

ISSN 2313-4372

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ВЫПУСК 10

Т Р У Д Ы

Поволжского государственного технологического университета

Серия Технологическая



Йошкар-Ола
2022

УДК 62
ББК 3
Т 78

Ответственный и научный редактор сборника

проректор ПГТУ по научной работе, член-корреспондент Российской академии наук, профессор, доктор физико-математических наук *Иванов Д. В.*

Редакционная коллегия серии:

Павлов А. И., доктор технических наук, профессор

Поздеев А. Г., доктор технических наук, профессор

Роженцов А. А., доктор технических наук, профессор

Романов Е. М., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Рябова Н. В., доктор физико-математических наук, профессор

Сидоркина И. Г., доктор технических наук, профессор

Котлов В. Г., кандидат технических наук, доцент

Труды Поволжского государственного технологи-
Т 78 **ческого университета.** Сер.: Технологическая. Вып. 10 /
отв. и науч. ред. Д. В. Иванов. Йошкар-Ола: Поволжский
государственный технологический университет, 2022.
78 с.

В ежегодном периодическом издании представлены статьи ученых, преподавателей, докторантов, аспирантов и сотрудников ПГТУ, в которых рассматривается широкий круг актуальных вопросов, охватывающих различные научные направления.

УДК 62
ББК 3

ISSN 2313-4372

© Поволжский государственный
технологический университет, 2022

ПРЕДИСЛОВИЕ



Высшая школа по-прежнему является ключевым центром развития науки в нашем государстве. Помимо основной, устоявшейся задачи вуза по передаче обществу знаний в форме обучения и подготовки кадров для удовлетворения потребностей экономики, современный вуз должен оказывать непосредственное влияние на развитие фундаментальных знаний, а также создание и внедрение инноваций.

Среди ключевых результатов научно-исследовательской работы коллектива Волгатека можно отметить общий объем выполненных работ и услуг, который составил в 2021 году более 86,63 млн руб., в том числе объем научно-исследовательских работ университета – 51,2 млн руб., финансирование в рамках проекта дооснащения Центра коллективного пользования – 25 млн руб. и гранты Российского фонда фундаментальных исследований. Объем хозяйственных работ составил 37,1 млн руб. Работы выполнялись по грантам РФФИ, РНФ, по грантам и договорам с предприятиями и организациями России, Республики Марий Эл и дальнего зарубежья.

Развитие научно-исследовательской и инновационной деятельности в университете подтверждается наградами, полученными на всероссийском и международном уровнях: 1 золотая медаль, 1 серебряная медаль, 1 бронзовая медаль, диплом Союза изобретателей Македонии, диплом Ассоциации изобретателей г. Белграда, диплом Союза изобретателей Боснии и Герцеговины на XXIV Московском международном Салоне изобретений и инновационных технологий «Архимед-2021»; сертификаты участников на Молодежном форуме Приволжского федерального округа «iВолга – 2021».

Остается на прежнем уровне активность изобретательской деятельности наших ученых. В отчетном году университетом подано 56 заявок на объекты интеллектуальной собственности, в том числе 15 заявок на программы для ЭВМ и базы данных, 6 – на полезные модели и 35 заявок – на изобретения. Было получено 59 охранных документов, в том числе 34 патента на изобретение, 8 патентов на полезную модель, 1 патент на промышленный образец, 16 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ и баз данных. В соавторстве с обучающимися получен 41 охранный документ на объекты интеллектуальной собственности.

Не прекращается международная научно-исследовательская деятельность сотрудников университета. В 2021 году в Волгатеке прошла 10-я ежегодная научная конференция «Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг (FORECO 2021)», проводимая Центром устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов. Сборник конференции был издан в издательстве ИОР и проиндексирован в Scopus.

Университет стал победителем конкурса на получение грантов для образовательных организаций высшего образования на реализацию мероприятий, направленных на под-

держку студенческих научных сообществ с проектом «Создание открытого пространства для научной самореализации студентов» и объемом финансирования 1 млн руб. Также выигран грант на проведение Акселерационной программы «ВолгаТЕСН» для организации поддержки проектных команд и студенческих инициатив для формирования инновационных продуктов.

Продолжается планомерная работа, направленная на повышение публикационной активности сотрудников вуза. За 2021 год учеными ПГТУ опубликовано более 1 900 работ в научных журналах, сборниках и других изданиях, в том числе 290 статей в журналах из перечня ВАК, индексируемых в Российском индексе научного цитирования. В журналах, индексируемых в наукометрической базе Web of Science Core Collection, опубликованы 30 работ, и 125 публикаций индексированы в базе данных Scopus. Университет издает 8 научных журналов, 5 из которых включены в Перечень ВАК Минобрнауки РФ.

Дальнейшая модернизация научно-исследовательской и инновационной деятельности ПГТУ направлена на усиление научных коллективов и школ, расширение научной коммуникации и международной коллаборации, создание производственных и научных центров, позиционирующих университет как ведущую научную, инновационную и промышленную площадку Республики Марий Эл. В рамках проекта «Реализация мероприятий и выполнение работ по дооснащению экологии, биотехнологии и процессов получения экологически чистых энергоносителей, обеспечивающих комплексное развитие инфраструктуры исследовательской деятельности, повышение уровня ее доступности и роста эффективности ее использования» созданы и функционируют три новые научные лаборатории: лаборатория культуры клеток «*in vitro*», лаборатория приборов и методов неразрушающего контроля качества и диагностики материалов и конструкций, лаборатория геоинформационных систем.

