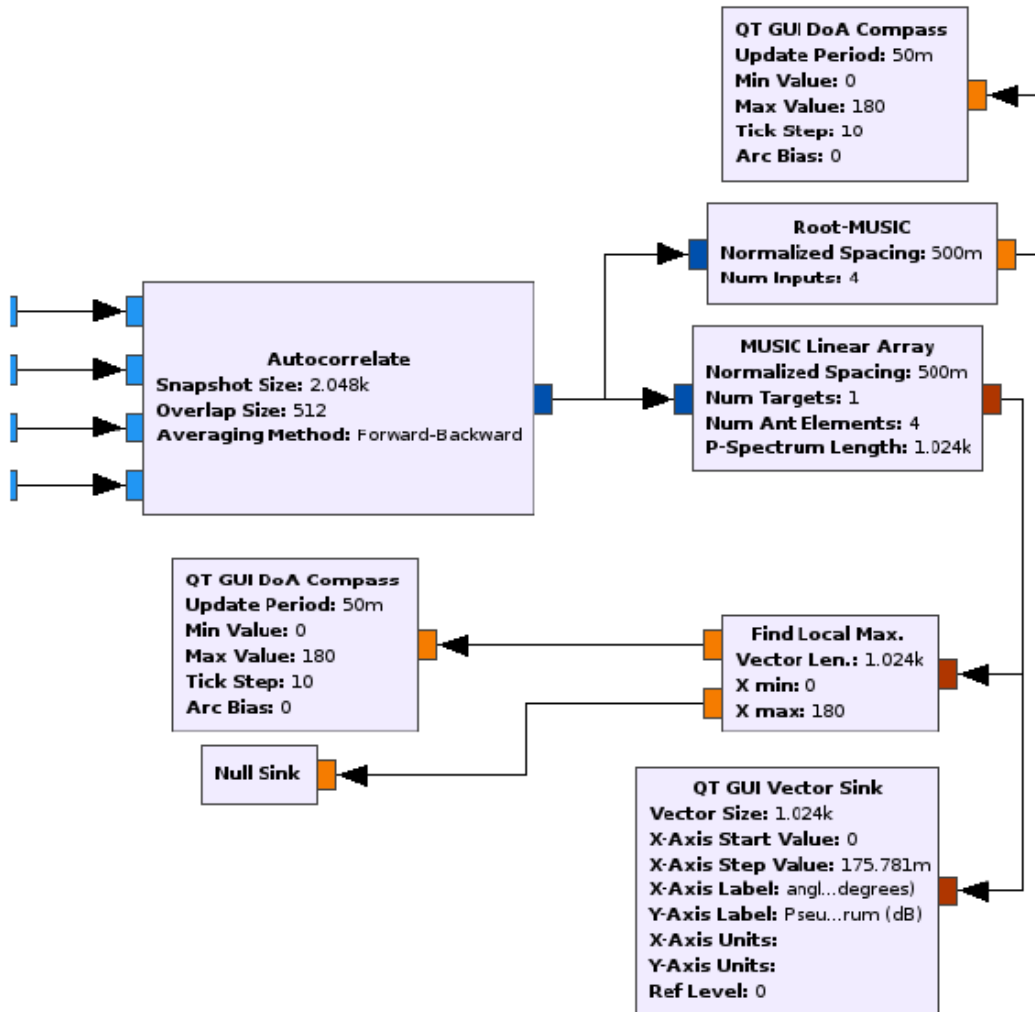


Рис.3. Схема реализации пеленгатора в среде GNU-radio

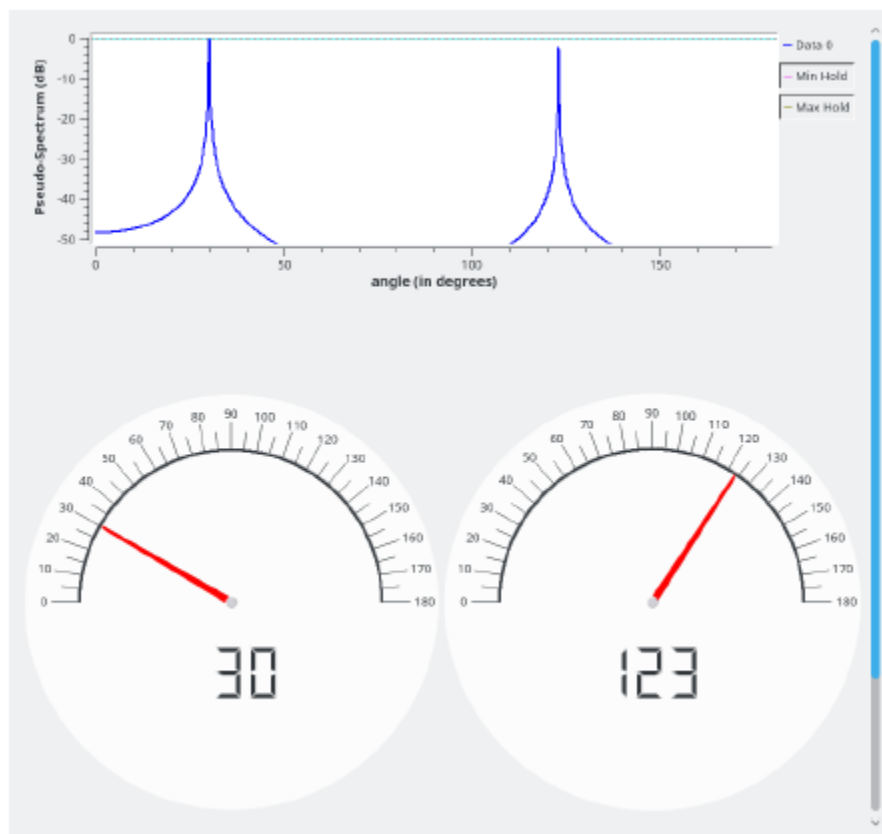


Рис.4. Пример результата определения угла прихода сигнала

### Заключение

В практике пеленгования наиболее часто используются методы MUSIC (а также его разновидность ROOT-MUSIC) и ESPRIT. При этом разрешающая способность методов ROOT-MUSIC превосходит разрешающую способность метода MUSIC, однако методы параллельного анализа требуют значительных вычислительных затрат.

### Список литературы

[1] Ашихмин, А. В.; Козьмин, В. А.; Негроров, В. В., Пастернак, Ю. Г.; Рембовский, Ю. А. Анализ перспективных направлений развития методов оценки угловых координат источников радиоизлучения. Вестник Воронежского государственного технического университета, Т. 5, № 9, 2009. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/analiz-perspektivnyh-napravleniy-razvitiya-metodov-otsenki-uglovyh-koordinat-istochnikov-radioizlucheniya>.

[2] Рембовский А.М., Лшихмин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства/Под редакцией А.М. Рембовского. - М: Горячая линия-Телеком. 2006. -492 с.

[3] A. Vesa, "Direction of arrival estimation using music and root-music algorithm," in 18th Telecommunication forum TELFOR, November 2010.

[4] X. Gu and Y. H. Zhang, "Resolution threshold analysis of music algorithm in radar range imaging," Progress In Electromagnetics Research B, vol. 31, pp. 297–321, 2011.

[5] Москалец Н. В. Сравнительный анализ методов оценки направления прихода сигналов / Н. В. Москалец // Радиотехника: Всеукраинский межведомственный науч.-техн. сборник № 188 / Харьков, 2017.

[6] Blossom E. GNU Radio: Tools for Exploring the Radio Frequency Spectrum. Linux Journal. URL: <http://www.linuxjournal.com/article/7319> (дата обращения 20.09.2018).

**МЕЖЛАБОРАТОРНОЕ СЛИЧЕНИЕ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА НА АЭС***Алексеев Александр Григорьевич**старший научный сотрудник,**«НИИ Курчатовский институт»-ИФВЭ, г.Протвино**Пикалов Владимир Александрович**Ведущий инженер**«НИИ Курчатовский институт»-ИФВЭ, г.Протвино**Алексеев Павел Александрович**старший научный сотрудник, ктн**АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», г.Обнинск***INTECCOMPARISON OF PERSONAL DOSIMETRY SYSTEMS FOR CHRONIC EXPOSURE OF PERSONNEL AT RUSSIA NPP***Alexeev A.G.**Pikalov V.A.**NRC «Kurchatov Institute» – IHER**Alexeev P.A.**JSC "SSC RF – IPPE"*DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2022.1.94.1618**АННОТАЦИЯ**

В 2021г. проведено очередное сличение средств индивидуального дозиметрического контроля хронического облучения персонала на АЭС. Работа выполнена совместно ООО «АПИ», МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, МГУ. Участие в межлабораторном сличительном испытании является безусловным обязательным критерием при её аккредитации в национальной системе аккредитации. В сличении участвовали 11 АЭС АО «Концерн Росэнергоатом». Обсуждается программа проведения сличения. Был выполнен статистический анализ результатов. По результатам сличения каждому участнику было выдано свидетельство.

**ABSTRACT**

Within the framework of 2021, a comparison of the means of personal dosimeter control of chronic exposure of personnel at the NPP was carried out. The work was carried out jointly by ООО "API", MRRC im. A.F. Tsyba is a branch of the Federal State Budgetary Institution "National Medical Research Center of Radiology" of the Ministry of Health of Russia, Moscow Participation in an interlaboratory comparison test is an absolute mandatory criterion for its accreditation in the national accreditation system. 11 nuclear power plants of Rosenergoatom Concern JSC participated in the comparison. The comparison program is being discussed. A statistical analysis of the results was performed. According to the results of the comparison, each participant was issued a certificate.

**Ключевые слова:** фотоны, межлабораторное сличительное испытание, индивидуальный дозиметр, АЭС

**Keywords:** gamma radiation, intercomparison, personal dosimeter, NPP

**ВВЕДЕНИЕ**

В 2021г. было проведено очередное (4-е) межлабораторное сличительное испытание (МСИ) по измерению индивидуального эквивалента дозы Нр(10) фотонного излучения (объект контроля - персонал) среди отделов радиационной безопасности (ОРБ) атомных станций (АС) АО Концерн «Росэнергоатом». В соответствии с [1] участие испытательной лаборатории в МСИ является безусловным обязательным критерием при её аккредитации.

На момент 01 мая 2021 года реестр аккредитованных лиц содержит 19 записей о провайдерах межлабораторных сличительных испытаний [2]. Программы проверки квалификации в области радиационного контроля проводят две организации. На 21 января 2022г. в реестре Федеральной службы аккредитации [3] предлагают 2 программы МСИ (Программы проверки квалификации лабораторий) по радиологическому показателю: суммарная альфа- и

бета- активность и удельная активность цезия – 137 и стронция – 90. Для объекта «персонал, измерение Нр(10) фотонного излучения» в настоящее время в национальной системе аккредитации (НСА) нет провайдера с программой МСИ для данного объекта. Тем не менее, несколько не аккредитованных в НСА организаций (как организаторы МСИ) предлагают свои программы МСИ по данному объекту и проводят МСИ (например [2]).

Учитывая предыдущий опыт АО Концерн «Росэнергоатом» (Заказчик) ставит перед организатором сличения новые условия по техническому исполнению программы МСИ.

В данной работе рассмотрены методические особенности программы МСИ, способ реализации программы, результаты МСИ.

**МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ**

Первые два МСИ (1998 и 2001гг.) были проведены до того, как была организована НСА [4, 5]. Начиная с 3-го МСИ [6] (2016г.) Заказчик

дополнительно предъявляет условия обязательной калибровки или облучения с использованием Государственного первичного эталона единиц поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы фотонного и электронного излучений ГЭТ 38-2011. Для настоящего МСИ добавлены условия, что погрешность передачи единицы Нр(10) не превышает 5%, при этом облучение должно проводиться в условиях значительного (заметного) вклада рассеянного фотонного излучения. Таким образом, программа МСИ должна была включать не стандартную процедуру передачи единицы Нр(10), так как геометрия и конструкция рабочих эталонов единиц поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы фотонного излучения сделана таким образом, что бы вклад рассеянного излучения был минимальный. Надо отметить, что

требование проводить МСИ с использованием установки, где большой вклад рассеянного излучения- оправдан. Так, например, на рис.1 приведен измеренный спектр гамма квантов (аппаратурный спектр гамма-спектрометра) в реакторном зале Смоленской АЭС (2й энергоблок). Измерения выполнены авторами в ноябре 2021г. Видно, что основной вклад в спектр дают гамма кванты с энергией ниже 0,3 МэВ, т.е. рассеянное излучение. Вклад гамма-линий 60-кобальта и 137-цезия – незначителен.

Кроме того, переход от единицы поглощенной дозы к Нр(10) выполняется расчетным способом с использованием коэффициентов, величина которых зависит от энергии гамма-квантов, а неопределенность величины неизвестна.

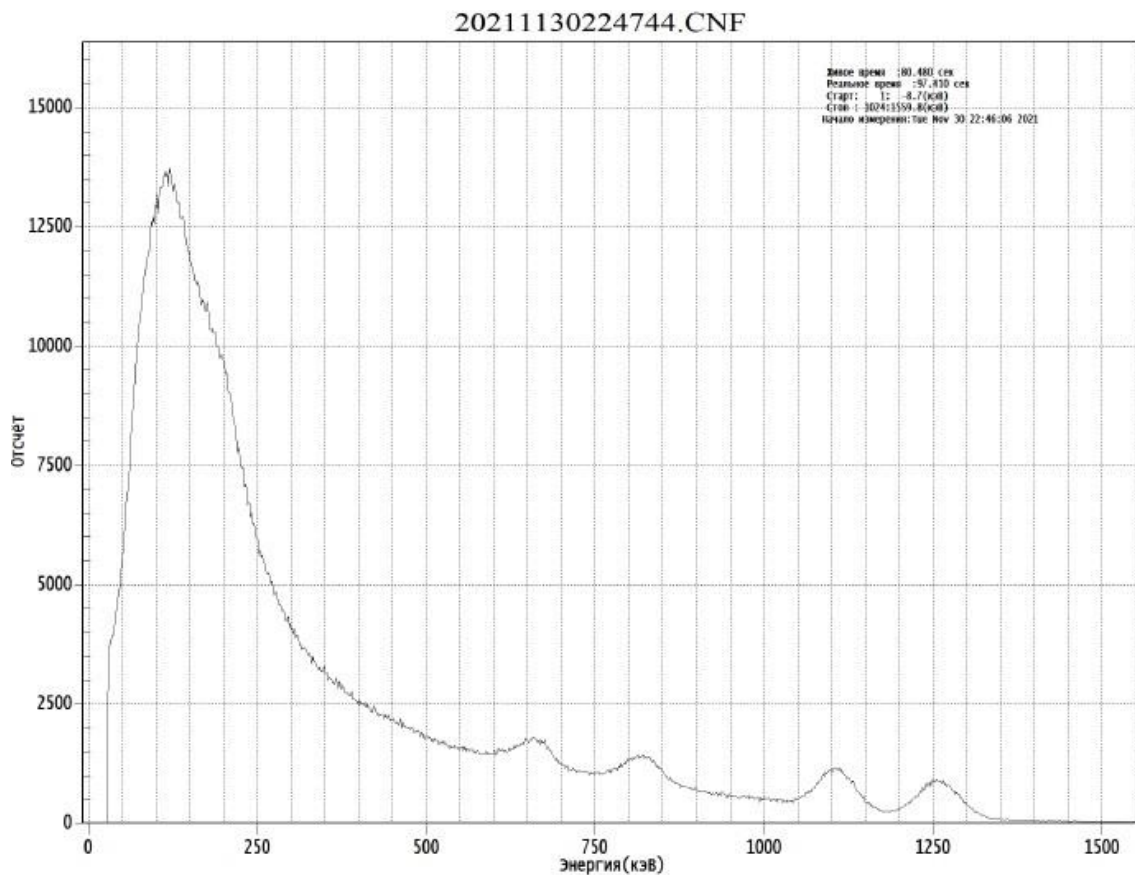


Рисунок 1- Спектр гамма квантов в центральном реакторном зале 2-го энергоблока Смоленской АЭС,

Ниже представлена схема выполнения программы МСИ, реализованная в настоящей работе.

#### Используемые средства измерения

При проведении МСИ использовались средства измерения (СИ), представленные в таблице 1.

Таблица 1

<b>Используемые СИ</b>		
№	Наименование	Область использования
1	Государственный первичный эталон единиц поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы фотонного и электронного излучения ГЭТ 38-2011. (ВНИИФТРИ) Погрешность передачи единицы 3%.	Для калибровки и поверки
2	Облучательная установка. Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба.	Для облучения.
3	ТЛД ( ДТГ-4 в кассете ДТУ); HARSHAU-3500 ( принадлежит МГУ) .	В качестве компаратора
4	PTW Unidos Webline T10021 (Рег. № 37971-08) Зв№ 000674, поверен №4/410-2893-20 (до 19 ноября 2022г.) предел относительной погрешность 2% при (P=0,95, охвате 2).	В качестве компаратора

#### **Использование компараторов**

В работе использовались два компаратора:

– ТЛД (ДТГ-4 в кассете ДТУ); считывание показаний осуществлялось с помощью HARSHAU-3500 (МГУ, г.Москва);

– ионизационная камера ТМ30013 в составе дозиметра универсального PTW Unidos Webline T10021, Рег. № 37971-08. (МРНЦ им. А.Ф. Цыба (г.Обнинск).

Ионизационная камера поверена на государственном первичном эталоне единиц поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы фотонного и электронного излучения ГЭТ 38-2011, предел относительной погрешность 2% при (P=0,95, охвате 2).

Проверка (калибровка) компаратора ТЛД осуществлялась на государственном первичном эталоне единиц поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы фотонного и электронного излучения ГЭТ 38-2011. Облучение выполнялось на водном фантоме. Двумя дозами: 5,1 и 25,12 мЗв, предел относительной погрешность 3% при

(P=0,95, охвате 2). Облучалось по 10 дозиметров ДТУ каждой дозой. Стандартная неопределенность, по типу А составила 0,02%. Стандартная неопределенность, по типу В составила 1,5%. Таким образом, предел относительной неопределенности передачи единицы дозы 3% при (P=0,95, охвате 2).

#### **Параметры поля облучения**

Область облучения составляла 40x40 см. Однородность поля облучения не хуже 3%. Однородность измерялась водяным фантомом с системой перемещения и ионизационной камерой той же, что использовали в качестве дозиметра свидетеля. Использовался фантом водный МРЗ-Р в комплекте Unidos Webline T10021. Экспозиция по времени задавалась исходя из измеренной мощности дозы и заданной величины  $H_p(10)$ . При облучении ТЛД (компаратора) так же выполнялось измерение дозы за экспозицию по дозиметру Unidos. На рисунке 2 приведена зависимость измеренной дозы по ТЛД (компаратор) и измеренной дозы по дозиметру Unidos.

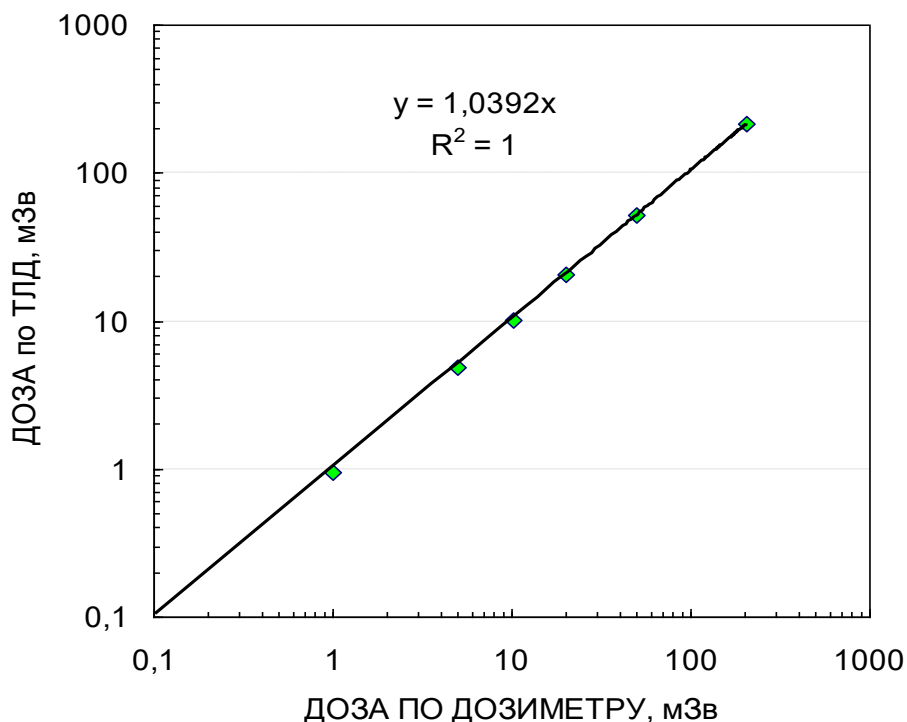


Рисунок 2 - Зависимость измеренной дозы по ТЛД (компаратор) и измеренной дозы по дозиметру Unidos

Разброс показаний между компараторами составил не более 2%, при систематическом отклонении порядка 4%. Для оценки дозы была взята средняя величина между показаниями ТЛД и дозиметра Unidos.

Для всего диапазона доз устанавливалось приписанное значение референтной лаборатории  $H_{p(10)} = 1,044 \cdot H_{p,заданная(10)}$ . Т.е, при заданной  $H_{p,заданная(10)}$  экспозиции 1мЗв, приписанная

величина составила 1,044 мЗв. при расширенной неопределенности 4%.

Выполнялось одновременно облучение дозиметров всех участников сличения (см. рисунок 3), что обеспечивало однородность приписанных значений для всех участников тест-сличения. Каждое облучение сопровождалось измерением дозы с помощью компараторов.



Рисунок 3 - Облучение дозиметров

#### ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

В МСИ участвовало 11 филиалов Концерна «Росэнергоатом». В таблице 2 приведены

участники и используемые ими СИ. В таблице 3 приведены методики измерения МИ, используемые участниками.



Таблица 2

## Участники МСИ

№ п/п	Участник	Дозиметр ИДК	Система ТЛД
1	Калининская АЭС	ТЛД «RADOS», с детекторами ДТГ-4	Комплекс индивидуального дозиметрического контроля «RADOS». Считыватель RE-2000
2	Балаковская АЭС	ТЛ дозиметры серии 8814 включающих двухэлементные карты модели 0110 с детекторами ТЛД-100	Системы термоллюминесцентные дозиметрические автоматизированные Harshaw моделей 6600, 6600 Lite, 6600Plus
3	Новоронежская АЭС	RADOS с детекторами ДТГ-4	Комплекс индивидуального дозиметрического контроля «RADOS». Считыватель RE-2000
		Комплект ДПГ-03 с термоллюминесцентными детекторами ТЛД-500К.	Комплект дозиметров термоллюминесцентных КТД-02М
4	Курская АЭС	Дозиметры-ДТА-01 Детекторы-(ДТГ-4)	Комплекс индивидуального дозиметрического контроля «RADOS». Считыватель RE-2000
5	Ростовская АЭС	ТЛ дозиметры серии 8814 включающих двухэлементные карты модели 0110 с детекторами ТЛД-100	Системы термоллюминесцентные дозиметрические автоматизированные Harshaw моделей 6600, 6600 Lite, 6600Plus
6	Билибинская АЭС	Комплект ДПГ-03 с термоллюминесцентными детекторами ТЛД-500К.	Комплект дозиметров термоллюминесцентных КТД-02М
7	Ленинградская АЭС	Дозиметр 8014 (карта 0110) Н	Системы термоллюминесцентные дозиметрические автоматизированные Harshaw моделей 6600, 6600 Lite, 6600Plus
8	Ленинградская АЭС-2	Дозиметр 8014 (карта 0110) Harshaw	Системы термоллюминесцентные дозиметрические автоматизированные Harshaw моделей 6600, 6600 Lite, 6600Plus
9	Смоленская АЭС	Термоллюминесцентные дозиметры RADOS с детекторами ДТГ-4 (ДТГ-4-1)	Комплекс индивидуального дозиметрического контроля «RADOS» Считыватель RE-2000
10	Белоярская АЭС	ТЛ дозиметры серии 8814 включающих двухэлементные карты модели 0110 с детекторами ТЛД-100	Системы термоллюминесцентные дозиметрические автоматизированные Harshaw моделей 6600, 6600 Lite, 6600Plus
11	Кольская АЭС	ТЛ дозиметры серии 8814	Системы термоллюминесцентные дозиметрические автоматизированные Harshaw моделей 6600, 6600 Lite, 6600Plus

Таблица 3

**Методики, используемые на предприятии для измерения индивидуального эквивалента дозы гамма излучения**

№	Наименование методики	Сведения о разработчике	Примечание
1	МВИ 12.9.7(18)-17. Методика выполнения измерений индивидуальных доз внешнего облучения персонала Билибинской АЭС.	Научно-исследовательское отделение метрологии ионизирующих излучений (НИО-4) ФГУП «ВНИИФТРИ»	Билибинская АЭС
2	Измерение индивидуальных доз внешнего облучения персонала атомных станций. Методика. МТ 1.1.4.02.002.1356-2017	АО «Концерн Росэнергоатом» совместно с ООО «ЛАД»	Нововоронежская АЭС, Смоленская АЭС Ростовская АЭС
3	МВИ 12.10.7-19 «Методика измерений индивидуального эквивалента дозы в полях гамма, нейтронного и бета -излучения с использованием комплекса индивидуального дозиметрического контроля RADOS»	Общество с ограниченной ответственностью «Юридическое Бюро «ТЕРРА» (ООО ЮБ «ТЕРРА»)	Калининская АЭС
4	МВИ 12.17-11 «Методика выполнения измерений индивидуального эквивалента дозы в полях гамма, нейтронного и бета-излучения с использованием комплекса индивидуального дозиметрического контроля RADOS»	ООО НПП «Радико»	Курская АЭС
5	Методика выполнения измерений индивидуальных эквивалентов доз в полях гамма-, бета-, нейтронного излучения с применением термомлюминесцентной дозиметрической автоматизированной системы HARSHAW моделей 6600 (6600 Lite, 6600 Plus)	ООО «НПО «СПЕКТР»	Балаковская АЭС Белоярская АЭС Ленинградская АЭС Ленинградская АЭС-2 Кольская АЭС

### Результаты

Программа МСИ включала облучение 6 дозиметров каждого участника в 11 экспозициях дозами от 0,1 до 200 мЗв. Надо отметить, что при анализе результатов при малых дозах (менее 1 мЗв) участники МСИ были не в равных условиях. Так

для Билибинской АЭС, за счет длительных воздушных перелетов и вклада космической радиации, фоновые значения составили 0,55 мЗв. На рисунке 4 приведены результаты показаний фоновых дозиметров и показаний по первой экспозиции.

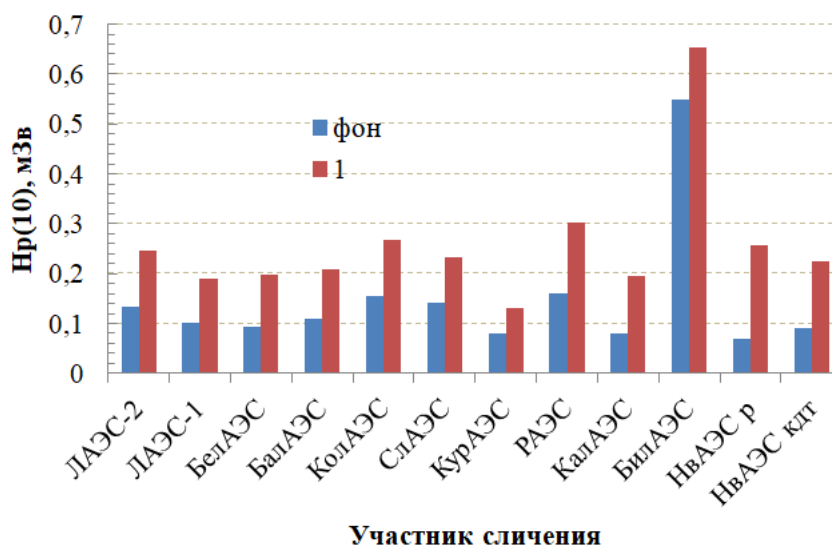


Рисунок 4- Результаты показаний фоновых дозиметров и показаний по первой экспозиции.

Статистический анализ результатов выполнялся в соответствии с [7, 8].

Рассчитывалась процентная разность:  $D\% = \frac{(x-X)}{x} \cdot 100$ . Где  $X$ - приписанное значение дозы,  $x$  – результат измерения участника. Данная величина  $D\%$  использовалась в предыдущих МСИ [4, 5, 6] для анализа результатов, что с нашей точки зрения не достаточно, так как в представлении результата измерений в соответствии с методиками измерений (табл.3 ) участников МСИ , кроме величины  $x$  присутствует величина расширенной неопределенности  $U_{lab}$ . Учитывая это, для оценивания характеристик функционирования лаборатории была выбрана величина  $E_n$ . Использование величины  $E_n$  допустимо, так как величины  $x$  и  $X$  в МСИ определялись независимым способом.

Значение  $E_n$  вычисляют по следующей формуле [7]:

$$E_n = \frac{x - X}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}$$

Где  $X$  — приписанное значение, определенное в экспертной лаборатории;

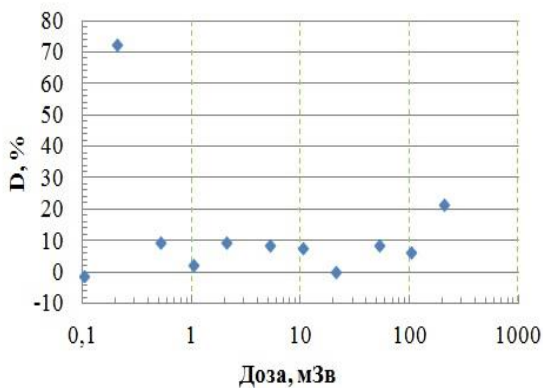


Рисунок 5а- значения  $D$ , в зависимости от дозы

На рисунке 6 приведены значения  $E_n$  для двух участников МСИ. У одного участника значения систематически выше 0,5, у другого систематически ниже 0,1. Хотя у обоих участников величина  $E_n$  ниже допустимой, можно говорить о

$U_{ref}$ — расширенная неопределенность  $X$ ;  
 $U_{lab}$  — расширенная неопределенность результата участника  $x$ , с учетом вычета фоновых значений.

В соответствии с ГОСТ ISO/IEC 17043-2013 для чисел  $E_n$ :

$-|E_n| < 1,0$  указывает на удовлетворительную характеристику функционирования лаборатории и не требует выполнения корректирующих действий в ее работе;

$-|E_n| > 1,0$  указывает на неудовлетворительную характеристику функционирования и требует выполнения корректирующих действий в ее работе.

На рисунках 5а и 5б приведены значения  $D$  и  $E_n$  для одного из участников МСИ. Хотя для одной из экспозиций величина  $D$  составила 70%, за счет того, что разница между показаниями  $x$  и фоном была меньше их значений – величина  $E_n$  составила 0,2, т.е. меньше допустимой величины. Коррекция  $U_{lab}$  подразумевает, что величина рассчитана для разности показаний (вычитание фона).

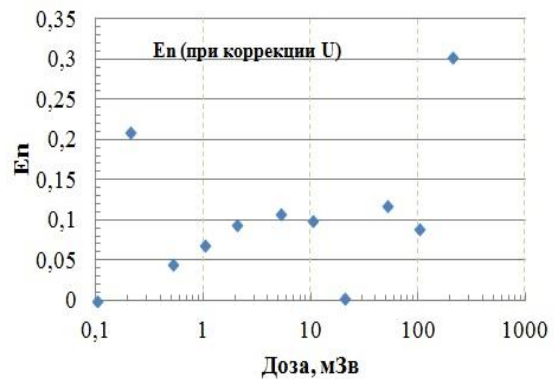


Рисунок 5б- значения  $E_n$  , в зависимости от дозы

том, что в одном случае в методике измерения есть недооценка величины неопределенности, в другом, возможно, величина неопределенности измерения переоценена.

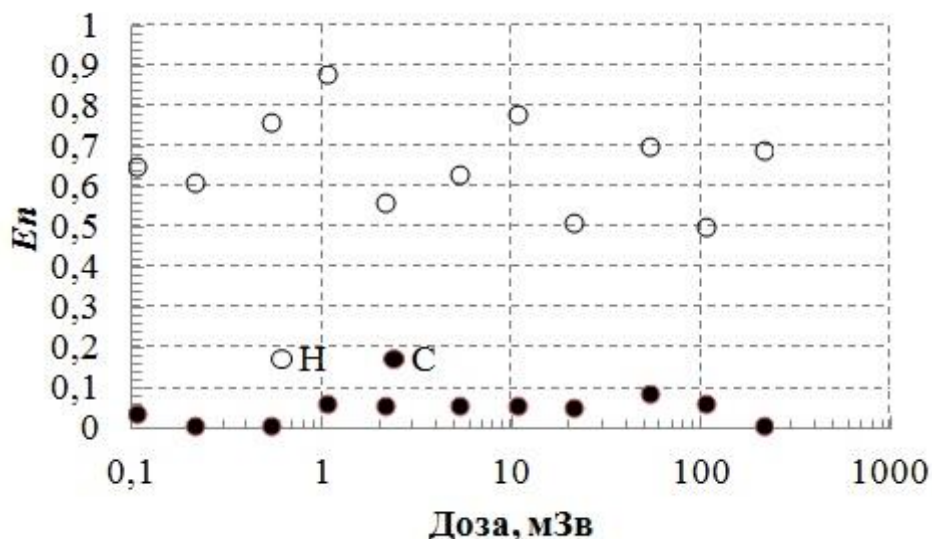


Рисунок 6- Значения  $E_n$ , в зависимости от дозы для двух участников МСИ.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведена 4-ая МСИ лабораторий ИДК АЭС АО «Концерн «Росэнергоатом». 11 участников предоставили протоколы с результатами измерения в установленном виде. ООО «АПИ» выполнен статистический анализ результатов по величине  $E_n$ . У всех участников данная величина ниже критической 1, что говорит об удовлетворительной характеристике функционирования лаборатории.

Работа выполнялась в рамках договора между ООО «АтомПромИнжиниринг» и АО Концерном «Росэнергоатом», при участии Генерального директора А.Ю.Соколова. Отдельная благодарность Сабурову В. (МРНЦ им. А.Ф. Цыба, г.Обнинск) за измерения и облучение дозиметров, В.А.Берлянду (ВНИИФТРИ) за облучение ТЛД на Первичном Государственном эталоне, О.В.Кирюхину (МГУ) за обработку ТЛД.

### ССЫЛКИ

1.ГОСТ ISO/IEC 17025-2019. /Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.

2.Комментарий Генерального директора А.Н. Макаренко //https://ecologixlab.ru/wp-content/uploads/2021/12/oficialnyj-kommentarij.pdf «Научно-Технический Центр «ЭкоЛоджиксЛаб»

https://ecologixlab.ru/organizacziya-mezhlaboratornyh-slichitelnyh-ispytanij/

3.Программы проверки квалификации лабораторий/ http://ptp.fsa.gov.ru/

4.А.Г.Алексеев, П.Ф.Масляев, В.Н.Лебедев и др. «Сличение индивидуальных дозиметров фотонного излучения (COMPAR-98). Препринт ИФВЭ №1. 2000. // http://web.ihep.su/library/pubs/prep2000/ps/2000-1.pdf

5.А.Г.Алексеев, Ю.В.Быстров, Н.Н.Бараненков, В.Е.Косьяненко, И.В.Долженков / «Тест-сличение средств измерения индивидуального дозиметрического контроля АЭС концерна Росэнергоатом»/ АНРИ №3, 2002, стр. 15-20.

6.Алексеев А. Г., Берлянд В. А./Сличение средств индивидуальных дозиметров для проверки лаборатории радиационного контроля» /Журнал «Евразийский Союз Ученых (ЕСУ») #6(63), 2019 / DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.63.154

7.ГОСТ ISO/IEC 17043-2013 «Оценка соответствия. Основные требования к проведению проверки квалификации».

8.ГОСТ Р ИСО 13528- 2010 /Статистические методы применение при экспериментальной проверке компетентности посредством межлабораторных сравнительных испытаний.

УДК 624.13

**РАСЧЕТ БАЛОК И ПЛИТ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ УПРУГОГО ПОЛУПРОСТРАНСТВА.***Александр Валентинович Лебедев**к.т.н., доцент кафедры «Строительной механики»**С.-Пб. Государственный архитектурно-строительный университет,  
190005, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская д.4***ANALYSIS OF BEAMS AND SLABS ON AN ELASTIC FOUNDATION BY THE FINITE ELEMENT METHOD USING AN ELASTIC HALF-SPACE MODEL.***A.V. Lebedev**PhD, Associate Professor of the Department of Structural Mechanics**S.-Pb. State University of Architecture and Civil Engineering,**190005, Russia, St. Petersburg, St. 2nd Krasnoarmeiskaya, 4,**DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2022.1.94.1613***АННОТАЦИЯ**

Рассматривается задача расчета конструкций на упругом основании методом конечных элементов в форме смешанного метода. Предлагается способ определения реакций упругого основания в матрице упругих свойств конечного элемента по методике Б.Н. Жемочкина. В качестве модели упругого основания используется классическая модель упругого полупространства. Предлагаемая методика реализована в программе Mathcad для расчета балки на упругом основании. Приводится пример расчета и сравнение с результатами полученными другими методами.

**ABSTRACTS**

The problem of analysis of structures on an elastic foundation by the finite element method in the form of a mixed method is considered. A method is proposed for finding the reactions of an elastic foundation in the matrix of elastic properties of a finite element according to the method of B.N. Zhemochkin. The classical model of an elastic half-space is used as a model of an elastic foundation. The proposed technique is implemented in the Mathcad program for calculating a beam on an elastic foundation. An example of analysis and comparison with the results obtained by other methods is given.

**Ключевые слова:** метод конечных элементов, смешанный метод, метод Б.Н. Жемочкина, упругое основание, балки, плиты, Mathcad

**Key words:** finite element method, mixed method, B.N. Zhemochkin, elastic foundation, beams, slabs, Mathcad.

**Введение.**

При решении задач расчета конструкций на упругом основании в распространенных вычислительных программах, реализующих метод конечных элементов (SCAD, LIRA и др.), для учета упругого основания используются модели, основанные на гипотезах Винклера или Пастернака. Реакции основания в этих моделях определяются при помощи коэффициентов постели, учитывающих работу грунтового основания как в направлении только вертикальных перемещений (гипотеза Винклера), так и распределительную способность грунта (гипотеза Пастернака). Определение величин расчетных коэффициентов или коэффициентов «постели» носит достаточно условный характер и зависит, в частности, как от характеристик самого грунта, так и от методики определения этих величин.

Более адекватными с точки зрения сопротивления материалов и строительной механики характеристиками грунтового основания являются модуль деформации и коэффициент Пуассона грунта. Использование этих характеристик для учета работы упругого основания базируется на решениях теории упругости. Такой подход использован например в

[1],[2]. Известны также решения с использованием комбинированных моделей упругого основания в которых основной массив грунта считается упругим полупространством на котором расположен слой подчиняющийся гипотезам Винклера или Пастернака [6]. Применение решений теории упругости позволяет в расчетах использовать модуль деформации грунта и коэффициент Пуассона.

**Цель исследования**

Построение конечно-элементного алгоритма расчета балок и плит на упругом основании смешанным методом с использованием модели упругого полупространства.

**Материалы и методы исследования**

При решении задач расчета конструкций на упругом основании методом конечных элементов необходимо вычисление коэффициентов матрицы реакций основания. В случае использования метода перемещений коэффициенты матрицы реакций основания вычисляются аналогично коэффициентам матрицы жесткости на основе функции формы конечного элемента. В смешанном методе реакции основания учитываются лишь для линейных степеней свободы в узлах конечного элемента [3],[4].

Б.Н. Жемочкиным [2], был предложен инженерный метод решения задачи в котором балка на сплошном упругом основании заменяется балкой на упругих опорах. Перемещения и реакции в опорных связях расчетной схемы определяются по формулам теории упругости. Воспользовавшись этой идеей можно построить конечно-элементный алгоритм на основе метода конечных элементов в форме смешанного метода [3,4]. Для определения реакций упругого основания в [3] используется модель Винклера и предполагается распределение реакций основания в пределах конечного элемента по линейному закону в виде треугольной эпюры. Смешанный метод для расчета плит на упругом основании применяется также в [7].