Доброй традицией нашего вуза является ежегодный выпуск сборника научных статей «Труды Поволжского государственного технологического университета», где находят отражение основные научные достижения ученых и преподавателей вуза, представленные на научной конференции «Исследования. Технологии. Инновации».

В предлагаемом вниманию читателей десятом выпуске «Трудов ПГТУ» изложены результаты научно-исследовательской деятельности профессорско-преподавательского состава, докторантов, аспирантов и сотрудников вуза за 2021-2022 учебный год.

Сборник традиционно состоит из двух серий: технологической и социально-экономической. Данная серия сборника – Технологическая. Здесь представлены статьи по следующим направлениям научных исследований:

- радиотехнические, инфокоммуникационные и медико-биологические системы;
- информационные технологии и системы;
- строительство и архитектура;
- биологические и естественные науки, инженерия окружающей среды.

*Д. В. Иванов,
проректор ПГТУ по научной работе,
член-корреспондент Российской академии наук,
доктор физико-математических наук,
ответственный и научный редактор сборника*

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ И МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.391.82

ВОЗМОЖНОСТИ ШИРОКОПОЛОСНОЙ КВ-СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ ГОРОДА

**Бельгибаев Руслан Рашидович, Михадарова Ольга Васильевна,
Чернядьев Андрей Владимирович**

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
BelgibaevRR@volgatech.net; MihadarovaOV@volgatech.net

Исследованы методики и алгоритмы определения доступности КВ-радиоканалов с широкой полосой частот при различной мощности передатчика, позволяющие обеспечивать эффективный круглосуточный прием информации на ионосферных линиях связи, протяженностью до 3 000 км. Разработки внедрены в лабораторном образце программно-аппаратного комплекса, обеспечивающего мониторинг широкополосных радиоканалов на основе технологии программно-конфигурируемого радио. Представлены данные проведенных круглосуточных экспериментальных исследований при приеме сигнала в условиях сложной помеховой обстановки, характерной для городской местности. Определены суточные изменения доступности при изменении критерия в рамках значений 10 дБ, 15 дБ и 20 дБ. Приведены экспериментальные оценки минутной доступности таких радиоканалов при различных критериальных значениях.

Ключевые слова: мощность передатчика; широкополосный сигнал; уровень шума; соотношение сигнал / шум; минутная доступность радиоканала; адаптивный порог.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований: № 20-07-00268.

Введение. КВ-радиосвязь используется гражданскими, промышленными, военными службами и организациями в качестве резервного вида. На КВ-диапазон приходятся частоты от 3 до 30 МГц, что соответствует длинам волн 100–10 м. Системы КВ-Связи обладают рядом преимуществ, таких как: универсальность применения, относительно низкая стоимость, большая зона покрытия, что важно для связи в труднодоступной местности – горы, море и др. Условно считается, что в режиме тактической связи (дальность до 500 км) используют частоты 3–8 МГц, в режиме стратегической связи (до 3 000 км) используют частоты 9–30 МГц.

Однако КВ-Связи присущи недостатки, ограничивающие ее возможности. Это относительно небольшие значения времени и полосы когерентности ионосферных ча-

стотных радиоканалов, ограничивающие пропускную способность, существенная загруженность каналов сигналами различных пользователей (антропогенные помехи), особенно значимая для условий приема в городе.

Качество КВ-радиосвязи в значительной степени определяется величиной отношения сигнал / шум. Повысить данную величину можно двумя способами: увеличением мощности передатчика и поиском канала с наименьшим уровнем шума, перспективно использовать каналы с минимальной загруженностью. Для оценки доступности изменяемых каналов систему связи дополняют режимом мониторинга спектральной плотности помех с разрешением не меньше полосы этих каналов. Результаты мониторинга загруженности позволяют использовать для связи в заданный момент времени каналы, свободные от помех. Также существует потребность в увеличении скорости передачи данных по КВ-линиям связи для передачи как голосовых сообщений, так и цифровых данных. Достигнуть этого можно при помощи расширения полосы частот каналов до значений 24 кГц.

В городских условиях на прием сигналов существенное негативное влияние оказывают антропогенные помехи (индустриальные шумы, помехи от электрического транспорта, помехи от импульсных блоков питания и т. д.). Поэтому для этих условий необходимо исследовать зависимость доступности широкополосных радиоканалов с полосой до 24 кГц для различных значений порога доступности, чтобы исключить влияние антропогенных помех.

Цель работы – исследовать с использованием сенсора влияние критериального порога доступности на реализацию круглосуточного приема информации в условиях города.

Методика исследований, техника эксперимента

В рассматриваемой задаче использовалась методика спектральной оценки доступности КВ радиоканала по экспериментальным данным. Предположим, что антенна работала в диапазоне 3–28 МГц, принимая сигналы помех, поступающих на нее из радиоэфира. Интерес представлял спектр сигналов помех во всем КВ-диапазоне, полученный с разрешением 24 кГц, равным полосе канала. Такая полоса обеспечивала максимальную скорость передачи символов.



Рис. 1. Методика получения спектра помех с разрешением 3 кГц

На рис. 1 схематично показана методика оценки в КВ-диапазоне спектра помех с разрешением 3 кГц.