В классической теории упругости известно решение Буссинеска для определения осадок упругого полупространства от сосредоточенной силы:

$$z = \frac{F(1-\mu^2)}{\pi E_0 r} \quad (1)$$

где  $z$  – осадка поверхности полупространства,  $F$  – внешняя сила,  $E_0$ ,  $\mu$  – модуль деформации и коэффициент Пуассона основания,  $r$  – расстояние от точки приложения силы до точки в которой определяется осадка.

Если проводить вычисления по формуле (1), то в точке приложения силы величина осадки будет бесконечной. Этого можно избежать, если заменить сосредоточенную силу распределенной по прямоугольной площадке с размерами ( $b \times c$ ). При этом при расчете балок размер  $b$  принимается равным ширине сечения балки, а  $c$  – расстояние между опорными стержнями в расчетной модели балки на упругих опорах [2].

Заменив сосредоточенную нагрузку распределенной по прямоугольной площадке с размерами ( $b \times c$ ) и взяв бесконечно малый элемент площади получим

$$f \cdot d\zeta d\eta = \frac{F}{b \cdot c} \cdot d\zeta d\eta \quad (2)$$

здесь  $\zeta$  и  $\eta$  координаты в плоскости площадки нагружения.

Подставив (2) в (1):

$$d^2 w = \frac{F}{b \cdot c} \cdot \frac{(1-\mu^2)}{\pi E_0 r} d\zeta d\eta$$

и полная осадка

$$w = \int_{\zeta=x-\frac{c}{2}}^{\zeta=x+\frac{c}{2}} 2 \cdot \int_0^{\eta=\frac{b}{2}} \frac{F}{b \cdot c} \cdot \frac{(1-\mu^2)}{\pi E_0 r} d\zeta d\eta \quad (3)$$

Выполнив интегрирование (3) можно получить выражение для осадки в виде

$$w = \frac{(1-\mu^2)}{\pi E_0 c} \Phi \quad (4)$$

где  $\Phi$  – функция, полученная в результате вычисления интеграла (3), зависящая от значений  $b$ ,  $c$ ,  $x$ . Конечный вид функции  $\Phi$  приведен в [2] где также имеются таблицы значений для разных соотношений параметров  $b$ ,  $c$  и  $x$ , при этом  $x$  представляет собой расстояние от центра загруженной площадки до точки в которой вычисляется осадка.

При использовании метода конечных элементов в форме смешанного метода неизвестными являются реакции в линейных связях и изгибающие моменты в сечениях балки, соответствующих местам установки этих связей. Конечным элементом в этом случае будет элемент в виде шарнирного стержня с двумя моментами в опорных сечениях (рисунок 1). В общем случае могут быть добавлены еще две степени свободы, соответствующие продольным деформациям, которыми при расчете балок обычно пренебрегают, если задача решается в линейной постановке.

Для построения матрицы упругих свойств конечного элемента с учетом упругого основания необходимо определить реакции в линейных связях от единичных перемещений. В случае моделирования основания упругим полупространством определить реакции как это сделано в [3], при использовании модели Винклера, невозможно. Для определения реакций можно воспользоваться формулой (4) предполагая, что величина реакции в связи пропорциональна величине осадки.

Функция  $\Phi$  в (4) приводится в [2] в явном виде, однако наличие современных вычислительных инструментов позволяет легко определить значения этой функции выполнив вычисления непосредственно по формуле (3).

Для определения осадок упругого основания в связях конечного элемента формула (3) примет вид:

$$w(x) = 2 \frac{F}{b \cdot c} \cdot \frac{(1-\mu^2)}{\pi E_0} \int_{le-\frac{c}{2}}^{le+\frac{c}{2}} \int_0^{\eta=\frac{b}{2}} \frac{1}{\sqrt{y^2+x^2}} dy dx \quad (5)$$

где  $y$  и  $x$  оси координат площадки по которой распределяется сила  $F$ ,  $le$  – длина конечного элемента балки.

В отличие от алгоритма описанного в [2] при использовании метода конечных элементов размеры элементов и параметры конечно-элементной модели могут быть выбраны произвольно. Тем не менее, при определении значений осадок упругого основания параметр  $c$  имеет смысл принимать равным ширине поперечного сечения балки. В любом случае линейный размер конечного элемента  $le$  при стандартной разбивке будет больше этого значения, так как в противном случае конечный элемент уже не будет представлять собой стержень.

Рассмотрим балочный конечный элемент смешанного метода (рисунок 1). Для определения коэффициентов матрицы упругих свойств соответствующих линейным смещениям следует последовательно задать единичные перемещения на левом и правом концах элемента. Ограничимся,

как и в [3] учетом реакций упругого основания только от единичных перемещений по направлению вертикальных связей конечного элемента, то есть реакций  $r_{11}$  и  $r_{31}$ .

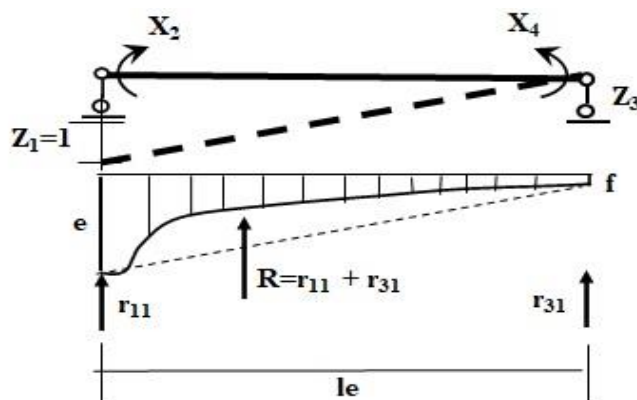


Рисунок 1. Реакции упругого основания в связях конечного элемента.

Сумма реакций  $r_{11}$  и  $r_{31}$  в этих связях должна быть равна равнодействующей давления грунта на длину конечного элемента (рисунок 1).

Функция распределения давлений грунта на рисунке 1 может быть получена по формуле (3), в предположении что величина реакции грунта пропорциональна величине осадки основания. Реакция в связи будет представлять собой величину обратную осадке основания. Равнодействующая  $R$  представляет собой площадь эпюры давлений. Чтобы не вычислять площадь криволинейной эпюры можно разделить её на несколько участков и определить реакцию упругого основания как равнодействующую всех сил. При этом на каждом из участков кривую можно заменить трапецией. Такой же результат можно получить и простым уменьшением длины конечного элемента. Если аппроксимировать кривую давлений в пределах длины конечного элемента трапецией с ординатами  $e$  и  $f$ , то величины реакций  $r_{11}$  и  $r_{31}$  определяются по формулам:

$$r_{11} = \frac{l_e}{6}(2e + f); r_{31} = \frac{l_e}{6}(2f + e), \quad (6)$$

которые легко получить найдя центр тяжести трапеции и составив уравнения равновесия моментов относительно опорных точек.

Подставляя значения реакций в матрицу упругих свойств конечного элемента из [3], получим

$$r = \begin{bmatrix} r_{11} & \frac{1}{l_e} & r_{13} & -\frac{1}{l_e} \\ -\frac{1}{l_e} & \frac{l_e}{3EJ} & \frac{1}{l_e} & \frac{l_e}{6EJ} \\ r_{31} & -\frac{1}{l_e} & r_{33} & \frac{1}{l_e} \\ \frac{1}{l_e} & \frac{l_e}{6EJ} & -\frac{1}{l_e} & \frac{l_e}{3EJ} \end{bmatrix} \quad (7)$$

где  $l_e$  – длина конечного элемента,  $EJ$  – жесткость балки.

Для вычисления значений  $e$  и  $f$  при определении величин реакций удобно использовать Mathcad. При этом реакции вычисляются

следующим образом. Определив значения осадки  $\Delta_{11}$  в точке соответствующей центру загруженной площадки ( $b \times c$ ) считаем ее величину единичным перемещением. Тогда перемещение в точке, соответствующей противоположному концу элемента, будет  $\Delta_{31}/\Delta_{11}$ .

Значения реакций соответствующих этим перемещениям будут равны:

$$e = 1 \cdot \frac{\pi E_0 b c}{(1-\mu^2)}; f = \frac{\Delta_{31}}{\Delta_{11}} \cdot \frac{\pi E_0 b c}{(1-\mu^2)}.$$

Размеры загружаемой площади (или площади в центре которой задается единичное перемещение удобно принимать в виде квадрата со стороной  $b$ , равной ширине поперечного сечения балки. Точность аппроксимации эпюры давлений трапецией будет зависеть от размера конечного элемента.

#### Результаты исследования.

Для оценки состоятельности описываемого подхода приведем результаты расчета. Рассмотрим балку длиной 12м, прямоугольного сечения с размерами  $b = 0.2\text{ м}$ ,  $h = 0.169\text{ м}$ , шарнирно закрепленную по концам и нагруженную равномерно распределенной нагрузкой  $q = 2\text{ кН/м}$ . Модуль упругости материала балки  $E = 2100000\text{ кН/м}^2$ . Модуль деформации упругого основания  $E_0 = 2000\text{ кН/м}^2$ , коэффициент Пуассона  $\mu = 0.2$ .

Сравним результаты, полученные точным методом начальных параметров [5], методом конечных элементов с предлагаемым вариантом учета упругого основания и расчетами в программном комплексе SCAD. Для корректного сравнения результатов, полученных предлагаемым методом с результатами расчетов вычислениях методом начальных параметров и с использованием программы SCAD в которых используются модели Винклера необходимо определить эквивалентный коэффициент постели. Определению эквивалентного коэффициента постели посвящены работы [2], [8]. Воспользуемся формулой предложенной в [2]:

$$k_{eq} = 0.56E_0^3 \sqrt{\frac{E_0}{EJ}}$$

Расчеты выполнены в системе Mathcad с использованием матриц упругих свойств и жесткости балочных конечных элементов приведенных в [4]. Для оценки полученных результатов вычисления выполнены для двух

вариантов метода конечных элементов в форме метода перемещений и смешанного метода.

Для выбранных величин параметров балки и основания эквивалентный коэффициент постели  $k_{eq} = 2533 \text{ кН/м}^3$ .

Эпюры изгибающих моментов и прогибов полученные предлагаемым методом приведены на рисунках 2,3.

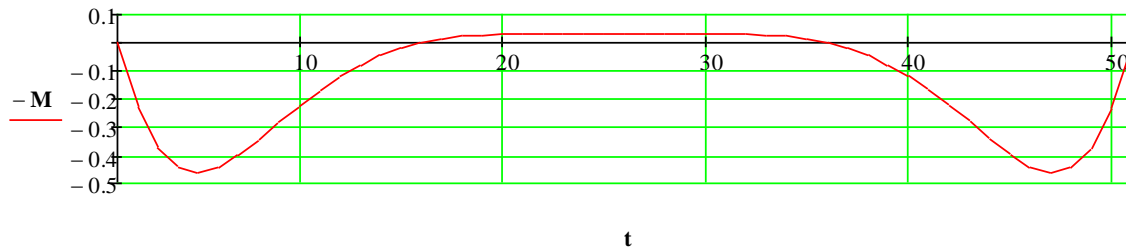


Рисунок 2. Эпюра изгибающих моментов

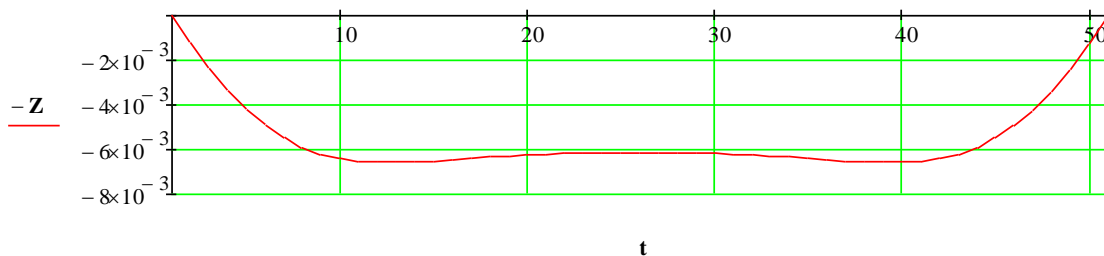


Рисунок 2. Эпюра прогибов

Сравнение результатов в характерных точках, полученных разными способами, приведено в таблице 1.

Таблица 1.

Сравнение результатов расчета балки.

Метод расчета	Изгибающие моменты	перемещения
Метод начальных параметров	0.485 -0.022	7.145 6.68
SCAD	0.473 -0.020	7.130 6.11
Предлагаемый метод (МКЭ смешанный метод)	0.461 -0.029	7.504 6.94
Предлагаемый метод (МКЭ метод перемещений)	0.84 -0.023	2.7 2.7

Некоторое расхождение результатов первых трех строк можно объяснить различием в учете реакций упругого основания в программе SCAD где реализован метод конечных элементов в форме метода перемещений, и реакции упругого основания учитываются как для линейных, так и для угловых перемещений.

В четвертой строке таблицы 1 приведены результаты расчета методом перемещений при учете реакций упругого основания только в линейных связях. Существенное расхождение результатов свидетельствует о том, что в случае использования метода перемещений необходимо учитывать реакции упругого основания возникающие не только в линейных, но и в угловых связях, так как конечный элемент в данном случае представляет собой статически неопределимую балку, в отличие от конечного элемента смешанного метода.

Предложенный способ можно использовать и для расчета плит. В этом случае значения реакций

в связях конечного элемента необходимо вычислять также в направлении второй оси координат в плоскости плиты.

Для конечного элемента плиты, предложенного А.М. Масленниковым [4] с тремя степенями свободы в узле (рисунок 3), матрица упругих свойств будет иметь порядок  $(12 \times 12)$ . Реакции упругого основания как и в случае расчета балок будем учитывать только для линейных перемещений. Тогда формула (4) запишется в виде

$$w(x, y) = 2 \frac{F}{b \cdot c} \cdot \frac{(1-\mu^2)}{\pi E_0} \int_{le-\frac{c}{2}}^{le+\frac{c}{2}} \int_0^{\eta=\frac{b}{2}} \frac{1}{\sqrt{y^2+x^2}} dy dx \quad (8)$$

где значение  $le$  принимается равным размеру конечного элемента в направлении каждой из осей в плоскости плиты в зависимости от того реакция в какой именно связи вычисляется. При этом, если вычисляется реакция, например в связи  $k$  от



единичного перемещения связи  $i$ , то величина  $le$  определяется по формуле:

$$le = \sqrt{le_x^2 + le_y^2}$$

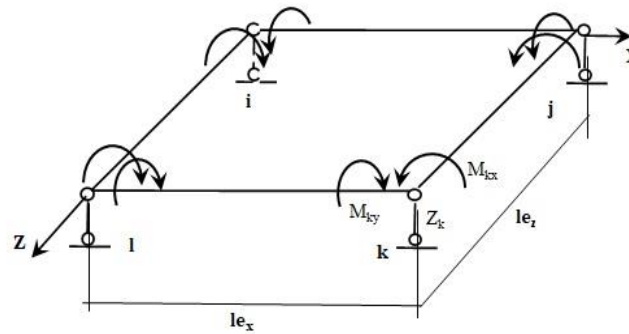


Рисунок 3. Конечный элемент плиты для смешанного метода

По аналогии с балочным конечным элементом вычисленные реакции нормируются по величине реакции в той связи, по направлению которой задается единичное перемещение. В результате получается квадратная симметричная матрица размером  $(12 \times 12)$  с ненулевыми членами, соответствующими линейным связям конечного элемента, которая суммируется с матрицей упругих свойств [4].

**Выводы.** Получено решение задачи расчета балок и плит на упругом основании методом конечных элементов с использованием модели упругого полупространства. Предложенная методика может быть использована для решения сформулированных задач и показывает хорошее совпадение с имеющимися результатами, полученными другими методами. Использование изложенного подхода учета упругого основания также позволяет выполнять расчеты балок и плит на нелинейно-упругом основании обычным шаговым методом.

#### Список цитированных источников.

1. Горбунов-Посадов, М. И. Расчет конструкций на упругом основании / М. И. Горбунов-Посадов, Т. А. Маликова, В. И. Соломин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1984. – 680 с.
2. Б.Н. Жемочкин Расчет балок на упругом полупространстве и полуплоскости. Издание ВИА им.Куйбышева, М., 1937
3. А.М. Масленников Расчет конструкций методом конечных элементов. Куйбышев 1983.
4. А.М. Масленников Приложение метода конечных элементов к расчету строительных конструкций. Ленинград 1978
5. В.А. Киселев Расчет балок на упругом основании. МАДИ, М., 1981
6. Н.Н. Леонтьев, А.Н. Леонтьев, Д.Н. Соболев, Н.Н. Анохин Основы теории балок и плит на деформируемом основании. Москва 1982

7. Босаков, С. В. Об одной модели упругого основания и ее использовании для расчета прямоугольной плиты на упругом основании / С. В. Босаков,

С.И. Зиневиц, О. В. Козунова Строительная механика и расчет сооружений. – № 4(279) – М., 2018. – С. 2–5.

8. Peyman Mianji, Ehsan Seyedi Hosseininia A modified method for modelling of spread footing under uniform distributed load using Winkler's model, Sofia, vol. 49 Issue 1 pp. 039-050 (2019)

#### List of cited sources.

1. Gorbunov-Posadov, M.I. Analysis of structures on an elastic foundation /M. I. Gorbunov-Posadov, T. A. Malikova, V. I. Solomin. - 3rd ed., Rev. and add. - M.: Stroyizdat, 1984. -- 680 p.
2. B.N. Zhemochkin Analysis of beams on an elastic half-space and half-plane. Published by the Kuibyshev VIA, M., 1937
3. A.M. Maslennikov Finite element analysis. Kuibyshev 1983.
4. A.M. Maslennikov Application of the finite element method to the analysis of building structures. Leningrad 1978
5. V.A. Kiselev Analysis of beams on an elastic foundation. МАДИ, М., 1981
6. N.N. Leontiev, A.N. Leontiev, D.N. Sobolev, N.N. Anokhin. Fundamentals of the theory of beams and slabs on a deformable foundation. Moscow 1982
7. Bosakov, S. V. On one model of an elastic foundation and its use for calculating a rectangular plate on an elastic foundation / S. V. Bosakov, S.I. Zinevich, O.V. Kozunova Structural mechanics and analysis of constructions. - No. 4 (279) - M., 2018. - P. 2–5.
8. Peyman Mianji, Ehsan Seyedi Hosseininia A modified method for modelling of spread footing under uniform distributed load using Winkler's model, JTAM, Sofia vol. 49 Issue 1 pp. 039-050 (2019)

УДК 621.9.02 (Технические науки)

**ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ МОДУЛЬНОГО РАСТОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА**

*Кожин-Гребенщиков П.П., Маслов А.Р., Тивирев Е.Г.  
МГТУ имени Н.Э. Баумана,  
Россия, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., 5*

**OPTIMIZATION OF MODULAR BORING TOOL DESIGNS**

*P.P. Kozhin-Grebenshchikov, A.R. Maslov, E.G. Tivirev  
Bauman Moscow State Technical University (BMSTU),  
5, 2-nd Bauman str., Moscow, 105005, Russia  
DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2022.1.94.1615*

**АННОТАЦИЯ**

Показан один из путей создания оптимизированных конструкций модульных расточных инструментов для обработки ступенчатых отверстий в заготовках корпусных деталей изделий машиностроения.

**ABSTRACT**

One of the ways to create optimized designs of modular boring tools for processing stepped holes in blanks of body parts of mechanical engineering products is shown.

**Ключевые слова:** модульный, расточной, инструмент, математическая теория графов, параметр  
**Keywords:** modular, boring, tool, mathematical graph theory, parameter

**Введение**

Модульный расточной инструмент (МРИ) представляет собой сборные конструкции, которые компонуются из модулей различного функционального назначения и размеров для обеспечения технологической гибкости. В МРИ входят модули следующих типов: резцовые вставки, резцовые головки, переходники, удлинители и державки [1, 5]. Благодаря наличию подвижных соединений модулей имеется возможность компоновать комбинировать МРИ в соответствии с требованиями обработки.

Количество различных модулей в МРИ ограничено и относительно невелико. Число вариантов компоновок МРИ для выполнения заданного технологического перехода является конечным, что создает предпосылки для формализации процесса проектирования МРИ.

Логическое обеспечение, описывающее связь между параметрами заготовки технологического перехода и станка с конструкцией МРИ включает математическое обеспечение в виде совокупности математических методов решения задач проектирования МРИ, математических моделей технологической системы, включающей МРИ, и алгоритмов проектирования МРИ, где каждый модуль, входящий в МРИ, характеризуется рядом параметров.

**Цель исследования**

Определить конечное множество модулей, необходимых для осуществления технологического процесса обработки нескольких размерных модификаций однотипных деталей при различных последовательностях ввода МРИ в работу.

**Метод исследования**

Так как параметры  $i$ -го модуля МРИ образуют вектор параметров  $M_i$ , имеющий вид:

$$M_i = |P_{1i}, P_{2i}, \dots, P_{ki}|.$$

То каждому модулю  $i$  возможно поставить в соответствие вектор  $M_i$  его параметров  $P_{ji}$ , в том числе:

- функциональное назначение;
- размерные (длины, диаметры, присоединительные размеры и т.д.;
- инерционные (масса, координата центра масс, центральный момент инерции);
- жесткостные (угловая жесткость, приведенная к плоскости стыка, определяемая объемной и контактной жесткостью);
- технологические (диапазон регулирования резцовых вставок, присоединительные размеры для крепления на станке и т.п.);
- количественные (количество модулей с данной полной совокупностью остальных параметров в комплекте);
- организационные (номера стандарта, чертежа, фирменный код, ячейка на инструментальном складе и т.д.).

При этом вектор  $M_i$  содержит информацию, необходимую для проектирования МРИ, а значения параметров находятся во взаимной зависимости.

Если в состав Данное ограниченное количество сборок МРИ входят  $N$  различных типоразмеров комплекта модулей. То, ставя в соответствие каждому типоразмеру вектор параметров, можно получить отображение комплекта на множество векторов параметров  $M$ , которое отображает полный состав комплекта:

$$M = \{M_1, M_2, \dots, M_N\}.$$

Тогда множество  $M$  может быть представлено как объединение подмножеств, образованных

исходя из значений одного из основных параметров конечного множества модулей - номинального наружного диаметра модулей МРИ.

**Результаты исследования и их обсуждение**

По признаку функционального назначения множество  $M$  может быть представлено объединением следующих подмножеств:

$$M = M_{кг} \cup M_{у\text{пг}} \cup M_{п\text{пг}} \cup M_{п} \cup M_{у} \cup M_{х}, \quad (1)$$

где  $M_{кг}$  - подмножество резцовых головок;  
 $M_{у\text{пг}}$  - подмножество удлинителей;  
 $M_{п\text{пг}}$  - подмножество переходников;  
 $M_{п}$  и  $M_{у}$  - подмножества соответственно переходников и удлинителей;  
 $M_{х}$  - подмножество державок для его крепления на станке.

Множество  $M$  также может быть представлено как объединение подмножеств, образованных исходя из значений одного из основных параметров унификации - номинального наружного диаметра модуля

$$M = M_{d \text{ ном}_1} \cup M_{d \text{ ном}_2} \cup \dots \cup M_{d \text{ ном}_n \text{ ном}}. \quad (2)$$

Пусть имеется функция, отображающая множество  $M$  на некоторое множество вершин

графа  $G$  таким образом, что каждому вектору  $M_i$  множества  $M$  становится в соответствие одна вершина  $x_i$  множества  $X$  (рис. 1).

Тогда совокупность возможных бинарных соединений модулей представится непустым множеством  $V$  ребер графа  $G$  или соответствием, показывающим связь вершин [2-4]. Соответствие  $\Gamma$  представляет собой отображение множества  $X$  на  $X$ .

При этом граф  $G = (X, V) = (X, \Gamma)$  и представляет собой граф со взвешенными вершинами. Вектор  $M_i$ , поставленный в соответствие вершине  $x$  графа  $G$ , является весом этой вершины, а значения параметров, образующие вектор, назовем параметрами  $i$ -го веса.

Граф  $G$  является ориентированным конечным графом общего вида [5,4]. Множество  $V$  ребер представляется объединением подмножеств дуг и петель. Соответственно (1) и (2) множество  $X$  вершин может быть представлено в виде объединения подмножеств, образованных по признакам как функционального назначения, так и номинального наружного диаметра:

$$X = X_{кг} \cup X_{у\text{пг}} \cup X_{п\text{пг}} \cup X_{п} \cup X_{у} \cup X_{х};$$

$$x = x_{d \text{ ном}_1} \cup x_{d \text{ ном}_2} \cup \dots \cup x_{d \text{ ном}_n \text{ ном}}.$$

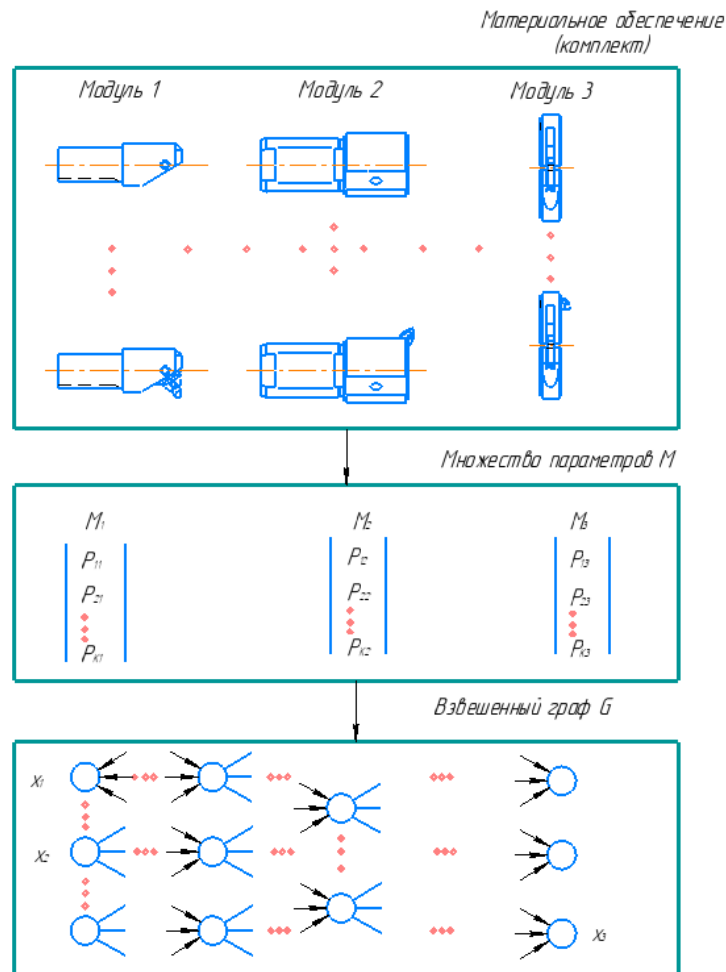


Рис. 1. Отображение материального обеспечения на множество вершин взвешенного графа

В этом случае задача проектирования МРИ может быть поставлена как задача поиска в графе:

1. Определить множество путей  $P = \{P_1, P_2, \dots, P_z\}$  в графе  $G$  включающих вершины  $(x_q)_i \in P_i \in X$  с соответствующими весами  $(M_q)_i \in M_i$  образующих такое подмножество  $M_i \subseteq M$ , чтобы из модулей, обладающих свойствами  $(M_q)_i$  можно собирать  $i$ -й вариант МРИ для выполнения заданного технологического перехода на данном станке. Множество путей  $P$  соответствует множеству возможных конструкций ВИ, удовлетворяющих входным условиям.

2. Из полученного множества конструкций определить оптимальную по заданному критерию.

Проектирование, может быть, выполнено в три основных: этапа (приложение 1):

1) синтез вариантов расположения режущего инструмента (РИ) на модулях МРИ и последовательностей ввода РИ в работу во время рабочего хода;

2) синтез компоновок МРИ для каждого варианта расположения РИ;

3) выбор оптимального компоновочного решения.

В качестве входной информации для проектирования используется:

1. Информация о заготовке: количество растачиваемых ступеней

$w$ , длины ступеней  $L_i$ , расстояния между ступенями  $L_i$ .

2. Информация о положении заготовки на станке: расстояние от шпинделя до ближней ступени и ограничивающий диаметр, допустимое расстояние сквозного выхода и др.

3. Информация о технологическом переходе: количество резцов  $K_{pj}$  в МРИ, обрабатывающих  $j$ -ю ступень; номинальный диаметр растачивания  $i$ -м резцом  $D_{pi}$  ( $i=1 \dots \sum_{j=1}^w K_{pj}$ ); номера резцов, для которых допускается параллельная работа.

4. Информация о станке: модель, определяющая конструкцию хвостовика; параметры шпинделя; допустимые длины; масса МРИ; опрокидывающий момент  $M_{опр}$  МРИ.

На различных этапах проектирования возможны дополнительные требования информации [6].

Первый этап заключается в разработке схем расположения РИ на МРИ.

Пусть проектируемый МРИ должен расточить  $w$  поверхностей за один рабочий ход, причем для обработки  $j$ -й поверхности требуется  $K_{pj}$  РИ. При этом на МРИ будет закреплено всего  $n$  РИ, причем  $n = \sum_{j=1}^w K_{pj}$ ; каждый РИ настроен на номинальный диаметр растачивания  $D_{pj}$ . Для каждого из  $n$  резцов требуется определить очередность вступления в работу и для каждой последовательной пары РИ определить минимально и максимально допустимые осевые расстояния между ними.

Обозначим через  $b$  порядковый номер ввода  $i$ -го РИ в работу ( $b=1 \dots n$ ). При этом возможные комбинации расположения РИ на МРИ определяются перестановками на множестве  $\{b\}$  при следующих ограничениях

$$D_{p1} < D_{p2} < \dots < D_{p3} < \dots < D_{pn}; \quad (3)$$

$$b_q < b_{q+1} < \dots < b_{q+K_{pj}} \text{ для } \forall q = \sum_{m=1}^{j-1} K_{pm} \dots \sum_{m=1}^j K_{pm}. \quad (4)$$

Ограничение (3) является очевидным и характеризует расположение РИ на модулях МРИ исходя из возможности выполнения перехода растачивания вообще. Ограничение (4) имеет следующий смысл: для группы резцовых вставок, обрабатывающих  $j$ -ю поверхность, модуль МРИ большего номинального диаметра могут вступать в работу только после модуля МРИ с меньшим номинальным диаметром настройки.

В результате генерации вариантов перестановок на множестве  $\{b\}$  и селекции по ограничениям (рис.2) предлагается вариант порядка ввода РИ в работу. Для отдельного варианта, исходя из соотношений между длинами обрабатываемых ступеней и расстояний между ними с расстояниями между РИ, определяются допустимые осевые расстояния  $[L_{i, i+1}]_{\min}$  и  $[L_{i, i+1}]_{\max}$ .

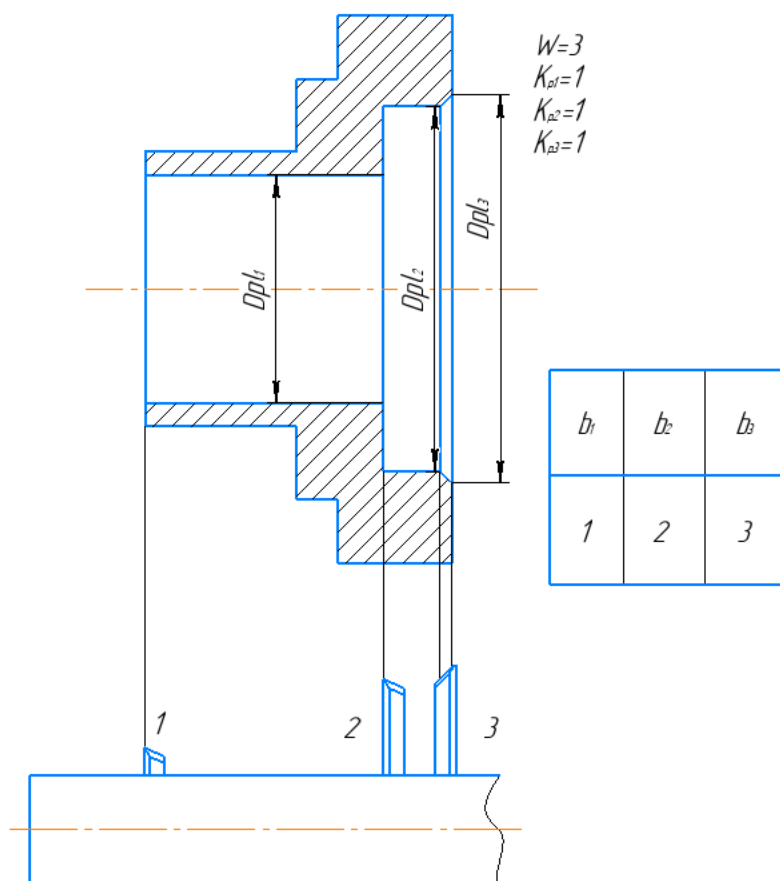


Рис. 2. Порядок ввода РИ в работу.

Выходной информацией этапа синтеза расположения РИ является вариант, который характеризуется:

- порядком ввода РИ в работу, описываемым множеством  $\{b\}$ ;
- множеством пар чисел  $[l_{i, i+1}]_{\min}$  и  $[l_{i, i+1}]_{\max}$  для последовательных пар РИ и последнего РИ со шпинделем.

Следующий этап проектирования МРИ заключается в синтезе компоновок МРИ для вариантов расположения РИ. Для одного варианта расположения РИ на модулях МРИ существует несколько компоновочных решений. Первое компоновочное решение определяется путём  $\Pi_i$  в графе  $G$  таким, что вершины, входящие в путь  $\Pi_i$  соответствуют модулям, из которых комплектуется МРИ. Задача определения соответствующих путей решается в две стадии:

1. Определить в графе  $G$  такие подмножества вершин, через которые обязательно должны пройти пути  $\Pi_i$ .

Так, если первый модуль МРИ содержащий РИ, настроенный на размер  $D_{pl1}=50\text{мм}$ , соответствует вершине  $x_1 \in x_{k1}$ , то другие вершины  $x_k \in x_{упг} \cup x_{ппг}$ . МРИ устанавливается на станке посредством хвостовика второго модуля, следовательно, последний модуль соответствует вершине  $x_3 \in x_x$ . Далее для  $D_{pl2}$  и  $D_{pl3}$  исходя из технологических параметров вектора параметров, определяется принадлежность модуля к

конкретному размеру. Таким образом, устанавливается  $n=3$  подмножеств в  $x_i'$  множества  $X$  таких, что для каждого  $i$ -го РИ и соответствующего ему модуля со своим вектором параметров найдется некоторая вершина  $x_i$  в графе  $G$ , причем

$$x_i \in x_i' \subseteq X \quad (i=1...3),$$

$$x_i' \subseteq x_{кг},$$

$$x_k' \subseteq x_{упг} \cup x_{ппг} \quad (k=1...3).$$

Хвостовик для установки МРИ на станке определяется конструкцией станка, и соответствующая ему вершина в графе  $G$  определяется:

$$X_z \in x_4' \subseteq x_x.$$

Возможность бинарного сочетания модулей  $i$  и  $k$  соответствует достижимости вершины, приписанной к  $k$  из вершины, приписанной к  $i$ . Тогда для модуля, соответствующего вершине  $x_k$ , можно определить подмножество  $X_k$ , причем  $x_k \in X_k$ , такое, что  $\forall x_k$  достижима из  $x_{k-1}$ . Пусть  $x_1$  – вершина, соответствующая первому модулю, тогда:

$$x_2''' = R(x_1) \cap x_2',$$

где  $R(x_1)$  - множество достижимости вершины  $x_1$ ;

$$x_3''' = \left\{ \bigcup_{k=1}^{|x_2|} R(x_k \in x_2'') \right\} \cap x_3'';$$

$$x_2''' = \left\{ \bigcup_{k=1}^{|x_1|} R(x_k \in x_1'') \right\} \cap x_1'' \text{ и т. д.};$$

В результате на данной стадии устанавливается  $n=3$  подмножеств  $x_i$  таких, что для каждого  $i$ -го РИ, настроенного на  $D_{pi}$ , в комплекте можно найти модуль, соответствующая которому вершина  $x_k \in x_i'''$ .

Подмножества  $x_i$  являются ограниченными. Они могут быть пересекающимися или даже тождественными. Любой искомым путь  $\Pi_m$  обязательно проходит по одной из вершин  $x_k$  каждого их  $n$  подмножеств  $X_{mj}$ . В результате различных сочетаний вершин  $x_k$ , принадлежащих последовательным подмножествам  $x_i'''$ , формируется множество вариантов прохождения путей в графе  $G$ .

2. После установления подмножеств, через вершины которых обязательно должен пройти любой из путей  $\Pi_m$ , необходимо установить подмножества, через которые проходят пути  $\Pi_m$  для обеспечения в компоновке МРИ необходимых осевых расстояний между последовательными РИ. В конструкции МРИ эта функция реализуется использованием регулировки осевого положения промежуточных модулей.

При рассмотрении двух вершин графа  $G$  -  $x_k$  и  $x_q$ , у которых  $x_k \in x_q$ , а  $x_q \in x_{i+1}$ , когда вершины  $x_k$  и  $x_q$  соответствуют модулям  $i$  и  $i+1$ , несущим два последовательных РИ обнаруживается, что для определения возможных путей из  $x_k$  в  $x_q$  следует рассмотреть порожденный подграф  $G_i$  графа  $G$ , образованный на множестве вершин  $x_i^{IV}$ , причем

$$x_i^N = \left\{ R(x_k) \cap Q(x_q) \cap \{x_n \cup x_y\} \right\} \cup x_k \cup x_q,$$

$$x_1^N = \left\{ R(x_{k1}) \cap Q(x_{q1}) \cap \{x_3 \cup x_{y1}\} \right\} \cup x_{k1} \cup x_{q1},$$

$$x_2^N = \left\{ R(x_{k2}) \cap Q(x_{q2}) \cap \{x_3 \cup x_{y2}\} \right\} \cup x_{k2} \cup x_{q2},$$

$$x_3^N = \left\{ R(x_{k3}) \cap Q(x_{q3}) \cap \{x_3 \cup x_{y3}\} \right\} \cup x_{k3} \cup x_{q3},$$

где  $Q(x_q)$  - множество достижимых положений вершины  $x_q$ .

Для установления пути от  $x_k$  в  $x_q$  необходимо рассмотреть возможные пути в подграфе  $G_i^{IV}$ . Пусть на данном этапе весами вершин, принадлежащих подмножеству  $x_i^{IV}$ , являются длины модулей, соответствующих вершинам. Тогда задача обеспечения осевого расстояния сводится к определению таких путей  $\Pi^{IV}$  в подграфе  $G_i^{IV}$ , чтобы

$$(l_{i,i+1})_{min} \leq \sum_{x_t \in \Pi^{IV}} h(x_t) \leq [l_{i,i+1}]_{max}, \quad (5)$$

$$(l_{1,2})_{min} \leq \sum_{x_t \in \Pi^{IV}} h(x_{t1}) \leq [l_{1,2}]_{max},$$

$$(l_{2,3})_{min} \leq \sum_{x_t \in \Pi^{IV}} h(x_{t2}) \leq [l_{2,3}]_{max},$$

где  $h(x_t)$  - вес вершины  $x_t$  или длина соответствующего модуля.

Чтобы сумма весов всех пройденных вершин обеспечила удовлетворение неравенства (5), необходим соответствующий проход по подграфу  $G_i$ . При этом для сокращения объема поиска необходимо чтобы стыки узлов соединения модулей МРИ были расположены в сечениях с наименьшим изгибающим моментом.

Применительно к поиску в подграфе это уточнение имеет тот смысл, что путь должен проходить по вершинам с разными весами, но при такой последовательности, чтобы обеспечивалось возрастание весов.

Количество путей в подграфе  $G_i$ , удовлетворяющих неравенству (5), является конечным. Рассматривая все пары вершин последовательных подмножеств  $x_i'''$  и  $x_{i+1}'''$ , для каждой пары определяется порожденный подграф  $G_i$  и в этом подграфе определяются пути, удовлетворяющие соответствующему этой паре вершин неравенству (5).