Принимаемый с эфира сигнал в полосе 25 МГц (в диапазоне 3–28 МГц) оцифровывается аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и подвергается быстрому преобразованию Фурье с числом точек 65 536. В результате получаем спектр сигнала с разрешением по частоте 381 Гц. Это дает нам спектральную плотность мощности (СПМ) сигнала в полосе канала с такой частотой. Для получения СПМ сигнала в канале с полосой, близкой к 3 кГц, необходимо провести усреднение по 8 соседним отсчетам. После усреднения получали СПМ сигнала в канале с полосой 3,051 кГц. СПМ сигнала в канале с базовой полосой 3 кГц получался путем линейного пересчета мощности из СПМ сигнала в канале с полосой 3,051 кГц [1-2]. Затем эти данные пересчитывались на СПМ каналов с полосой 24 кГц.

Записанные из радиоэфира спектры носят случайный во времени характер. Чтобы получить статистически устойчивую выборку спектров для оценки СПМ, использовалось усреднение спектров, полученных последовательно за 1 секунду [3]. Далее для анализа доступности радиоканала усредненный спектр помех делился на поддиапазоны по 1 МГц. Для каждого поддиапазона брались 3 % отсчетов с наименьшим СПМ и вычислялось их среднее. Такое преобразование было необходимо для определения минимального уровня шума в каждом поддиапазоне [2–4]. Доступность канала определялась заданием уровня порога для спектральной плотности шума от минимального уровня, превышение которого означало загруженность анализируемого канала [5]. В работе исследовалось влияние уровня порога на количество загруженных каналов. В каждом поддиапазоне по 1 МГц вводились три значения порога 10 дБ, 15 дБ, 20 дБ. Доступность радиоканалов с полосой 24 кГц получалась путем пересчета из доступности радиоканалов с базовой полосой в 3 кГц. Для временной оценки доступности радиоканалов использовалась метрика, называемая минутной доступностью радиоканалов, обозначенная нами – СМА [2]. Она подразумевает, что радиоканал, доступный в течение двух минут, является также доступным в течение третьей минуты.

Экспериментальная техника оценки доступности каналов и условия проведения экспериментов. Для натурных экспериментов по оценке доступности радиоканалов, их анализа и интерпретации использовался лабораторный образец сенсора мониторинга спектра помех в КВ-диапазоне. В аппаратной части сенсора использовались антенна типа T2FD с диапазоном рабочих частот 1,9–30 МГц, универсальный SDR трансивер USRP N210 фирмы Ettus Research и персональный компьютер для сбора экспериментальных данных. Программная часть лабораторного образца сенсора реализована на основе разработанных методов и алгоритмов с использованием пакетов прикладных программ GNU Radio и PTC Mathcad15.

Эксперименты выполнялись в Йошкар-Оле в июне 2021 года. Запись спектра шумов КВ-канала производилась 24 часа в течение нескольких дней. Для анализа влияния порога доступности рассматривались широкополосные КВ-радиоканалы с полосой в 24 кГц. Для анализа влияния критерия доступности использовались пороговые значения, равные 10, 15, 20 дБ.

Анализ полученных результатов

При критерии доступности 10 дБ наблюдалась высокая занятость радиоканалов в диапазоне тактической радиосвязи 3–8 МГц в течение всего суточного хода; показатель доступности: 7–10 % – днем, 4–5 % – ночью. В ночное время радиоканалы данного диапазона при заданном критерии полностью загружены. Однако на частотах 16 и 17 МГц наблюдалась повышенная доступность каналов (31 % ночью и 44 % днем) по сравнению с соседними диапазонами 15 и 18 МГц, где доступность составляет 19 % ночью и 35 % днем. Это явление наглядно иллюстрирует *рис. 2*.

	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
0	0.08	0.03	0.02	0.08	0.09	0.1	0.11	0.14	0.23	0.25	0.2	0.24	0.21	0.29	0.31	0.3	0.29	0.19	0.19	0.21	0.28	0.17	0.21	0.16	0.19
1	0.08	0.01	0.04	0.05	0.08	0.11	0.1	0.12	0.21	0.24	0.19	0.24	0.19	0.28	0.31	0.22	0.26	0.17	0.21	0.22	0.27	0.25	0.2	0.14	0.15
2	0.05	0.01	0.04	0.05	0.08	0.11	0.1	0.12	0.21	0.24	0.19	0.24	0.19	0.28	0.31	0.22	0.26	0.17	0.21	0.22	0.27	0.25	0.2	0.14	0.15
3	0.07	0.03	0.07	0.08	0.1	0.12	0.13	0.25	0.23	0.21	0.23	0.17	0.32	0.27	0.2	0.26	0.22	0.19	0.22	0.24	0.23	0.21	0.19	0.21	0.21
4	0.07	0.07	0.1	0.11	0.08	0.13	0.12	0.14	0.29	0.27	0.21	0.2	0.16	0.32	0.31	0.22	0.28	0.13	0.19	0.22	0.21	0.23	0.27	0.19	0.21
5	0.08	0.07	0.1	0.09	0.08	0.13	0.13	0.13	0.35	0.24	0.21	0.2	0.2	0.28	0.29	0.25	0.25	0.16	0.23	0.23	0.23	0.22	0.25	0.15	0.2
6	0.08	0.07	0.08	0.08	0.08	0.1	0.13	0.15	0.33	0.28	0.21	0.22	0.16	0.31	0.22	0.18	0.28	0.2	0.21	0.15	0.21	0.18	0.23	0.18	0.25
7	0.07	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.12	0.13	0.34	0.32	0.24	0.2	0.16	0.28	0.27	0.18	0.27	0.2	0.21	0.16	0.23	0.16	0.21	0.18	0.25
8	0.07	0.03	0.02	0.05	0.09	0.14	0.17	0.22	0.34	0.32	0.27	0.17	0.19	0.25	0.31	0.22	0.27	0.15	0.19	0.26	0.23	0.24	0.27	0.25	0.31
9	0.12	0.08	0.04	0.06	0.09	0.13	0.2	0.3	0.44	0.4	0.35	0.33	0.27	0.34	0.42	0.29	0.28	0.26	0.26	0.28	0.25	0.32	0.28	0.34	0.32
10	0.14	0.08	0.05	0.1	0.15	0.19	0.28	0.36	0.43	0.35	0.42	0.35	0.32	0.39	0.43	0.35	0.35	0.28	0.3	0.32	0.24	0.34	0.34	0.37	0.37
11	0.17	0.11	0.07	0.13	0.23	0.25	0.33	0.46	0.42	0.45	0.49	0.44	0.39	0.43	0.44	0.41	0.34	0.24	0.33	0.36	0.29	0.43	0.47	0.41	0.4
12	0.19	0.15	0.09	0.16	0.26	0.28	0.34	0.46	0.42	0.5	0.51	0.4	0.38	0.4	0.36	0.35	0.34	0.25	0.32	0.34	0.36	0.38	0.4	0.4	0.42
13	0.16	0.11	0.08	0.13	0.17	0.2	0.27	0.42	0.49	0.49	0.46	0.39	0.39	0.39	0.39	0.37	0.33	0.33	0.32	0.32	0.34	0.38	0.39	0.42	0.4
14	0.17	0.12	0.11	0.13	0.18	0.17	0.24	0.44	0.52	0.49	0.51	0.44	0.35	0.36	0.43	0.3	0.34	0.3	0.34	0.35	0.32	0.36	0.4	0.36	0.4
15	0.15	0.14	0.09	0.11	0.16	0.21	0.25	0.41	0.39	0.43	0.47	0.45	0.39	0.37	0.4	0.28	0.4	0.3	0.37	0.34	0.33	0.38	0.39	0.38	0.4
16	0.14	0.12	0.1	0.09	0.15	0.2	0.28	0.31	0.44	0.48	0.44	0.44	0.35	0.39	0.45	0.34	0.37	0.33	0.31	0.35	0.31	0.33	0.39	0.44	0.4
17	0.14	0.11	0.08	0.1	0.15	0.19	0.24	0.4	0.44	0.48	0.46	0.41	0.39	0.4	0.46	0.28	0.4	0.33	0.29	0.31	0.31	0.39	0.35	0.37	0.41
18	0.1	0.08	0.08	0.11	0.13	0.17	0.18	0.3	0.33	0.32	0.38	0.36	0.39	0.37	0.42	0.36	0.35	0.25	0.34	0.24	0.25	0.38	0.3	0.45	0.38
19	0.07	0.05	0.05	0.12	0.18	0.16	0.16	0.25	0.26	0.33	0.31	0.16	0.35	0.36	0.28	0.24	0.24	0.17	0.25	0.19	0.26	0.41	0.37	0.41	0.37
20	0.08	0.06	0.05	0.08	0.12	0.1	0.13	0.15	0.2	0.24	0.24	0.29	0.19	0.27	0.25	0.21	0.24	0.12	0.15	0.17	0.19	0.16	0.18	0.19	0.21
21	0.08	0.05	0.05	0.07	0.1	0.08	0.12	0.15	0.2	0.25	0.21	0.3	0.18	0.25	0.27	0.24	0.25	0.13	0.19	0.17	0.18	0.15	0.2	0.18	0.22
22	0.08	0.04	0.03	0.05	0.11	0.1	0.11	0.14	0.22	0.27	0.23	0.27	0.17	0.28	0.19	0.13	0.2	0.14	0.21	0.19	0.24	0.2	0.18	0.18	0.19
23	0.08	0.03	0.04	0.06	0.07	0.1	0.1	0.14	0.21	0.26	0.21	0.24	0.19	0.23	0.25	0.25	0.27	0.15	0.15	0.23	0.25	0.24	0.18	0.25	0.17

Рис. 2. Суточный ход доступности радиоканалов КВ-диапазона в течение суток при использовании критериального порога в 10 дБ

На рис. 2 видно, что частоты 15, 18 и 19 МГц обладают большей доступностью в ночное время по сравнению с соседними диапазонами частот. Диапазон стратегической радиосвязи (9–27 МГц) при пороге 10 дБ обладает низкой доступностью в ночные часы (примерно 15–20 %, за исключением частот 16–18 МГц), и в дневные часы также доступность составляет 35–45 %.

Таким образом, в каналах с полосой 24 кГц при уровне порога 10 дБ наблюдается низкая доступность для диапазона тактической связи (3–8 МГц) как в дневное, так и ночное время. В диапазоне стратегической радиосвязи (9–27 МГц) наблюдается низкая доступность в ночное время, в дневное время данный показатель составляет 35–45 %. Следует отметить, что эксперимент проводился в городских условиях, где, следовательно, присутствует большее количество антропогенных источников помех. Наиболее занятыми радиоканалами диапазона 3–9 МГц и 25–27 МГц становятся в дневное время.

При критерии 15 дБ доступность увеличивается. Так, в дневное время свободными от существенных помех являются диапазон 3 МГц (см. рис. 3) и диапазон 8–14 МГц. Последний используется для стратегической радиосвязи. Он при данном пороге имеет доступность 96–100 %. Отметим, что при критериальном пороге в 10 дБ (см. рис. 2) диапазон тактической радиосвязи 3–8 МГц был полностью недоступным (доступность составляла 3–15 %).