Аналогично определяются пути между вершиной и подмножества  $x_n'''$ , соответствующей модулю, несущему последний РИ, и вершиной из подмножества  $x_n$ , соответствующей хвостовику, причем

$$x_{n+1}''' = \left\{ \bigcup_{k=1}^{|x_n|} R(x_k \in x_n''') \right\} \cap x_{n+1}'';$$

$$x_4''' = \left\{ \bigcup_{k=1}^{|x_3|} R(x_k \in x_3''') \right\} \cap x_4'';$$

$$x_{n+1}^{IV} = \left\{ R(x_k \in x_n''') \cap Q(x_z \in x_{n+1}'') \cap \{x_n \cup x_y\} \right\} \cup x_z,$$

$$x_4^{IV} = \left\{ R(x_k \in x_3''') \cap Q(x_z \in x_4'') \cap \{x_3 \cup x_y\} \right\} \cup x_z,$$

далее определяется порожденный подграф  $G_i$  и находятся пути в нем.

Таким образом, в результате выполнения двух этапов проектирования МРИ формируются конечное множество путей  $\Pi = \{\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_e\}$  в графе  $G$ , соответствующих:

1. Различным последовательностям ввода РИ в работу, описываемым упорядоченным множеством  $\{b\} = \{b_1, b_2, \dots, b_e\}$  и соответствующим им схемам расположения РИ на МРИ.

2. Различным вершинам в подмножествах  $x_i'''$ .

3. Различным путям в порожденных подграфах  $G_i^{IV}$  между вершинами подмножеств  $x_i'''$  и  $x_{i+1}'''$ .

Каждый путь  $\Pi_m$  проходит через вершины графа  $G = \{x_{jm}, \dots, x_{zm}\}$ , соответствующие модулям

$\{M_{km} \dots, M_{vm}\}$ , образующим множество  $e_m$ , которое соответствует  $m$ -й конструкции МРИ. Выполнение этих двух этапов приводит к определению множества  $\{\theta\}$  оптимальных конструкций МРИ.

#### Выводы

1. В результате выполнения рассмотренных этапов проектирования модульного расточного инструмента может быть сформировано оптимальное по выбранному критерию решение, которому соответствует упорядоченное множество модулей с соответствующими параметрами.

2. Получена система уравнений, при решении которой назначается упорядоченное множество модулей модульного расточного инструмента, необходимых для высокопроизводительной обработки ступенчатых отверстий в заготовках корпусных деталей.

3. Последовательная сборка указанного множества модулей, из числа имеющихся в заданном материальном обеспечении, может быть сформирован оптимальный модульный расточной инструмента для выполнения заданного технологического процесса обработки нескольких размерных модификаций однотипных деталей.

#### Список литературы

1. Маслов А.Р. Модульные инструментальные наладки // Станкоинструмент. 2021. №2 (023). – С. 86-92.
2. Маслов А.Р. Инструментальные системы машиностроительных производств: учебник для ВУЗов // М.: «Машиностроение», 2006. 335 с.
3. Худяков М.П. Повышение эффективности

УДК 72.05

агрегатно-модульных расточных инструментов методами математического моделирования: дисс. ...канд. техн. наук // М.: МГТУ «Станкин». 1998. 213с.

4. Аслибемян С. Р., Мещеряков Р. К. Расширение технологических возможностей вспомогательного инструмента блочно-модульной конструкции // Станки и инструмент. 1988. № 2. С. 12-15.

5. Маслов А.Р., Смолкин Е.М., Тивирев Е. Г. Модульные расточные инструментальные наладки // Станкоинструмент. 2021. № 4 (025). С. 48-57

6. Темчин Г. И. Многоинструментные наладки. Теория и расчет. (2-е изд., испр.) // М.: Машгиз, 1963. 543 с.

#### Сведения об авторах

**Кожин-Гребенщиков** Павел Петрович – студент кафедры «Инструментальная техника и технологии» МГТУ имени Н.Э. Баумана. Тел. +7(926)090-89-09.

**Маслов** Андрей Руффович – д-р техн. наук, профессор кафедры «Инструментальная техника и технологии» МГТУ имени Н.Э. Баумана. Тел. +7(958)832-85-03

**Тивирев** Евгений Геннадьевич – канд. техн. наук, преподаватель кафедры «Инструментальная техника и технологии» МГТУ имени Н.Э. Баумана. Тел. +7(499)263-65-03.

---

### ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МОДЕЛИ МНОГОУРОВНЕВЫХ АРХИТЕКТУРНО-СРЕДОВЫХ ОБЪЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДСКИХ АНСАМБЛЕЙ СИНГАПУРА)

---

*Кравченко Е.Д.*

*ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»,  
Россия, 344082, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105*

*Скопинцев А.В.*

*ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»,  
Россия, 344082, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая*

### PROMISING MODELS OF MULTILEVEL ARCHITECTURAL AND ENVIRONMENTAL OBJECTS (ON THE EXAMPLE OF URBAN ENSEMBLES OF SINGAPORE)

*E.D. Kravchenko*

*Southern Federal University,  
Rostov-on-Don, 105 Bolshaya Sadovaya str., 344082, Russia*

*A.V. Skopintsev*

*Southern Federal University,  
Rostov-on-Don, 105 Bolshaya Sadovaya str., 344082, Russia*

*DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2022.1.94.1619*

#### АННОТАЦИЯ

Рассматриваются особенности формирования многоуровневых архитектурно-средовых комплексов, имеющих полифункциональную ансамблевою структуру. Целью исследования ставится задача выявления ряда перспективных моделей многоуровневых архитектурно-средовых объектов на основе обобщения опыта формирования городских ансамблей Сингапура. Границы исследования включают функционально-пространственные аспекты рассмотрения и формирования подобных моделей. В качестве метода анализа предлагается структурно-морфологический подход к исследованию городских ансамблей. Выделяется три

структурные единицы: а) пространственных уровни, б) функциональные зоны; в) коммуникационные связи, которые «порождают» модельное «поле вариантов» многоуровневых архитектурно-средовых объектов. Предлагается шесть моделей подобных объектов по функционально-пространственному признаку, которые могут быть применимы в российской практике формирования городских ансамблей с многоуровневой структурой.

#### ABSTRACT

The features of the formation of multilevel architectural and environmental complexes with a multifunctional ensemble structure are considered. The aim of the study is to identify a number of promising models of multilevel architectural and environmental objects based on the generalization of the experience of the formation of urban ensembles in Singapore. The boundaries of the study include functional and spatial aspects of the consideration and formation of such models. A structural and morphological approach to the study of urban ensembles is proposed as a method of analysis. Three structural units are distinguished: a) spatial levels, b) functional zones; c) communication links that "generate" a model "field of variants" of multilevel architectural and environmental objects. Six models of similar objects on a functional and spatial basis are proposed, which can be applied in the Russian practice of forming urban ensembles with a multi-level structure.

**Ключевые слова:** многоуровневые архитектурно-средовые объекты, пространственные уровни, функциональные зоны; коммуникационные связи, модели.

**Keywords:** multilevel architectural and environmental objects, spatial levels, functional zones; communication links, models.

Введение. Отличительной особенностью современной урбанизированной архитектурной среды выступает тенденция к формированию полифункциональных архитектурно-средовых ансамблей - торгово-пешеходных, транспортно-коммуникационных, общественно-жилых и др. [1, 2, 3, 4].

Роль таких объектов чрезвычайно актуальна в формировании образа нового городского контекста и связана с доминированием прежде всего стиливого единства подобного ансамбля, полифункциональной, технологической и коммуникационной составляющей в дизайне его архитектурной среды. Поэтому всё чаще такие архитектурно-средовые объекты становятся *многоуровневыми*, дополняя известные геометрические и функциональные разновидности открытых и закрытых пространств города.

Под *«многоуровневыми архитектурно-средовыми объектами»*, в контексте данного исследования, понимаются доступные горожанам многофункциональные, пространственно-развитые архитектурные комплексы застройки, как самостоятельные средовые системы, состоящие из «архитектурной основы», открытых и закрытых пространств и имеющие ансамблевую многоярусную структуру. Они характеризуются относительно локализованными границами своего объемно-пространственного строения, многоуровневой функциональной эксплуатацией и сложной морфологической структурой с активной коммуникативной функцией.

В современных исследованиях уже рассматривались сходные градостроительные системы. Объектом изучения в них выступают «многофункциональные общественные пространства» (МОП), в которых исследуется потенциал функциональных возможностей открытых и закрытых пространств при формировании городского интерьера [5, 6, 7].

В данных работах делается основной акцент на полифункциональность общественных пространств; при этом сам объект исследования,

МОП, носит характер открытых средовых систем, имеющих не столько архитектурную, сколько пространственную основу.

Относительно недавно введен термин «многоуровневые пешеходные пространства» (МПП) с выделением различных теоретических моделей подобных пространств по нескольким признакам: по характеру расположения в структуре города; по степени открытости и закрытости; по функциональному использованию; по количеству уровней; количеству коммуникаций и т.д. [8, 9, 10].

Отмечался социальный и «сценарный» характер многоуровневых пешеходных пространств [11,12, 13]; с выделением особой дизайнерской составляющей пешеходных средовых систем [14,15].

В то же время, в данных исследованиях объектом изучения остаются преимущественно пешеходные открытые и закрытые «пространства», для которых архитектурная основа носит лишь роль «границ», в которых развиваются данные пространства (интерьерные или экстерьерные). Второй отличительный признак: данные пространства не являются в своих границах локализованными и носят преимущественно «транзитный» характер, как непрерывно развивающейся пешеходной коммуникации.

Таким образом, обзорный анализ представленных исследований показал, что объектом изучения в них выступают преимущественно «общественные пространства», имеющие многоуровневый характер с открытыми границами и непрерывным пешеходным движением. Многоуровневые «архитектурно-средовые объекты» - как самостоятельные городские ансамбли, имеющие относительно четкие пространственные границы и локализованную ансамблевую структуру в научных исследованиях специально не выделялись и не рассматривались.

В то же время бурно развивающийся городской контекст ряда европейских и азиатских городов дает возможность увидеть ведущую роль



именно «ансамблевого подхода» с участием «архитектурно-средовых объектов» с многоуровневой ансамблевой структурой в формировании новых моделей городской среды [1, 2, 14, 16]. Особенно это наглядно представлено в городских ансамблях Сингапура. Сингапур, как город-государство, принявшее программу «устойчивого развития» городской среды на период 2015-2030 г.г., демонстрирует новые подходы к многоуровневому и эффективному использованию городского пространства за счет вертикального разделения и симбиоза различных функциональных уровней в пределах ансамблевой застройки центра города, жилых и деловых кварталов.

Исследование и классификация подобных архитектурно-средовых комплексов открывает новые возможности для российской практики формирования городских ансамблей.

**Цель исследования** – выявить ряд перспективных моделей многоуровневых архитектурно-средовых объектов на основе обобщения опыта формирования городских ансамблей Сингапура. Границы исследования включают функционально-пространственные аспекты рассмотрения и формирования подобных моделей

**Методы.** В качестве метода исследования предлагается структурно-морфологический подход к анализу городских ансамблей Сингапура с выделением 3-х структурных единиц: а) пространственных уровней, б) функциональных зон; в) коммуникационных связей. Симбиоз данных структурных единиц рождает «вариативное (модельное) поле» многоуровневых архитектурно-средовых объектов.

В состав «пространственных уровней» - как структурно-морфологических единиц – входят: а) подземные ярусы городских ансамблей (посадочные платформы, перроны, загрузочные площадки, парковочные зоны для автотранспорта); б) наземные торговые, жилые и офисные этажи; в) структурные элементы верхних уровней (платформы, навесы, эксплуатируемые кровли).

«Функциональные зоны» включают: а) общественные пространства (функции торговли, развлечений, досуга, зрелищ, общепита); б) деловые пространства (зоны для бизнеса, деловых встреч, конференций, выставок, офисов, делового управления, администрации); в) жилые зоны; г) ландшафтные пространства и рекреации (зеленые кровли, вертикальные сады, висячие платформы с эко-парками, рекреациями).

«Коммуникационные связи» включают: а) подземные коммуникации (тоннели, подземные уровни веток ж/д транспорта местного, областного и федерального значения; развязки и пересечения); б) наземные технологические связи и коммуникации (пешеходные переходы, галереи, эспланады, подъездные и передвижные платформы, ветки монорельсового транспорта); в) внутренние коммуникации (эскалаторы, траволаторы, электротранспорт, вертикальные коммуникации).

**Результаты:** С учетом обозначенных структурно-морфологических единиц, как компонентов архитектурно-средовых объектов, можно описать всевозможные варианты формообразования городских ансамблей Сингапура и свести к отдельным стереотипам – как самостоятельным «архитектурно-типологическим моделям».

Признаком классификации может выступать «ведущая функция», формирующая архитектурно-средовую ансамбль. Принятие парламентом Сингапура программа глобальных изменений в строении городского пространства коснулась прежде всего жилых кварталов. Новый комплекс Kampong Admiralty в Сингапуре (архитектурное бюро WOHA) символизирует модель многоуровневого архитектурно-средового объекта с преобладающей «жилой функцией», с опусканием транспорта на подземный уровень B0, с созданием рекреационной, общественной и сервисной зоны на первом и втором наземном уровне B1, B2; формированием нескольких уровней жилых блоков и завершением ансамбля с созданием террасированных микроландшафтов на крышах зданий (см Рис 1.).

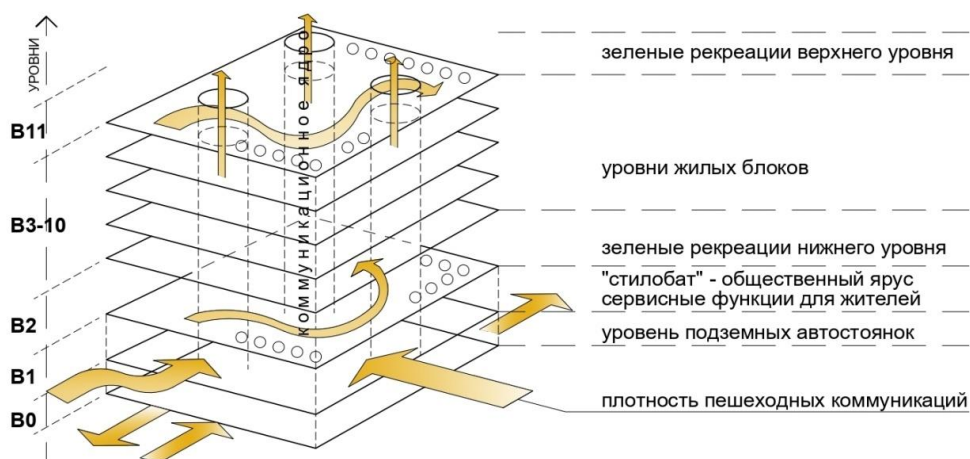


Рис. 1. Модель многоуровневого архитектурно-средового объекта с преобладающей «жилой» функцией

Основной пространственной идеей многоуровневых средовых комплексов с деловой функцией является разделение на функциональные ярусы – соседствующих на одном «общественном стилобате» различных деловых блоков: со зрелищной функцией (конгресс-холл), функции

делового управления; бизнес-функции (банки, бизнес-инкубатор); офисно-жилой блок, Горизонтальные и вертикальные связи, предоставляют возможность переходить с одного функционального уровня на другой (см. Рис. 2).

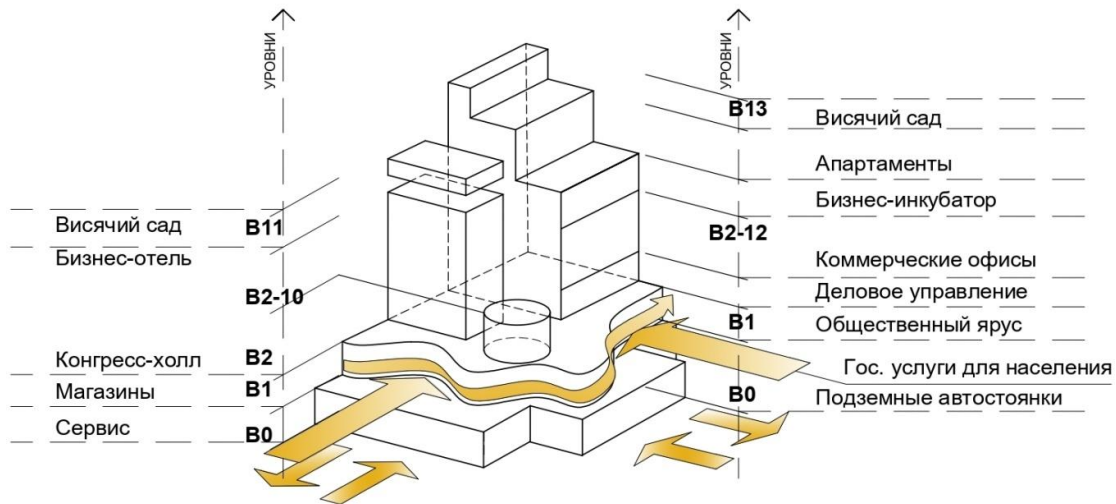


Рис. 2. Модель многоуровневого архитектурно-средового объекта с преоб

ладающей «деловой» функцией. Чередующиеся ярусы общественных и торговых функций являются преобладающей моделью архитектурно-средовых ансамблей центральной части города. Примером выступает многофункциональный центр ION Orchards.

Доминирующими здесь становятся пешеходные горизонтальные коммуникации – галереи и вертикальные многосветные пространства-атриумы, которые «толкают» потребителя на более разнообразное и увлекательное получение услуг и информации (см. Рис. 3).

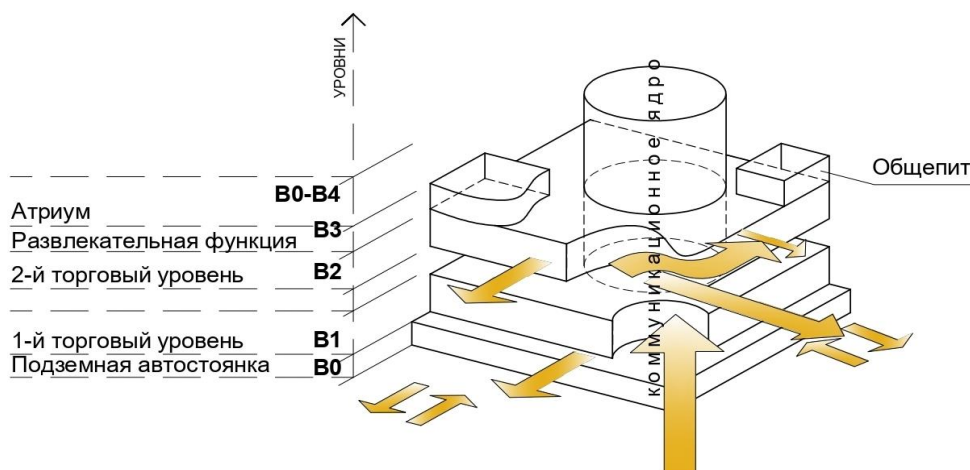


Рис. 3. Модель многоуровневого архитектурно-средового объекта с преобладающей общественно-торговой функцией

Линейные торгово-пешеходные пространства-ансамбли получили широкое распространение в практике городского строительства Сингапура, благодаря комфорту, комплексности обслуживания, высокой социально-экономической эффективности и адаптивности к различным видам деятельности. Прототипом такой модели выступает застройка центральной улицы Сингапура Orchard Road (Садовой). В основе средового ансамбля

находится главная коммуникационная артерия – торговый мол с несколькими подземными и наземными уровнями, по бокам которого расположились офисы, элитные квартиры, зоны отдыха и рекреации для жильцов (Рис.4). Параллельно основной торгово-пешеходной эспланаде происходит развитие нескольких дополнительных пешеходных «дублеров», разнесенных по уровням.