Из рис. 3 видно, что на частоте 3 МГц в дневное время имеют место незанятые каналы в отличие от ситуации, когда использовался порог 10 дБ. При аналогичном сравнении отметим, что свободные радиоканалы (доступность 75–84 %) присутствуют также на частотах стратегической связи 24–26 МГц в ночное и дневное время.

	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
0	0.47	0.29	0.22	0.36	0.5	0.41	0.47	0.64	0.69	0.74	0.57	0.57	0.52	0.51	0.56	0.56	0.45	0.37	0.41	0.37	0.4	0.46	0.47	0.65	0.59
1	0.46	0.28	0.21	0.33	0.44	0.39	0.44	0.6	0.6	0.74	0.55	0.59	0.53	0.52	0.58	0.48	0.47	0.33	0.41	0.38	0.39	0.52	0.46	0.63	0.53
2	0.44	0.29	0.19	0.32	0.45	0.4	0.44	0.66	0.6	0.74	0.63	0.59	0.48	0.5	0.54	0.45	0.5	0.33	0.39	0.38	0.33	0.5	0.47	0.7	0.53
3	0.43	0.31	0.24	0.35	0.45	0.4	0.47	0.64	0.77	0.69	0.61	0.59	0.46	0.51	0.53	0.46	0.46	0.35	0.38	0.35	0.36	0.51	0.46	0.71	0.54
4	0.41	0.34	0.25	0.36	0.41	0.41	0.45	0.68	0.88	0.78	0.58	0.52	0.38	0.5	0.57	0.51	0.45	0.22	0.37	0.36	0.34	0.52	0.57	0.75	0.6
5	0.45	0.32	0.26	0.38	0.38	0.4	0.5	0.69	0.91	0.73	0.58	0.52	0.5	0.47	0.57	0.54	0.44	0.33	0.4	0.38	0.35	0.48	0.59	0.7	0.55
6	0.43	0.34	0.22	0.25	0.32	0.37	0.49	0.7	0.87	0.84	0.59	0.49	0.46	0.49	0.46	0.46	0.47	0.32	0.39	0.32	0.33	0.46	0.58	0.83	0.67
7	0.4	0.22	0.16	0.23	0.27	0.21	0.47	0.61	0.9	0.89	0.55	0.45	0.46	0.44	0.53	0.51	0.4	0.19	0.35	0.29	0.37	0.47	0.58	0.84	0.74
8	0.6	0.38	0.19	0.3	0.43	0.51	0.67	0.77	0.91	0.92	0.72	0.4	0.44	0.48	0.6	0.51	0.44	0.27	0.34	0.39	0.41	0.59	0.65	0.82	0.72
9	0.59	0.6	0.23	0.49	0.61	0.68	0.86	0.96	0.99	0.97	0.84	0.65	0.61	0.58	0.64	0.57	0.49	0.43	0.4	0.51	0.66	0.78	0.79	0.79	0.69
10	0.65	0.61	0.34	0.58	0.66	0.73	0.92	0.98	0.97	0.88	0.55	0.66	0.6	0.59	0.64	0.62	0.57	0.44	0.42	0.45	0.53	0.68	0.74	0.72	0.7
11	0.56	0.66	0.45	0.66	0.67	0.81	0.97	1	0.91	0.9	0.99	0.93	0.65	0.6	0.66	0.65	0.53	0.36	0.42	0.46	0.59	0.75	0.73	0.68	0.68
12	0.56	0.69	0.44	0.65	0.68	0.81	0.97	0.98	0.9	0.98	0.99	0.9	0.65	0.6	0.57	0.62	0.56	0.38	0.42	0.45	0.62	0.71	0.65	0.69	0.68
13	0.56	0.67	0.45	0.66	0.68	0.76	0.96	0.99	0.95	0.99	0.86	0.66	0.6	0.65	0.64	0.56	0.46	0.42	0.46	0.64	0.64	0.78	0.78	0.76	0.7
14	0.55	0.69	0.51	0.65	0.65	0.77	0.92	1	1	0.94	0.99	0.89	0.67	0.57	0.66	0.6	0.57	0.45	0.43	0.46	0.65	0.84	0.84	0.75	0.71
15	0.55	0.69	0.5	0.58	0.64	0.83	0.93	0.99	0.86	0.9	0.99	0.9	0.67	0.59	0.6	0.51	0.61	0.46	0.44	0.45	0.64	0.77	0.77	0.72	0.7
16	0.52	0.68	0.56	0.57	0.65	0.81	0.97	0.92	0.98	0.99	0.95	0.86	0.63	0.6	0.66	0.57	0.59	0.44	0.4	0.45	0.63	0.69	0.72	0.74	0.65
17	0.52	0.66	0.53	0.54	0.66	0.78	0.88	0.97	0.97	0.97	0.94	0.92	0.67	0.6	0.65	0.53	0.59	0.44	0.37	0.45	0.62	0.77	0.75	0.71	0.67
18	0.58	0.65	0.54	0.59	0.61	0.7	0.75	0.84	0.92	0.85	0.86	0.78	0.65	0.59	0.63	0.61	0.55	0.39	0.42	0.39	0.48	0.72	0.65	0.76	0.65
19	0.79	0.62	0.49	0.58	0.61	0.64	0.71	0.84	0.83	0.82	0.77	0.69	0.59	0.58	0.61	0.6	0.49	0.38	0.35	0.29	0.44	0.59	0.52	0.65	0.6
20	0.38	0.33	0.24	0.35	0.46	0.28	0.43	0.56	0.63	0.57	0.58	0.58	0.45	0.48	0.55	0.51	0.42	0.25	0.27	0.25	0.29	0.37	0.36	0.71	0.58
21	0.47	0.33	0.21	0.31	0.49	0.32	0.5	0.65	0.64	0.7	0.57	0.59	0.46	0.51	0.56	0.49	0.41	0.28	0.34	0.25	0.31	0.39	0.45	0.61	0.61
22	0.42	0.27	0.1	0.22	0.46	0.35	0.45	0.65	0.73	0.64	0.59	0.51	0.44	0.48	0.48	0.44	0.36	0.32	0.37	0.3	0.37	0.5	0.4	0.6	0.64
23	0.42	0.3	0.2	0.33	0.45	0.34	0.4	0.55	0.57	0.69	0.57	0.51	0.47	0.44	0.56	0.5	0.44	0.35	0.34	0.37	0.4	0.53	0.42	0.77	0.55

Таким образом, при увеличении порога с 10 дБ до 15 дБ происходит увеличение доступности радиоканалов широкополосных каналов КВ-Связи в дневное и ночное время, в то время как при пороге 10 дБ все радиоканалы с этими полосами были полностью недоступны как днем, так и ночью. Выигрыш в доступности радиоканалов составляет примерно 30–40 %. Итак, при увеличении порога на 5 дБ выигрыш в доступности радиоканалов составляет 1,5 раза как в дневное, так и ночное время.

При критерии 20 дБ в дневное время доступные радиоканалы имели место в диапазонах как тактической связи (3 МГц, 8–14 МГц), так и стратегической связи (23–27 МГц). В ночное время доступными были радиоканалы в диапазонах 10–12 МГц и 26–27 МГц (см. рис. 4).

Отметим, что увеличение порога на 10 дБ дает выигрыш в доступности радиоканалов в ~ 2,5 раза как в дневное, так и ночное время.

	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
0	0,64	0,55	0,31	0,49	0,63	0,34	0,76	0,74	0,76	0,8	0,69	0,63	0,6	0,57	0,61	0,61	0,52	0,39	0,43	0,41	0,45	0,38	0,69	0,91	0,8
1	0,65	0,53	0,3	0,5	0,62	0,57	0,67	0,6	0,91	0,82	0,66	0,65	0,61	0,56	0,61	0,53	0,56	0,38	0,44	0,42	0,45	0,62	0,64	0,82	0,77
2	0,64	0,56	0,31	0,52	0,62	0,58	0,69	0,88	0,89	0,85	0,74	0,66	0,61	0,54	0,61	0,51	0,55	0,35	0,43	0,41	0,39	0,58	0,61	0,85	0,79
3	0,61	0,58	0,34	0,54	0,63	0,54	0,71	0,89	0,87	0,81	0,74	0,66	0,59	0,56	0,61	0,54	0,54	0,37	0,42	0,4	0,43	0,58	0,67	0,83	0,79
4	0,61	0,62	0,34	0,55	0,62	0,55	0,69	0,91	0,96	0,91	0,72	0,63	0,52	0,55	0,63	0,59	0,54	0,3	0,42	0,41	0,43	0,59	0,72	0,87	0,85
5	0,61	0,59	0,33	0,44	0,61	0,54	0,75	0,92	0,97	0,86	0,72	0,62	0,6	0,54	0,63	0,62	0,53	0,39	0,44	0,42	0,4	0,54	0,74	0,86	0,77
6	0,59	0,61	0,3	0,45	0,53	0,49	0,78	0,93	0,93	0,95	0,72	0,55	0,58	0,55	0,56	0,58	0,54	0,35	0,42	0,4	0,43	0,55	0,78	0,97	0,89
7	0,61	0,54	0,28	0,44	0,48	0,39	0,72	0,85	0,87	0,88	0,65	0,52	0,6	0,53	0,63	0,61	0,48	0,25	0,41	0,36	0,42	0,55	0,77	0,89	0,91
8	0,72	0,58	0,27	0,52	0,59	0,7	0,86	0,94	0,97	0,99	0,82	0,55	0,56	0,55	0,65	0,57	0,5	0,37	0,41	0,45	0,58	0,72	0,87	0,97	0,97
9	0,98	0,7	0,45	0,65	0,65	0,89	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,8	0,65	0,6	0,66	0,62	0,56	0,57	0,44	0,55	0,83	0,95	0,97	0,98	0,99
10	0,98	0,72	0,55	0,68	0,67	0,91	0,99	1	0,99	0,94	1	0,9	0,72	0,64	0,67	0,67	0,63	0,59	0,47	0,58	0,87	0,95	0,99	0,98	0,98
11	1	0,75	0,62	0,68	0,68	0,94	1	1	0,95	0,93	1	0,99	0,87	0,71	0,68	0,67	0,58	0,54	0,49	0,64	0,93	1	0,99	0,97	0,97
12	1	0,74	0,63	0,68	0,68	0,94	1	1	0,95	0,99	1	1	0,94	0,73	0,61	0,66	0,61	0,55	0,51	0,63	0,92	0,96	0,91	0,97	0,98
13	1	0,74	0,63	0,68	0,68	0,9	0,98	1	1	0,98	1	1	0,96	0,73	0,68	0,67	0,62	0,64	0,49	0,64	0,93	0,99	0,98	1	0,99
14	1	0,74	0,63	0,68	0,68	0,9	0,97	1	1	0,97	1	1	0,98	0,74	0,67	0,66	0,61	0,64	0,49	0,64	0,92	0,98	0,99	0,99	1
15	1	0,75	0,62	0,67	0,67	0,94	0,99	1	0,9	0,95	1	1	0,97	0,75	0,63	0,57	0,64	0,64	0,49	0,66	0,93	0,97	0,99	0,99	0,98
16	1	0,73	0,65	0,64	0,68	0,93	1	0,97	1	1	0,99	1	0,94	0,73	0,68	0,61	0,64	0,63	0,48	0,62	0,91	0,94	0,95	0,99	0,96
17	1	0,72	0,62	0,6	0,68	0,93	0,96	1	0,99	1	0,97	0,99	0,96	0,74	0,67	0,59	0,64	0,61	0,43	0,6	0,88	0,95	0,93	0,95	0,97
18	0,98	0,71	0,65	0,63	0,66	0,87	0,92	0,94	0,99	0,93	0,92	0,99	0,87	0,7	0,66	0,66	0,62	0,53	0,45	0,55	0,78	0,98	0,89	0,98	0,93
19	0,98	0,69	0,62	0,63	0,66	0,84	0,87	0,95	0,94	0,91	0,89	0,96	0,74	0,66	0,67	0,64	0,58	0,51	0,4	0,45	0,81	0,95	0,84	0,96	0,89
20	0,57	0,53	0,35	0,52	0,56	0,44	0,7	0,72	0,8	0,63	0,68	0,64	0,59	0,55	0,6	0,6	0,49	0,35	0,31	0,3	0,36	0,49	0,57	0,9	0,75
21	0,65	0,58	0,34	0,51	0,46	0,48	0,74	0,79	0,76	0,68	0,64	0,57	0,56	0,61	0,58	0,5	0,36	0,36	0,29	0,37	0,52	0,71	0,85	0,77	
22	0,58	0,54	0,25	0,4	0,6	0,55	0,77	0,77	0,8	0,7	0,67	0,59	0,5	0,52	0,58	0,6	0,46	0,39	0,4	0,36	0,44	0,64	0,65	0,7	0,84
23	0,59	0,55	0,32	0,51	0,59	0,56	0,68	0,63	0,68	0,77	0,68	0,59	0,55	0,5	0,61	0,57	0,51	0,41	0,4	0,41	0,46	0,62	0,66	0,98	0,83