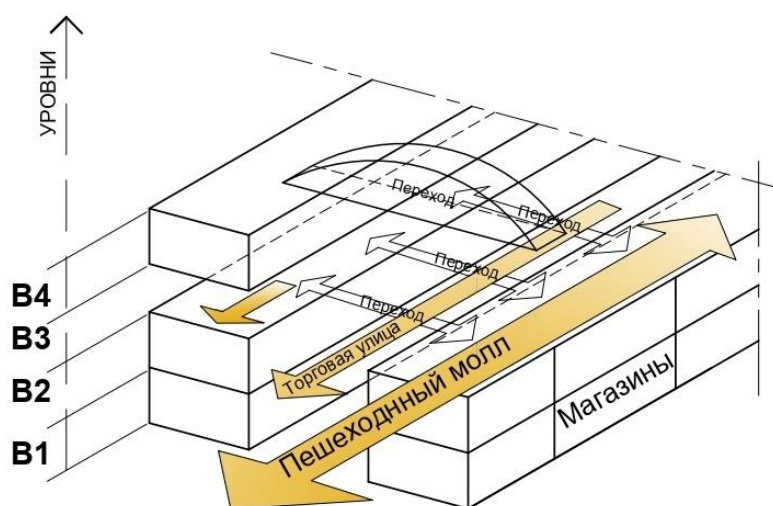


Рис. 4. Модель многоуровневого линейного ансамбля с преобладающей торгово-пешеходной функцией

В современной практике архитектурно-строительного проектирования Сингапура большое значение приобретают многоуровневые транспортно-пересадочные комплексы (ТПК), которые помимо основной – коммуникационной функции приобретают ряд вторичных и третичных

общественных функций. Прообразами выступают терминалы высокоскоростных железных дорог и вокзалы Сингапура (см. Рис. 5). Распределение транспортных коммуникаций по нескольким уровням с различными векторами движения формируют «интермодальные ТПК».

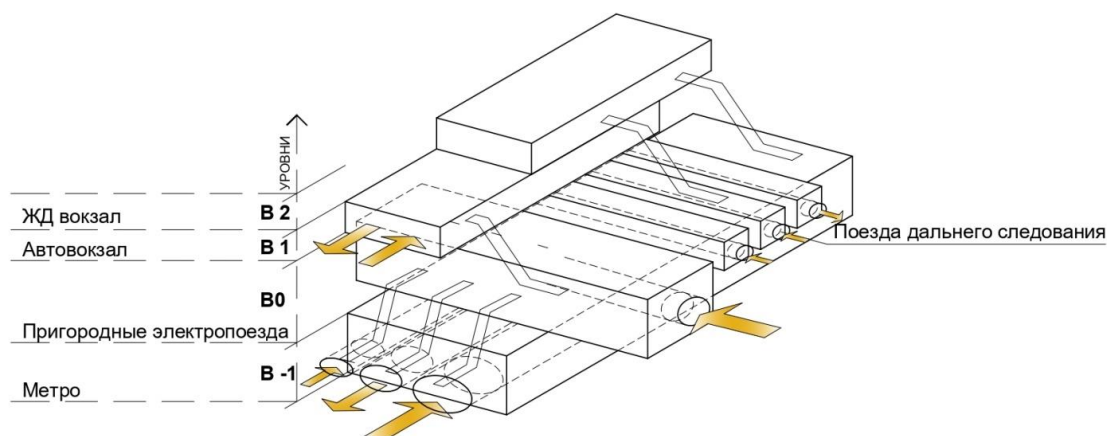


Рис. 5. Модель многоуровневого архитектурно-средового ансамбля с преобладающей транспортно-пересадочной функцией

Представленный ряд моделей остается открытым и может быть дополнен классификацией по другим признакам: количеству уровней, характеру их группировки и объединения вокруг коммуникаций и т.д.

**Выводы.** Обобщение опыта строительства городских архитектурно-средовых ансамблей Сингапура дало возможность выявить ряд адаптивных проектных моделей городской среды, основанных на сочетании относительно устойчивых структурных единиц. Данные модели представляют значительный интерес для российской практики формирования архитектурно-средовых объектов. Выделение структурно-морфологических единиц подобных моделей позволит в будущем перейти к их формализации и внедрению BIM-технологий в практику проектирования.

#### Литература:

1. NL architects combines residential towers and shopping center in China. [Electronic resource] - URL: <https://www.designboom.com/architecture/nl-architects-vankely-shopping-center-xiamen-china13-04-2014/>
2. Stevens, Ph. Jardins de la Rambla de Sants is a park elevated above railway lines in Barcelona / Philip Stevens // Журнал DesignBoom. - 2016. - URL: <https://www.designboom.com/architecture/jardins-de-la-rambla-de-sants-elevated-park-above-railway-lines-barcelona-11-23-2016/> (дата обращения 14.05.2019)
3. Гельфонд, А. Л. Архитектура общественных пространств : монография / А. Л. Гельфонд. - Москва: Инфра-М, 2019. - 412 с.
4. Крашенинников, А. В. Перспективные модели публичных пространств городской среды / Николаев Е. Д., А. В. Крашенинников //

Архитектура и строительство России. Ежемесячный научно-практический и культурно-просветительский журнал. - № 1 (229). - 2019. - С. 34-39.

5. Лазарева, М.В. Многофункциональные пространства крупных общественных комплексов / М.В. Лазарева – М., 2007.

6. Tardin, Raquel. System of open spaces: concrete project strategies for urban territories / Raquel Tardin. - New York : Springer Science+Business Media, 2013. -293 p.

7. Stevens, Quentin. The ludic city: exploring the potential of public spaces / Quentin Stevens. - New York: Routledge, 2007. - 234 p.

8. Лисина О. А. Теоретические модели многоуровневых пешеходных пространств / О. А. Лисина, Е. В. Кайдалова // Жилищное строительство. - 2019. -№ 12. - С. 14-20.

9. Соколова, Н. В. Городские пешеходные системы и их развитие в современных градостроительных концепциях / Н. В. Соколова, О. И. Сухова // Творчество и современность. - 2019. - № 1 (9). - С. 57-61.

10. Fontana Tierney. Designing Walkable Urban Thoroughfares: A Context Sensitive Approach / S. Bochner Brian, M. Daisa James, M. Lisa. - USA : Institute of Transportation Engineers, 2010. - 215 p.

11. Крашенинников А.В. Социальная интеграция в моделях городской среды // Architecture and Modern Information Technologies. 2018. № 4 (45). С. 329-338.

12. Крашенинников, А. В. Сценарное проектирование городской среды / А. В. Крашенинников // Architecture and Modern Information Technologies. - 2017. -№ 4 (41). - С. 242-256.

13. Cilento, K. The New York High Line officially open [Electronic source] / K. Cilento // ArchDaily. - 2009. - URL : <http://www.archdaily.com/24362/the-new-york-high-line-officiallyopen>;

14. Global street design guide: global designing cities initiative. - New York: IslandPress, 2016. - 397 p.

15. Henckel, D. Space-time design of the public city / Dietrich Henckel, Susanne Thomaier, Benjamin Könecke, Roberto Zedda, Stefano Stabilini. - New York : Springer Science+Business Media, Dordrecht, 2013. - 324 p.

16. Marina Barrage // Greenroofs.com. Connecting the planet + Living architecture [Electronic resource]. - URL : <https://www.greenroofs.com/projects/marina-barrage/> (дата обращения 14.05.2019)

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 539

---

## ТЕОРИЯ СТРУН – ТЕОРИЯ ВСЕГО

---

*Гуров Валерий Александрович**Кандидат технических наук**Кубанков Александр Николаевич**доктор военных наук, профессор**Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ).*

## STRING THEORY – THE THEORY OF EVERYTHING

*Gurov Valeriy Aleksandrovich,**Candidate of Technical Sciences**Kubankov Alexander Nikolaevich**Doctor of Military Sciences, Professor**Moscow Technical University of Communications and Informatics (MTUCI)**DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2022.1.94.1614*

### АННОТАЦИЯ

В попытках создания единой теории строения материального мира Вселенной можно выделить на сегодня три направления: Эйнштейновский подход, квантовая теория и теория струн. Хотя каждое из направлений в какой-то мере используют теоретические наработки друг друга, но тем не менее сильно различаются исходными допущениями в математических построениях. При этом истинность таких допущений, как кривизна пространственно-временного континуума, точность элементарных частиц, существование струн или  $m$ -мерных бранов вызывает определенное сомнение. В предлагаемой вниманию статье автор исходит из структурной организации элементарных частиц, которая обосновывается в ряде работ, что позволяет проложить путь к пониманию строения материального мира на основе несколько модифицированных результатов теории струн.

### ANNOTATION

In attempts to create a unified theory of the structure of the material world of the Universe, three directions can be distinguished today: the Einstein approach, quantum theory and string theory. Although each of the directions to some extent use each other's theoretical developments, they nevertheless differ greatly in the initial assumptions in mathematical constructions. At the same time, the truth of such assumptions as the curvature of the space-time continuum, the pointedness of elementary particles, the existence of strings or  $m$ -dimensional branes causes some doubt. In this article, the author proceeds from the structural organization of elementary particles, which is justified in a number of works, which allows to pave the way to understanding the structure of the material world on the basis of slightly modified results of string theory.

**Ключевые слова:** Теория струн, структура элементарных частиц, солитоны, пятимерный континуум, Вселенная.

**Keywords:** String theory, the structure of elementary particles, solitons, a five-dimensional continuum, the Universe

Является фактом то, что наибольших успехов в познании материального мира на его микроуровне на сегодня достигла квантовая теория, и особенно в части построения Стандартной модели элементарных частиц. Ее математический аппарат позволяет на единой теоретической основе описать три из четырех взаимодействий: электромагнитное, слабое и сильное. Но все попытки создания единого математического аппарата, объединяющего все четыре фундаментальных взаимодействия элементарных частиц, к успеху не привели. Напротив, появившаяся относительно недавно теория струн отличилась тем, что ее математический аппарат с самого начала стал претендовать на единую теорию всех фундаментальных взаимодействий. Однако почти все прогностические выводы этой теории не

удается на сегодня подтвердить экспериментальным путем. Главным образом из-за недостаточности прикладываемой энергии в исследованиях столкновения элементарных частиц. Вся надежда на более мощные ускорители. В какой-то мере спорным в теории струн является и то, что в своей основе она исходит из допустимости колебаний гипотетических струн или даже суперструн ( $M$ -бран) в 10-мерном пространстве. При этом считается, что такими пространственными измерениями можно манипулировать, добавляя, сворачивая и разворачивая их. Критериями необходимости (существования) дополнительных измерений является отсутствие математических расхождений, а также чтобы квантово-механические вероятности при этом имели допустимые значения. В рамках такой

теории Вселенная представляется десятимерной, заполненной одномерными струнами. Описание реального мира включает три развернутых измерения, плюс одно временное, и шесть свернутых абстрактных математических сущностей (многообразия Калаби-Яу), выступающих в роли дополнительных измерений. В отличие от Стандартной модели, математический аппарат которой построен из предположения точечности элементарных частиц, данная теория исходит из конечных размеров струн, моды колебаний которых соответствуют проявлениям элементарных частиц в реальном мире.

Стандартная модель основывается на квантовой механике. Но те, кто «использует квантовую механику, просто следуют формулам и правилам, установленным «отцами-основателями» теории, и четким и недвусмысленным вычислительным процедурам, но без реального понимания того, почему эти процедуры работают, или что они в действительности означают. Это математически корректная теория, и единственная причина того, что мы доверяем квантовой механике, состоит в том, что ее предсказания подтверждаются с поразительной точностью. По какой-то исторической случайности, физики создали чрезвычайно уродливую формулировку квантовой механики, которая оказалась успешной с точки зрения количественных предсказаний, но маскирует ли она истинную сущность природы? Этого не знает никто» [1].

Квантовая механика показывает, что те фундаментальные концепции, с которыми мы сталкиваемся в макромире, теряют всякое значение при переходе к микромиру. И это создает огромные сложности в попытках применения концепций квантовой механики для объяснения Вселенной, законы которой во многом определяются гравитационным взаимодействием космических образований. Теория струн напротив, предлагает теоретическое описание свойств Вселенной на ультрамикроскопическом уровне. Такое описание позволяет эйнштейновскую общую теорию относительности сделать совместимой с законами квантовой механики. Простая замена точечных элементарных компонентов материи струнами приводит к устранению противоречий между квантовой механикой и общей теорией относительности. Теория струн дает единый способ объяснения свойств всех взаимодействий и всех видов материи.

В соответствии с теорией струн на микроскопическом уровне все состоит из комбинаций вибрирующих волокон и их пространственно-объемных образований (бранов). Каждая из разрешенных мод колебаний струны в теории струн проявляется в виде частицы, масса и заряды которой определяются конкретным видом колебания. Частицы, переносящие взаимодействия, также связаны с определенными модами колебания струны, и, следовательно, вся материя и все взаимодействия объединяются колебаниями микроскопических струн. Таким образом,

материальная основа всего вещества во Вселенной и всех взаимодействий являются одной и той же – некими вибрирующими волокнами и все различия между ними лишь в модах резонансных колебаний. Однако при всей такой простоте подхода математический аппарат теории струн столь сложен, что на сегодня никто не знает ни точных уравнений, ни тем более точных решений. Физики используют лишь некоторые приближения, да и они поддаются только частичному решению.

В теории считается, что размеры таких фундаментальных струн столь малы, что они не превышают планковских размеров и все свернутые пространства, в которых проявляются и вибрируют эти струны также имеют столь малые размеры. Струны в такой теории могут двигаться в крошечных пространствах. Когда струна перемещается, осциллируя по ходу своего движения, геометрическая форма дополнительных измерений играет решающую роль, определяя моды резонансных колебаний. Поскольку моды резонансных колебаний струн проявляются в виде масс и зарядов элементарных частиц, это дает основание утверждать, что фундаментальные свойства Вселенной в значительной степени определяются размерами и формой дополнительных измерений. Этот результат представляет собой одно из наиболее глубоких следствий теории струн.

С другой стороны, что собой представляют такие струны, как-то выносятся за пределы обсуждения. В этой связи становится интересной твисторная теория Роджера Пенроуза, которая исходит из некоего четырехмерного комплексного многообразия, описывающего поведение безмассовых спиновых частиц. Таким образом, пространство твисторов – комплексное, в нем каждая точка описывается четырьмя мнимыми числами. Каждому твистору в соответствие ставится действительное число, называемое спиральностью. Спиральность может быть положительной, отрицательной или равной нулю. Нулевой спиральности соответствует в частности фотон. Такое представление твисторных струн порождает хотя и сложный, но более конструктивный математический аппарат, и поэтому представляет для физиков интерес, позволяя получать ряд решений, применимых и в «чистой» теории струн.

Таким образом, оба подхода оперируют некими абстракциями – струнами, оставляя за пределами обсуждения, физическую природу этих струн, и оставляют некую свободу интерпретации в рамках известных на сегодня данных о физических процессах во Вселенной и, прежде всего, в таких проявлениях физического вакуума, как спонтанно происходящие в любой его пространственной точке энергетические флуктуации. Теория струн говорит, что физический вакуум структурирован. Структурная ячейка имеет планковские размеры и содержит некие струны. Но энергетические флуктуации также порождаются этими кантами пространства. Таким образом, в пределах этих

ячеек сконцентрирована энергия, которая при случайных взаимодействиях с энергией соседних ячеек может приводить к концентрации этих энергий с последующей ее материализацией в частицах, обладающих известными в физике свойствами. Тогда логично предположить, что вот такая энергетические субстанции и есть те самые гипотетические струны. Такая энергетическая субстанция резонансно заключена в пределах планковских размеров, спирально скручена в свое постоянном движении со скоростью пропорциональной скорости света, проявляя тем самым свойства, подобные упругости. Упругие свойства структурных ячеек пространства порождают своеобразную упругость всего пространства Вселенной и напряженности, вызванные наличием материальных тел в такой среде, и вполне адекватно описываются уравнениями, в точности повторяющими известные уравнения кривизны пространства из ОТО. В пользу изложенной модели структурирования физического вакуума говорит ее подобие физической модели, на основе которой Максвелл вывел свои уравнения распространения электромагнитного излучения.

Исходя из предложенной модели несколько по-иному представляются и проявления элементарных частиц в материальном мире. Они возникают не как материализация мод колебаний струн, а как некие резонансно устойчивые вихревые образования локального множества взаимодействующих энергетических субстанций структурных элементов пространства. Есть несколько работ [6-8], в которых электрон рассматривается как частица, обладающая пространственной структурой в форме тора. Такой тор по сути является кольцевым резонатором, в котором движется энергетическое вихревое образование (солитон) со скоростью света. Длина большой окружности равна длине волны с энергией, равной энергии массы покоя электрона. Исходя из известных значений массы электрона, скорости света и постоянной Планка в этих работах получают, что радиус такого резонатора будет равен комптоновской длине волны, а отношение сечения тора к диаметру его большой окружности при этом становится равным в точности значению постоянной тонкой структуры. Такие точные значения некоторых фундаментальных констант, получаемые расчетным путем на основе модели структуры электрона, дают веские основания для признания ее близкой к истине. Таким образом, электрон в этой модели представляет одиночную энергетическую волну (солитон), вращающуюся со скоростью, близкой к скорости света, по кольцу с длиной окружности, равной длине волны, отвечающей энергии массы покоя электрона. В таком представлении электрон выглядит как осциллятор, постоянно воздействующий на среду, вызывая в ней напряжение, а учитывая частоту такого вращения, такое напряжение будет восприниматься как электростатическое напряжение, вызываемое зарядом электрона. Причем, если

направление вращения солитона совпадает с направлением вращения квантовых энергетических вихрей, то этот заряд будет одного знака, образуя вокруг себя область «растяжения» пространства. В противном случае – противоположного, создающий область «сжатого» пространства. Любое динамичное изменение напряженности области пространства возбуждает энергетические кванты пространства (струны), приводя к появлению гармоник, проявляющихся в возникновении в ортогональной плоскости магнитной напряженности.

Более простая структура у нейтрино. Ему соответствует локальный солитон. В зависимости от энергии нейтрино будет различной лишь область квантованного пространства, вовлекаемая в энергетический вихрь, или конгломерат струн. В отличие от таких элементарных частиц, как электрон и нейтрино, протон имеет более сложную структуру, состоящую из трех динамично взаимодействующих солитонов, которая обосновывается на тех же принципах, что и для структуры электрона.

Таким образом, в этой, в целом непротиворечивой модели, связь с модами колебаний струн, помимо динамического взаимодействия, проявляется еще в самой возможности резонансного распространения колебаний струн с последующим образованием энергетических солитонов, проявляющихся как элементарные частицы. Такое резонансное солитонное образование возможно только при локальном энергетическом взаимодействии квантов пространства суммарно равным энергетике структурного образования.

Примерно на таких же принципах может быть рассмотрено и строение остальных элементарных частиц.

Выше уже отмечалось, что теория суперструн оперирует 10-мерным пространством, из которых только три развернуты, образуя мир, данный нам в ощущениях, или считая вместе с временным измерением – четырехмерный континуум. Все остальные полагаются свернутыми.

Но так ли?

Теодор Калуца еще в 1919 представил работу, в которой ввел в уравнение поля Эйнштейна для гравитации пятое измерение вместо обычных четырех. Из дальнейших расчетов Калуцы получалось, что эти пятимерные уравнения содержат четырехмерную теорию Эйнштейна и дополнительный компонент, который полностью соответствовал теории света Максвелла. Есть и более поздние работы, в частности взаимодействующие взаимодействия в окончательном виде изложены в работе Ю.С. Владимировой [3]. В этой работе на основе общеквариантного монадного формализма анализируются метрический тензор 5-мерного пространственно-временного континуума. При этом из пяти геодезических уравнений в 5-мерном континууме четыре совпадают с уравнениями движения заряженных частиц в гравитационных и

электромагнитных полях, а пятое уравнение по пятой координате означает отношение электрического заряда к его массе. Исходя из этих работ можно утверждать, что взаимодействия материальных тел, проявляющиеся в нашем четырехмерном континууме, по сути являются проекциями событий 5-ти мерного развернутого континуума. А вот остальные шесть измерений, по видимому, свернуты и, исходя из принципов симметрии, скорее всего по два спирально свернутых разнонаправленных измерения на каждое развернутое метрическое. Такой подход значительно упрощает анализ в теории струн, но противоречит представлению свернутых пространств как многообразия Калаби-Яу и фундаментальному выводу теории струн о влиянии форм многообразия на существенные проявления в реальном мире.

Пятое измерение не похоже на данные нам в ощущениях четыре. Наш четырехмерный мир является как бы тенью пятимерной реальности. И тем не менее четырехмерное и пятимерное описания на деле эквивалентны. Эта эквивалентность хотя и неочевидная, но точная: любое утверждение, которое можно сформулировать в четырехмерной физике, имеет аналог в пятимерной, и наоборот.

Калуца также ввел гипотезу «цилиндрического условия», согласно которой ни одна из компонент пятимерной метрики не зависит явным образом от пятой координаты, которое дало основание Клейну представить его как микроскопически свернутым. Однако такое допущение в свете изложенных выше доказательств относительно резонансно-вихревых структур материальных тел полагается неверным. Именно уникальная «цилиндричность» гиперпространства и порождает его уникальные свойства, которые находят свое отражение в четырехмерных континуумах.