Рис. 4. Суточный ход доступности радиоканалов КВ-диапазона при использовании порога 20 дБ

Выводы

В городских условиях системы широкополосной ионосферной тактической и стратегической КВ-Связи испытывают существенные негативные ограничения в числе доступных каналов. В работе обоснована методика оценки влияния критериального порога доступности на эффективность круглосуточного приема информации. В основу положен метод мониторинга спектра принимаемых антропогенных и естественных канальных шумов с использованием соответствующего сенсора. Проведено экспериментальное исследование влияния уровня порога на доступность широкополосных радиоканалов. Установлено, что увеличение порога на 10 дБ (с 10 до 20 дБ) дает выигрыш в доступности радиоканалов в 1,5–2,5 раза как в дневное, так и ночное время, а данные для порога 10 дБ соответствуют условиям приема сигналов с минимальной мощностью. Увеличение порога можно связать либо с увеличением излучаемой мощности связного передатчика, либо с изменением местности на случай уменьшения в ней уровня помех.

Таким образом, при увеличении критериального порога увеличивается количество свободных радиоканалов как в дневное, так и ночное время. Преимущественно это имеет место в диапазонах 3–9 МГц и 25–27 МГц в дневное время, а также в диапазоне 10–12 МГц круглосуточно.

Список литературы

1. Proakis J. G., Salehi M. Digital Communications. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

2. William N. Furman, John W. Nieto, Erik N. Koski. Initial Wideband HF ALE: Approach and On-Air Test Results // The Nordic Shortwave Conference HF13. Faro, Sweden, 2013. URL: www.nordichf.org
3. William N. Furman, John W. Nieto, William M. Batts. Wideband HF Channel Availability – Measurement Techniques and Results // 14th International Ionospheric Effects Symposium. Alexandria, Virginia, USA, 2015. URL: <http://ies2015.bc.edu>
4. Md G. Mostafa, Haris Haralambous. Wideband Channel Availability Statistics over the High Frequency Spectrum in Cyprus // 2nd URSI AT-RASC. Gran Canaria, Spain, 2018. URL: www.ursi.org
5. Recommendation ITU-R P.372-14 // Radio noise. 2019, 20 september.
6. Определение занятости КВ-радиоканалов с полосами 3...24 кГц для повышения эффективности передачи информации / Д. В. Иванов, В. А. Иванов, Н. В. Рябова, Р. Р. Бельгибаев // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2020. № 3 (47). С. 6–17.
7. Анализ занятости каналов с полосами от 3 до 24 кГц в задаче когнитивного КВ радио / Д. В. Иванов, В. А. Иванов, Р. Р. Бельгибаев, Н. А. Конкин // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. 2020. № 1-2. С. 96-97.
8. Определение доступности радиоканалов с полосами от 3 до 24 кГц в диапазоне частот 3–28 мГц / Р. Р. Бельгибаев, О. В. Михадарова, М. М. Олехов, А. В. Чернядьев // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Технологическая. Вып. 9. 2021. С. 55–60.

BROADBAND HF COMMUNICATION CAPABILITIES IN URBAN CONDITIONS

*Belgibaev Ruslan Rashidovich, Mikhadarova Olga Vasilyevna,
Chernyadyev Andrey Vladimirovich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The methods and algorithms for determining the availability of HF radio channels with a wide frequency band at different transmitter power are studied, which allow for efficient round-the-clock reception of information on ionospheric communication lines up to 3000 km long. The developments were implemented in a laboratory sample of a software and hardware complex that provides monitoring of broadband radio channels based on the technology of software-configurable radio. The data of round-the-clock experimental studies conducted when receiving a signal in a complex interference environment characteristic of an urban area are presented. The daily changes in availability were determined when the criterion was changed within the values of 10 dB, 15 dB and 20 dB. Experimental estimates of the minute availability of such radio channels at various criteria values are given.