Если реальность существования развернутого гиперпространства (5-ого дополнительного измерения) истинна, то тогда напрашивается вывод, что видимая Вселенная есть одна из допустимых реализаций, в которой свойства 4-мерного пространственно-временного континуума, характеризующегося определенными значениями мировых констант, отвечающих неким гармоникам фундаментальных энергетических струн, создают резонансные условия для устойчивого существования солитонных структурных образований, взаимодействие которых и формирует всю видимую Вселенную.

Кроме нашей Вселенной в рамках излагаемой теории допустимо существование параллельных Вселенных, формируемых в 4-мерном пространственно-временном континууме. Только у таких параллельных Вселенных будут другие значения фундаментальных физических констант, обеспечивающих другие устойчивые резонансные уровни и, следовательно, объединяющие другую часть квантов пространства с иными гармониками. Другими словами, на множестве квантов пространства существуют подмножества,

обслуживающие параллельные Вселенные. В каждом из подмножеств электромагнитные, сильные и слабые взаимодействия свои, а вот гравитационные являются общими. Учитывая конечность так называемого гравитационного воздействия темной материи, а по сути материи параллельных Вселенных, число возможных подмножеств конечно и ограничено. Все остальные возможные состояния 4-мерных континуумов не образуют устойчивых резонансов и поэтому отображают лишь переходящие (распадающиеся) формы существования элементарных частиц.

#### Выводы.

1. Теория струн, введя в рассмотрение пространственно-протяженные элементы, имеющие планковские размеры, позволила создать математический аппарат, объединивший все четыре взаимодействия. Но дальнейшее развитие теории струн на этих принципах привело ее к значительному усложнению. С другой стороны, появился ряд работ, доказывающих, что большинство элементарных частиц обладают пространственно-протяженной структурой, возникающей под действием энергетических воздействий. Это дает основание считать, что энергетические воздействия возбуждают моды резонансных колебаний не в отдельных квантах пространства, а в некоторых их областях. Если энергии возбуждения достаточно, то в этих областях создаются резонансные условия, приводящие к структурным образованиям с разной степенью устойчивости, которые и являются элементарными частицами, составляющими материальный мир. И одним из направлений исследований в теории струн может быть установление условий образования таких резонансных структурных состояний.

2. Доказательная база существования развернутого дополнительного измерения позволяет выдвинуть утверждение, что воспринимаемый четырехмерный континуум является лишь проекцией событий, происходящих в пятимерном континууме. С другой стороны, причинно-следственная связь событий в четырехмерном континууме ограничивает возможность такой проекции счетным ограниченным подмножеством возможных состояний четырехмерных континуумов, в которых реализуется такое отображение. Другими словами, реализуется причинно-следственная связь между структурными элементами, допустимых в данных континуумах, от энергетических электромагнитных взаимодействий.

#### Литература:

1. Брайн Грин. Элегантная вселенная (суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории) *Пер. с англ. / Общ. ред. В. О. Мальшиенко* // М.: Едиторал УРСС, 2004 - 288 с.

2. Митио Каку. Введение в теорию суперструн / пер. с англ. Г.Э. Арутюнова, А.Д. Попова, С.В. Чудова; под ред. И. Я. Арефьевой. // М.: Мир, 1999. — 624 с.



3.Владимиров Ю.С. Системы отсчета в теории гравитации. // М.: Энергоиздат, 1982 – 256 с.

4.Кречет В. Г. Пятимерная геометрическая модель гравитационных и электрослабых взаимодействий//Гравитация и космология. 1999. Т. 5. № 4

5.Девис П. Суперсила: Поиски единой теории природы. // М.: 1989 -266 с.

6.О.Г. Верин Динамика вакуума и солитонная теория элементарных частиц. // М.: РТ-Пресс, 2002 - 102 с.

7.Жужа М. М. Эфиродинамика: от элементарных частиц до вихревой модели атома: Монография // Краснодар, 2017 - 139 с.

8.Канарёв Ф.М. Начала физхимии микромира. 8-е издание. // Краснодар, 2007 - 750 с.

# АРХИТЕКТУРА

УДК 74  
ГРНТИ 67.07

---

## ТЕНДЕНЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ ОФИСНОГО ПРОСТРАНСТВА В ДИЗАЙНЕ ИНТЕРЬЕРА

---

*Морозова Евгения Андреевна*  
магистрант кафедры дизайна,  
компьютерной и технической графики,  
Кубанского государственного университета,  
г. Краснодар, РФ

*Марченко Марина Николаевна*  
д-р. пед. наук, профессор, заведующая кафедрой дизайна,  
компьютерной и технической графики,  
Кубанского государственного университета,  
г. Краснодар, РФ

## TRENDS IN THE FORMATION OF OFFICE SPACE IN INTERIOR DESIGN

*Morozova Evgeniya Andreevna*  
Master's student of the Department of Design,  
Computer and Technical Graphics,  
Kuban State University,  
Krasnodar, Russia

*Marchenko Marina Nikolaevna*  
Doctor of Pedagogical Sciences,  
Professor, Head of the Department of Design,  
Computer and Technical Graphics,  
Kuban State University,  
Krasnodar, Russia

### АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются планировочные решения различных типов офисных пространств в разные временные этапы, их структура и концепция. **Актуальность темы исследования** определяется практической значимостью влияния окружающей среды, интерьер и организация пространства, на работоспособность сотрудника и производительность компании. **Цель исследования** – анализ развития принципов формирования рабочего офисного пространства, выявление причин появления новых планировочных решений. **Объекты исследования:** интерьер отдела продаж офиса компании Swift & Co, интерьер офиса Фредерика Тейлора, интерьеры офисов с планировкой Action Office (кубиклы), интерьеры офисов компаний Lego, Google и Facebook и другие. **Методы исследования:** метод стилистического анализа, метод классификации, метод обобщения, метод системного подхода, метод абстрагирования. **Результаты исследования:** выявлены общие приемы организации интерьерного пространства офисов, положительные и отрицательные качества каждого, а также выделены наиболее актуальные решения в дизайне интерьера офисных помещений. Затронуто развитие дизайн-проектирования офисных пространств. **Заключение исследования** – выявлены наиболее современные и актуальные варианты организации офисного пространства в дизайне-интерьера, предложен наиболее универсальный и оригинальный принцип формирования планировок офисных помещений.

### ABSTRACT

The article discusses the planning solutions of various types of office spaces at different time stages, their structure and concept. **The relevance** of the research topic is determined by the practical significance of the influence of the environment, the interior and the organization of space, on the employee's performance and the company's productivity. **The aim** of the study is to analyze the development of the principles of the formation of a working office space, to identify the reasons for the emergence of new planning solutions. **Objects of research:** interior of the sales department of the Swift & Co office, interior of the Frederick Taylor office, interiors of offices with the layout of Action Office (cubicles), interiors of offices of Lego, Google and Facebook companies and others. **Research methods:** stylistic analysis method, classification method, generalization method, system approach method, abstraction method. **Research results:** the general methods of organizing the interior space of offices, the positive and negative qualities of each, as well as the most relevant solutions in the interior design of office premises are identified. The development of design design of office spaces is affected. **The conclusion of the study** is that the most modern and relevant variants of the organization of office space in interior design have

been identified, the most universal and original principle of the formation of office space layouts has been proposed.

**Ключевые слова:** офис, планировка, дизайн-проектирование, рабочее пространство, кубикл, прозрачные перегородки, гибкий офис, коворкинг, индивидуальный дизайн, кабинет.

**Keywords:** office, layout, design design, workspace, cubes, transparent partitions, flexible office, coworking, individual design, office.

**Вводная часть.** Офисы – это помещения, предназначенные для осуществления функций управления организациями государственного, коммерческого и некоммерческого типа, а также пространства, в которых происходит организация всего рабочего процесса компании. Поэтому немаловажным и научно доказанным фактом является обоснование того, что окружающая среда непосредственно влияет на продуктивность работников и всей организации. В этом и заключается актуальность темы исследования.

С самого возникновения такого рода помещений предпринимались попытки увеличения производительности работы путем рациональной организации пространства.

Главной проблемой в дизайн-проектировании офисных помещений является в необходимость достижения баланса между двумя видами деятельности сотрудников: концентрация на работе и общение с коллегами, обмен информацией. Помимо этого, важно оптимизировать этот фактор под определенный уклад работы той или иной компании. Например, лучшим решением для банка является наличие отдельных кабинетов у сотрудников для достижения максимально сосредоточенной работы, в то время как для торговой компании важен поток информации и общение. Исходя из этих факторов, можно выделить три типа планировок офисных помещений:

- закрытый (кабинетный);
- открытый;
- комбинированный [1].

Цель исследования – анализ развития принципов формирования рабочего офисного пространства, выявление причин появления новых планировочных решений.

**Постановка и описание задачи.** Главной задачей исследования будет являться изучение основных этапов становления дизайн-проектирования офисных помещений, выявления причин возникновения того или иного планировочного решения, а также выделение основных характеристик каждого, как положительных, так и отрицательных, на примерах офисных пространств некоторых компаний.

**Методика исследования.** В ходе исследования были применены следующие методы научного исследования:

- метод стилистического анализа, необходимый для определения визуальных особенностей рассматриваемых объектов;
- метод классификации, то есть сравнение, использующийся для анализа объектов дизайна;

- метод обобщения – процесс установления общих свойств и признаков предмета, тесно связанный с абстрагированием.

- метод системного подхода, представляющий из себя совокупность общенаучных методологических принципов (требований), в основе которых лежит рассмотрение объектов как систем.

- метод абстрагирования – процесс мысленного отвлечения от ряда свойств и отношений изучаемого явления с одновременным выделением интересующих исследователя свойств (прежде всего существенных, общих).

**Изложение и обсуждение основных результатов.** Рассмотрим все вышеперечисленные типы планировок и выделим их положительные и отрицательные качества, а также изучим новые решения в дизайн-проектировании офисных помещений.

Кабинетный тип планировки офисных помещений состоит из классического закрытого оформления интерьера, отдельных комнат – кабинетов, соединенных коридором. Такой тип организации пространства подходит компаниям, которые требуют создания приватной атмосферы работы и разделены на отделы с небольшим количеством сотрудников, например, банкам. Несмотря на то, что данный тип планировки офиса всё больше отходит в прошлое, продолжает существовать необходимость организации изолированного пространства для работы некоторых процессов.

Закрытую планировку офисов подразделяют на кабинеты для одного-двух, а также для трех и более человек. Можно заметить, что первый подтип характеризуется наибольшей уединенностью и четкой пространственной организацией, в отличие от второго, в котором преобладает дух коллективизма. Такие принципы организации были весьма популярны в Европе в 1970-х годах, в эпоху ранней компьютеризации [4].

К характерным минусам кабинетного типа планировки можно отнести: потерю площади этажа на установки перегородок и создание коридорных пространств, затраты на проектирование интерьеров, невозможность реализовать наиболее эффективную коллективную работу у персонала. Помимо выделенного, существует проблема несоблюдения расчета при планировании пространства закрытых офисов (в помещении площадью около 12 кв. м. должно работать не более четырех работников). Некоторые помещения данного типа офисов могут оставаться незаполненными, или же наоборот, становятся переполненными сотрудниками и мебелью, что создает некомфортные условия труда.

Перечисленные выше недостатки закрытого типа планировки офиса вызвали активное развитие нового вида пространства, являющегося его полной противоположностью.

Открытый тип планировки офиса – интерьеры «Open Space» характеризуется как большая открытая площадь помещения для большого количества сотрудников, ограниченная только наружными стенами [1]. Невысокие перегородки, оргстекло, гипсокартон – основные материалы зонирования в организации рабочего пространства офисов такого типа. Места для сотрудников обычно состоят из эргономичной и мобильной мебели, рабочие столы расставляют в виде островков или целого ряда вдоль окон. Рабочее место руководителя, как правило, находится в отдельном помещении. В ходе изучения можно обозначить, что такой принцип формирования пространства подходит для больших и быстро растущих

корпораций. Он широко использовался в 1980-е годы в Западной Европе. Наглядными примерами такого пространства будут являться офис отдела продаж компании Swift & Co в Чикаго (рис. 1) и планировочное решение офиса Фредерика Тейлора (рис. 2). В наше время вновь обрел свою популярность в дизайн-проектировании современных офисных помещений [4].

К главным преимуществам этой схемы формирования рабочего пространства можно отнести: быстрый обмен информацией, общение между сотрудниками и обмен опытом, высокий уровень командной работы, легкость ремонтных работ и изменения планировки. Выделенными в ходе исследования недостатками этой системы будут являться невозможность уединения, отсутствие своего личного рабочего пространства и проблемы с шумоизоляцией.



Рис. 1. Открытая планировка отдела продаж компании Swift & Co в Чикаго, штат Иллинойс, 1910 г.



Рис. 2. Планировочное решение офиса Фредерика Тейлора.

В ходе развития этого планировочного решения предпринимались различные попытки преобразовать такое пространство под свои, конкретные нужды, чтобы получить максимальную продуктивность своего офиса.

В 1963 году архитектор и инженер Роберт Пропст представил решение проблем открытой планировки офисного пространства в виде системы «Action Office», в последствии ставшую известной как «кубиклы» (рис. 3). Эта система обеспечивала для каждого работника свою небольшую зону для работы, изолированную от общего зала невысокими перегородками, и стала новым символом свободы и самоорганизации. Но, как показала практика, отсутствие вариантов трансформации формы и расположения элементов этой системы породило новое недовольство. Действительно, в визуальном образе этой системы присутствует крайне строгая и однообразная структура расположения рабочих мест, что никак не может способствовать креативному мышлению и возникновению новых идей у сотрудников таких

офисов, а значит не позволит улучшить производительность предприятия.

Кубиклы являлись стандартом офисной планировки вплоть до 1990-х годов, после чего их снова сменили на открытые типы планировок [1].

В ходе различных трансформаций офисного пространства возник комбинированный тип планировки. Он сочетает в себе преимущества двух предыдущих планировочных решений, тем самым нивелируя их недостатки, и имеет более сложную структуру. Этот тип планировки стал популярен в 1990-х годах в Западной Европе, а конкретно в Австрии, Германии, Голландии и Скандинавских странах. В ходе изучения примеров данного пространства было выявлено, что в нём учитываются как требования, касающиеся частного пространства, так и потребности в гибкости и коммуникациях. Реализуется это путем грамотного зонирования, разделения зон на общие, групповые и индивидуальные с помощью различных конструкций и мебели, к примеру – прозрачных перегородок [1].



Рис. 3. Планировка и внешний вид Action Office (кубиклы)

Помимо вышеописанных, общепринятых типов планировок, уже существуют и другие, нестандартные подходы к дизайн-проектированию офисных помещений. К таким относится гибкий офис и коворкинг.

В эпоху быстрого развития технологий, появления новых актуальных задач от работника часто требуют новые нестандартные решения. Чтобы стимулировать своих специалистов к креативности все чаще принимаются решения планировки гибкого офиса, благодаря которой человек сам может выбрать себе рабочее место.

Новая техника, компьютеры, гаджеты стали более мобильны и малогабаритны, что способствовало отказу от громоздких офисных столов, что, как показало исследование, а также развитию такого типа организации пространства. Наглядным примером может послужить офис компании Lego в Дании, похожий больше на игровую комнату. Здесь есть разные по оснащению и организации пространства, позволяющие работнику уединиться и кропотливо поработать, или же наоборот, общаться и действовать в группе.

Новые подходы к проектированию офисных пространств в виде индивидуального дизайна можно отметить в проектах офисов компании «Google» (рис. 4) и «Facebook» (рис. 5), главной целью которых является организация рабочей среды, максимально стимулирующей креативное мышление. Такие рабочие пространства являются наглядными примерами современных офисных помещений и соответствуют новым трендам в дизайне интерьера.

Коворкинг (от англ. Co-working – «совместная работа») – это организация пространства, в котором

могут работать специалисты, ведущие работу по типу фриланса. Для такого вида пространства характерна гибкость, рациональная и, одновременно, абсолютно свободная структура и устройство разных рабочих мест. Коворкинг считается разновидностью общественных мест, где происходит активный обмен информацией, общение и творческое взаимодействие между специалистами. Основоположником этой системы считается Бред Ньюберг [1].

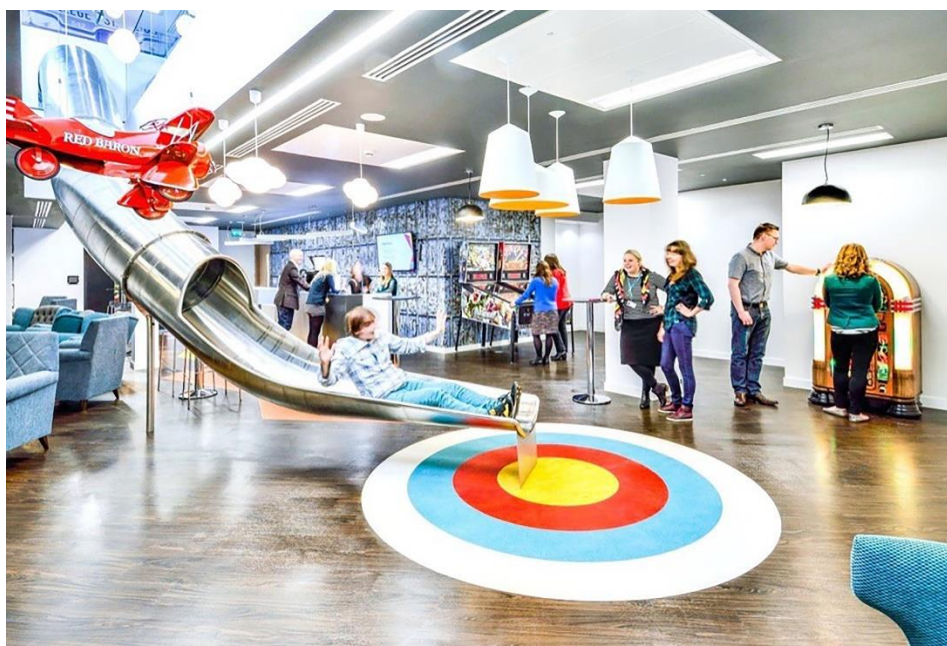


Рис. 4. Офис компании Google, Цюрих. Архитектурное бюро Camenzind Evolution



Рис. 5. Главный офис компании Facebook, Пало-Альто, Калифорния. Проектные студии Studio O+A, Virginie Manichon, KPFF – Consulting Engineers, Air Systems Inc., Elcor Electric и Brightworks.

Изучив основные аспекты гибкого офиса и коворкинга, можно с уверенностью сказать, что эти принципы формирования офисного пространства действительно являются наиболее эффективными и продуктивными, но подходят далеко не всем

компаниям и предприятиям. Также важно выделить тот факт, что опорой этих двух систем, их наиболее производительного функционирования, является сам сотрудник, а конкретно его готовность к труду. То есть, эффективность таких офисов зависит не

только от креативного и оригинального дизайна интерьера, но и от ответственности работника.

**Заключительная часть.** Таким образом, в ходе анализа принципов формирования офисных помещений можно заметить, как активно менялась планировочная структура и концепция офисного пространства, постепенно трансформируясь от индивидуальных рабочих мест и строгой иерархии кабинетов до свободного общего пространства и авторского дизайна. Каждый тип планировки стимулировал к появлению новых тенденций в организации рабочих мест и решению проблем планировок-прототипов. В процессе исследования были изучены главные характеристики различных типов организации офисных пространств, были выделены как положительные, так и отрицательные стороны каждой, а также удалось сформировать некоторую цепочку развития дизайн-проектирования офисных помещений.

К наиболее современным и актуальным вариантам решений в дизайне интерьера офисных пространств можно отнести гибкий офис и коворкинг. Но, в качестве итога исследования можно выделить, что самым продуктивным для любой компании будет индивидуальный дизайн пространства офиса, отражающий культуру предприятия и предоставляющий наиболее комфортные для его работников условия.

#### Список литературы

1. Бузова Т.Ю. Офис: этапы становления в формировании планировочной структуры пространства. // Известия Казанского

государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – № 2. – С. 53-59. [Burova T.Yu. Office: the stages of formation in the formation of the planning structure of space. // News of Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. - 2017. - No. 2. - pp. 53-59. (In Russ).]

2. Кузнецов Е.А., Марченко М.Н. Функциональное зонирование интерьера. // Образование в России и актуальные вопросы современной науки: сб. науч. тр. Всероссийской научно-практической конференции. – Омск, 2020. – С. 55-58. [Kuznetsov E.A., Marchenko M.N. Functional zoning of the interior. // Education in Russia and current issues of modern science: collection of scientific tr. of the All-Russian Scientific and Practical Conference. - Omsk, 2020. - pp. 55-58. (In Russ).]

3. Трубова В.В., Ажгихин С.Г. Композиция в дизайне интерьера. // Дизайн и архитектура: синтез теории и практики. – 2017. – № 1. – С. 458-463. [Trubova V.V., Azhgikhin S.G. Composition in interior design. // Design and Architecture: Synthesis of theory and practice. - 2017. - No. 1. - pp. 458-463. (In Russ).]

4. Филина Е.М., Марченко М.Н. Планировка офисных пространств. // Дизайн и архитектура: синтез теории и практики: сб. науч. тр. II Международной научно-практической конференции. – Саратов, 2020. – С. 303-305. [Filina E.M., Marchenko M.N. Planning of office spaces. // Design and architecture: synthesis of theory and practice: collection of scientific tr. II International Scientific and Practical Conference. - Saratov, 2020. - pp. 303-305. (In Russ).]

УДК 1418  
ГРНТИ 67.07

---

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ДИЗАЙН-ПРОЕКТИРОВАНИЮ УСТОЙЧИВОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

---

*Сухолентцева Мария Алексеевна  
магистрант кафедры дизайна,  
компьютерной и технической графики,  
г. Краснодар*

*Марченко Марина Николаевна  
д-р пед. наук, профессор, заведующая кафедрой дизайна,  
компьютерной и технической графики,  
г. Краснодар*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Кубанский государственный университет»,  
г. Краснодар, Россия*

### ECOLOGICAL APPROACH TO DESIGN-ENGINEERING SUSTAINABLE URBAN ENVIRONMENT

*Sukholentseva Maria Alexeyevna  
Marchenko Marina Nikolaevna  
Kuban State University,  
Krasnodar, Russia*

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2022.1.94.1620

#### АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрено понятие «зеленого строительства» на примере известных европейских «эко-кварталах» с целью выявления архитектурно-ландшафтных принципов дизайн-проектирования

устойчивой городской среды с минимальной энергозатратностью и рациональным использованием общественного пространства, а также природных ресурсов. Проведен обзор существующих в международной практике экологических подходов к дизайн-проектированию современных жилых комплексов и придворовых территорий.

#### ABSTRACT

The article examines the concept of 'green building' using the example of famous European 'eco-areas' to identify the principles of architectural and landscape design of a sustainable urban environment with minimal energy consumption and rational use of public space, as well as natural resources. A review of existing international eco-approaches to the design of modern residential complexes and courtyard areas was conducted.

**Ключевые слова:** устойчивое развитие, дизайн городской среды, придворовая территория, эко-квартал, зеленое строительство, энергоэффективность, минимизация отходов, рациональное использование ресурсов.

**Keywords:** sustainable development, urban design, courtyard area, eco-neighbourhood, green building, energy efficiency, waste minimisation, rational use of resources.

На сегодняшний день в архитектурно-ландшафтной сфере как в России, так и за рубежом наблюдается тенденция к разработке современных дизайн-проектов, которые нацелены на максимальное сохранение биоразнообразия территорий и минимальному использованию ресурсов для поддержания комфортной человеческой активности в рамках концепции «устойчивого экологического развития» [1].

«Устойчивое экологическое развитие» — это стратегия рационального использования природных ресурсов и пространств, которая направлена на удовлетворение потребностей как нынешнего поколения, так и будущего в долгосрочной перспективе, а также снижения антропогенного давления и сохранения существующих экосистем с целью обеспечения комфортной жизни будущего поколения.

Исходя из формулировки определения «устойчивого экологического развития», можно сделать вывод о том, что сейчас в мире остро стоит вопрос о решении экологических проблем, которые возникли вследствие индустриализации. Они носят глобальный характер, поскольку в связи со стремительным градостроительством, вызванным процессом урбанизации, бесконтрольным использованием природных ресурсов, а также с развитием «потребительской модели поведения» [1] наблюдается тенденция к формированию безграмотного населения в сфере экологии, что, в свою очередь, приводит к негативным последствиям.

Таким образом, для решения актуальных эко-проблем, повышения уровня экологической культуры граждан, а также создания «урбанистических оазисов» в мегаполисах специалисты в области «зеленого строительства» занимаются разработкой современных экологических подходов к дизайн-проектированию устойчивой городской среды.

Существующие экологические подходы условно делятся на четыре категории:

*Современные «экогорода»* — это дизайн-концепции экспериментальных городов или городских районов будущего с продуманной инженерно-технической инфраструктурой, призванные обеспечивать себя полностью возобновляемой энергией и ресурсами,

необходимыми для обеспечения жизнедеятельности населения, а также «сохранять или приумножать биологическое разнообразие конкретной территории» [1].

Яркими примерами мировых проектов современных экогородов, некоторые из которых находятся в стадии реализации или уже реализованы, являются:

- многомерный вертикальный город «Tower C» (Китай);
- линейный город без автомобилей «The Line» (Саудовская Аравия);
- восьмиугольный эко-град на воде «OXAGON» (Саудовская Аравия);
- экогород «Chengdu Great City» (Китай);
- экопроект «Neapolis Smart EcoCity» (Кипр);
- «Масдар» (ОАЭ);
- экогород «Нуе» и экодережня «Dysekilde» (Дания);
- город будущего «Neom» (Саудовская Аравия);
- блокчейн-город «Innovation Park» (США);
- инновационный город «Каласатама» (Финляндия);
- экологический город Тяньцзинь (Китай);
- «умный» город Сонгдо (Южная Корея);
- «Hegyeshalom-Bezenye» (Венгрия) и др.

Все больше европейских стран присоединяются к экологическому движению, создают экогорода и районы. В настоящее время в Европе существуют шесть стран, представляющих собой современные экогорода: Дублин (Ирландия), Мальмо (Швеция), Таллин (Эстония), Хиллерод (Дания), Гамбург (Германия), Аугустенборг (Дания). Именно эти страны достигли наилучших результатов в области «зеленого строительства» и обеспечили свое население высоким качеством жизни и экологическим здоровьем, улучшили эстетические качества города, сократили антропогенное воздействие на окружающую среду и т.д.

На данный момент в России утвержден первый проект экогорода будущего, представляющий собой инициативу по благоустройству г. Таруса в Калужской области. Суть проекта заключается в создании новых сооружений и реконструкции существующих объектов, сохранению природной



среды и историко-культурного наследия территории, формировании туристического кластера и повышении внутреннего культурного потенциала региона.

Однако реализация масштабных проектов экогородов осложняется нехваткой земли под строительство, финансовыми кризисами, высокими инвестиционными рисками и вложениями, разработкой необходимых инженерно-технических, транспортных систем и т.д.

*Проектирование «эко-кварталов»* — это часть территории города, характеристики которого вписываются в концепцию «зеленого строительства» и являются частью повседневной жизни местного сообщества.

Первые эко-кварталы стали появляться во многих европейских странах и отражать современный подход «зеленого девелопмента» в рамках экологизации. Подобные районы на сегодня считаются вершиной экологического проектирования.

Самым знаменитым энергоэффективным эко-кварталом, построенным во второй половине 90-х годов на месте бывшей французской военной базы, считается район «Vauban» (Вобан) в городе Фрайбург, Германия. Площадь квартала составляет 38 га. Проект по обеспечению объекта электричеством, используя альтернативные технологии в области электроэнергетики, продолжает свою реализацию и по сей день.

Архитектурно-планировочное решение квартала представляет собой комплекс из двух жилых зданий «Solarsiedlung» и «Sonnenschiff» с регулярной (прямоугольной) планировкой, на крышах которых размещены солнечные панели, а также установлена система сбора дождевой воды, используемая для полива растений и технических нужд жителей. Все эти системы необходимы для функционирования данного объекта. Кровля в летнее время выполняет функцию навеса, защищающего здание от перегрева, а в зимний сезон обеспечивает прямой доступ солнечных лучей, с помощью которых отапливаются жилые помещения.

В жилом комплексе «Sonnenschiff» имеются пентхаусы, дополненные висячими садами, которые также препятствуют перегреву конструкции кровли.

Здание соответствует европейскому стандарту «пассивных» домов (Passivhaus), которые придерживаются принципа максимальной изоляции всего сооружения: закрытие окна и двери, которые не пропускают воздух, стены, изолирующие внутреннюю среду от внешних факторов. Освещение помещений осуществляется за счет больших оконных проемов, светодиодных или люминесцентных ламп, а тепло генерируется с помощью бытового оборудования и человеческой активности.

В 2002 году был спроектирован еще один уникальный район — «BedZED», представляющий собой английскую экологическую деревню площадью 17 га, расположенную в пригороде

Лондона, Великобритания. «Аббревиатура «BedZED» расшифровывается как Beddington Zero Energy Development – застройка Беддингтона с нулевым потреблением» [1]. Эко-квартал включает в себя комплекс жилых застроек, объектов коммерческой и сервисной коммуникативной инфраструктуры (офисы, магазины, кафе) частных и общественных «зеленых микрорайонов», культурно-спортивных, медико-социальных сооружений, а также на территории деревни располагается учебное заведение (колледж) и детский сад.

Данный зеленый район был спроектирован с целью привлечения внимания общества к эко-проблемам страны, прививая экологическую культуру населению, сокращения выбросов в атмосферу, количества отходов и потребления воды.

Архитектурно-пространственное решение английского эко-квартала основано на приеме «строчной застройки» — это система застройки параллельными рядами относительно длинных сооружений, однако в данном комплексе отдельно стоящие здания соединяются небольшими открытыми мостами-переходами, являющимися элементом пешеходной системы. Функциональное зонирование помещений включает несколько типов жилья различной квадратуры.

Проект «BedZED» предусматривал использование местных строительных материалов (стальные и деревянные конструкции, которые были взяты с объектов, подвергшихся процедуре сноса) и переработанного сырья. Помимо этого, при проектировании района полностью отказались от использования невозобновляемых ресурсов.

Следует отметить разработки в области теплоизоляции, энергоэффективности и водопотребления. Дома отличаются отличной теплоизоляцией, отапливаются с помощью энергии, получаемой от собственной электростанции, которая сжигает древесные отходы, и солнечных батарей, размещенных на территории объекта. Рациональное водопользование обеспечивается с помощью специального сантехнического оборудования с аэрацией, наличия резервуаров для хранения воды с целью удовлетворения пиковых потребностей жителей комплекса. Также используются технологии для осуществления повторного использования водных ресурсов (сточной и дождевой воды), которые применяются и в эко-квартале «Хаммарбю Шёстад» на юго-востоке Стокгольма, Швеция.

Экологической деревне «BedZED» удалось добиться экономии в процентном соотношении: 88% на отоплении, на водопотреблении – 57%, на электропотреблении – 25% и улучшить экологический показатель местности [2].

При благоустройстве и создании систем озеленения территории данного элемента городской среды использовались такие приемы ландшафтного дизайна, как создание частных палисадников на небольших придомовых участках или террасах, огражденных металлическим

забором или живой изгородью, а также «зимних садов».

Следует выделить главное достижение эко-квартала «BedZED» — ограничение передвижения автомобилей и наличие альтернативы личному транспорту, которая заключается в использовании услуг «car sharing» для совершения дальних путешествий.

*Озеленение крыш административных, жилых зданий и создание городских «зеленых микрзон».*

Термин «Green roofs» или «зеленые крыши» связан с экологическим трендом в обществе и обозначает использование живых растений для полного или частичного заполнения пространства крыш зданий различного типа и назначения с целью создания «урбанистического оазиса» в мегаполисах.

Технология озеленения крыш заключается в высаживании отобранных растений в грунт, представляющий собой «слоеный пирог»: основание, гидроизоляционный слой, теплоизоляция, барьер для корней, дренажный и фильтрационный слой, обрешетка, плодородный грунт, растения.

Огромную популярность зеленые крыши приобрели на Западе (Норвегия, Цюрих, Сан-Франциско, Лондон, Мадрид, Торонто), но в России тренд только набирает обороты в крупных городах: Москва, Санкт-Петербург, Калининград, Екатеринбург, Воронеж и др. Наиболее известным примером современной эко-крыши является зеленая микрizona на крыше бизнес-центра «Crown Plaza» в Санкт-Петербурге.

Благодаря подобным эко-крышам происходит задержка дождевых стоков, формирование дополнительной функциональной зоны, улучшение экологической обстановки в регионе, показателей звукоизоляции и внешней привлекательности объекта.

Выделяют несколько видов современных «эко-крыш»:

1. Экстенсивные зеленые крыши — использование легкого грунта и неприхотливых растений для озеленения.

2. Интенсивные зеленые крыши — создание полноценных садов с дорожками.

3. Плоские эко-крыши — использование как экстенсивной, так и интенсивной технологий озеленения.

4. Скатные эко-крыши — использование только экстенсивной технологии озеленения.

Рассматривая эстетические и функциональные преимущества «Green roofs», важно коснуться недостатков эко-крыш, которые связаны, прежде всего, с высокой стоимостью экологических материалов, сложностью монтажа, большим весом специального грунта и дополнительных слоев, выступающих в качестве зеленого каркаса и увеличивающих нагрузку на конструктивные элементы сооружения.

*Разработка экологическим правовых документов, норм, стандартов, регулирующих*

*процесс проектирование современных элементов городской среды и благоустройства территорий.*

На данный момент в ряде европейских стран разработаны стандарты, регулирующие экологическое проектирование.

К некоторым из них относятся:

1. Стандарт «BREEAM» 1990 года (Великобритания) — нацелен на сохранение состояния окружающей среды при проведении строительства

2. Экостандарт «LEED» 1998 года (США) — нацелен на создание новых элементов городской инфраструктуры, контроль «светового загрязнения» и внедрения альтернативного способа передвижения (велосипедная транспортная сеть).

3. Стандарт «HQE» 1995 года (Франция) — разработка устойчивой городской среды в сфере градостроительства.

4. Скандинавский экостандарт «Nordic Swan» 2005 года — нацелен на улучшение экологических показателей, качества окружающей среды путем работы со строительными и переработанными материалами.

5. Стандарт «DGNB» 2007 года (Германия) — нацелен на упрощение разработки объектов, относящихся к категории «пассивных» сооружений.

6. Американский экостандарт «Well» 2014 года — нацелен на использовании архитектурных приемов для создания безбарьерной среды, продумывании осветительных систем, создание специальных функциональных зон в общественных пространствах и районах, интеграция «зеленых микрзон» и элементов современного искусства в жилую и коммерческую среду и т.д.

7. Программа устойчивого результата «RIBA Sustainable Outcomes Guide» 2019 года — включает восемь направлений-рекомендаций в рамках устойчивого развития, которые затрагивают природную, социальную и экономическую сферы жизни человека. [1]

Примерами отечественного «зеленого» строительства с учетом экологических стандартов служат такие объекты, как здание офиса «Дукат-плейс III» (система LEED), жилой комплекс «Триумф Парк» в Санкт-Петербурге (система оценки BREEAM), здание вокзала «Адлер» в Сочи. «Также в России был разработан проект олимпийского строительства в Сочи, в котором двенадцать олимпийских объектов разного типа сертифицированы по индивидуальным критериям, разработанным в соответствии с BREEAM Bespoke International – 2008–2011» [3].

Таким образом, на основе проведенного анализа существующих в международной практике подходов в рамках устойчивого экологического развития можно сделать вывод, что тенденция эко-строительства способствует:

1. формированию современных архитектурно-ландшафтных объектов средового дизайна;

2. развитию инновационных инженерно-технических систем;

3. использованию современных приемов функционального зонирования общественных территорий с целью создания комфортной городской среды;

4. применению технологий и экологических стандартов в области дизайн-проектирования, которые включают комплекс шагов, направленных на сохранение природного богатства для будущих поколений.

Все вышеперечисленное способствует повышению уровня экологической культуры граждан, устранению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду и улучшению экологических показателей местности. Европейский опыт проектирования может быть применен и в России, однако в нашей стране только начинает зарождаться понимание концепции рационального потребления природных ресурсов. Применение экологических подходов дизайн-проектирования устойчивой городской среды требует дальнейшего подробного изучения.

#### Список литературы:

1. Шульц А.С. Экологические подходы к проектированию устойчивой городской среды // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2021. №1(54). С. 227–235. [Chulz A.S. Environmental Approaches to Designing Sustainable Urban Environments. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2021; 1(54):227-235. (In Russ).] [https://marhi.ru/AMIT/2021/1kvart21/PDF/14\\_schulz.pdf](https://marhi.ru/AMIT/2021/1kvart21/PDF/14_schulz.pdf).
2. Обзор Bioregional – BedZED – the UK's first large-scale eco-village/ Официальный сайт предпринимательской благотворительной организации Bioregional. URL: <https://www.bioregional.com>.
3. Егорова М.С., Пубрович Я.А. Анализ востребованности зеленых технологий в России // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. № 5-2. С. 305–307. [Egorova M.S., Pubrovich Y.A. Analysis of demand for green technologies in Russia. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2015; (5-2):305-307. (In Russ).] [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_23371721\\_53181435.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_23371721_53181435.pdf).
4. Пахомова А.И. Современные экогорода: опыт и перспективы развития // *Вестник иркутского государственного технического университета*. 2010. № 5(45). С.312–317. [Pakhomova A.I. Modern eco-cities: experience and prospects of development. *Bulletin of Irkutsk State Technical University*. 2010; 5(45):312-317. (In Russ).] <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-ekogoroda-opyt-i-perspektivy-razvitiya/viewer>.
5. Гринцова О.В. Строительство экокварталов // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2019. № 1-1. С.131–134. [Grintsova O.V. Construction of eco-neighbourhoods. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2019; (1-1):131-134. (In Russ).] [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_36950470\\_39386727.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_36950470_39386727.pdf).
6. Рябов О.Р. Зеленые микрзоны в урбанизированной среде // *Известия казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2016. №4(38). С.185–191. [Ryabov O.R. Green micro-zones in the urban environment. *Izvestia of Kazan State University of Architecture and Civil Engineering*. 2016; 4(38):185-191. (In Russ).] [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_27345691\\_27614877.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_27345691_27614877.pdf).
7. Волошинская А.А. Комаров В.М. Концепции экогорода: рекомендации для России // *Terra economicus*. 2017. Т.15. № 4. С.92–108. [Voloshinskaya A.A. Komarov V.M. Concepts of Eco-Cities: Recommendations for Russia. *Terra economicus*. 2017; 15(4):92-108 (In Russ).] [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_32333997\\_97476937.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_32333997_97476937.pdf).

# Евразийский Союз Ученых.

## Серия: технические и физико-математические науки

Ежемесячный научный журнал

№ 1 (94)/2022 Том 1

### ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Макаровский Денис Анатольевич**

AuthorID: 559173

Заведующий кафедрой организационного управления Института прикладного анализа поведения и психолого-социальных технологий, практикующий психолог, специалист в сфере управления образованием.

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Штерензон Вера Анатольевна**

AuthorID: 660374

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт новых материалов и технологий (Екатеринбург), кандидат технических наук

**Синьковский Антон Владимирович**

AuthorID: 806157

Московский государственный технологический университет "Станкин", кафедра информационной безопасности (Москва), кандидат технических наук

**Штерензон Владимир Александрович**

AuthorID: 762704

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт фундаментального образования, Кафедра теоретической механики (Екатеринбург), кандидат технических наук

**Зыков Сергей Арленович**

AuthorID: 9574

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Отдел теоретической и математической физики, Лаборатория теории нелинейных явлений (Екатеринбург), кандидат физ-мат. наук

**Дронсейко Виталий Витальевич**

AuthorID: 1051220

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Кафедра "Организация и безопасность движения" (Москва), кандидат технических наук

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Художник: Валегин Арсений Петрович  
Верстка: Курпатова Ирина Александровна

Адрес редакции:  
198320, Санкт-Петербург, Город Красное Село, ул. Геологическая, д. 44, к. 1, литера А  
E-mail: [info@euroasia-science.ru](mailto:info@euroasia-science.ru) ;  
[www.euroasia-science.ru](http://www.euroasia-science.ru)

Учредитель и издатель ООО «Логика+»  
Тираж 1000 экз.