Keywords: transmitter power; broadband signal; noise level; signal-to-noise ratio; minute availability of the radio channel; adaptive threshold.

УДК 535.345.1

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПЕКТРОВ ПРОПУСКАНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК ОКСИДА ЦИНКА, ИССЛЕДОВАННЫХ НА СФ-2000 И ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДЕ

Карпычев Евгений Александрович

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
Karpicheva@mail.ru

В данной статье представлен сравнительный анализ спектров пропускания тонких пленок, исследованных на лабораторном стенде и на спектрофотометре СФ-2000. Данные приборы предназначены для измерения спектров пропускания твердых прозрачных образцов. В качестве образца исследования выбраны тонкие пленки оксида цинка, напыленные на стеклянную подложку. Исследование спектров пропускания пленок ZnO на обоих приборах показали, что коэффициент пропускания максимальный (70–80 %) в видимом диапазоне и минимальный (около 10 %) в УФ диапазоне.

Ключевые слова: спектр пропускания; тонкая пленка оксида цинка; спектрофотометр СФ-2000; интерференция в тонких пленках; спектрометр Avaspec; спектральный диапазон.

Введение. В настоящее время тонкопленочные покрытия широко используются в различных областях науки и техники, в частности, в авиации и космонавтике. Прозрачные нитридные, оксидные, фторидные тонкие пленки используются в качестве составных слоев многослойных оптических покрытий – просветляющих, антибликовых, спектрально-селективных, изготавливаемых в большинстве случаев вакуумными методами, в частности, магнетронным распылением. На кафедре КиПР есть спектрофотометр СФ-2000 для исследования оптических свойств тонких пленок. Но он имеет недостатки, а именно:

- чтобы провести исследование тонких пленок, их нужно разрезать на маленькие части (15 на 15 мм), что замедляет процесс исследования;
- размер кювет составляет 15 на 15 мм;
- продолжительное время работы для запуска: необходимость прогревания установки в течение получаса для продолжительности эффективной работы спектрофотометра.

Цель работы заключается в разработке лабораторного стенда и сравнения спектров пропускания тонких пленок оксида цинка, исследованных на лабораторном стенде и на спектрофотометре СФ-2000.

Решаемая задача – оценка точности лабораторного стенда в получении спектров пропускания в сравнении с прибором СФ-2000 на основании исследования тонких пленок оксида цинка.

Краткие сведения из теории. Спектром пропускания называют зависимость величины пропускания объекта от длины волны. Спектр пропускания определяется как отношение светового потока, прошедшего через образец, к падающему потоку излучения [1]

$$\tau_{\lambda} = \Phi_{\lambda\text{прош}} / \Phi_{\lambda\text{пад}}.$$

Спектрофотометр СФ-2000 предназначен для измерения спектральных коэффициентов направленного пропускания жидких и твердых прозрачных образцов [2], применяется в лабораториях санэпиднадзора, лабораториях промышленных, экологических, химико-технологических, фармацевтических, научно-исследовательских и др. учреждениях.

Данный спектрофотометр работает в диапазоне от 190 нм до 1 100 нм. Разработанный лабораторный стенд имеет *спектральный диапазон измерений* (190–750 нм).

Описание лабораторного стенда. Структурная схема разрабатываемого стенда изображена на рис. 1.

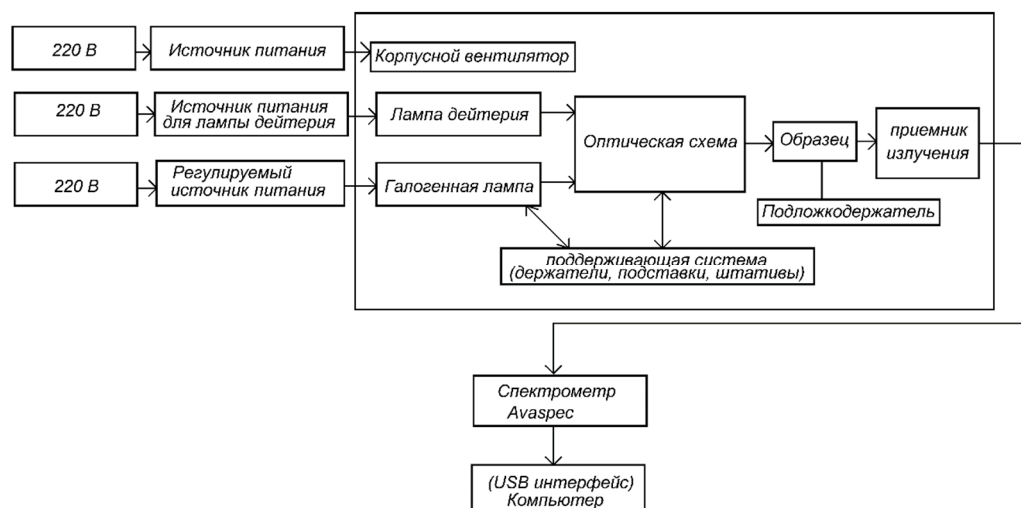


Рис. 1. Структурная схема стенда

Источники питания необходимы для запуска и работы дейтериевой и галогенной лампы, а также для работы корпусного вентилятора для охлаждения. Источники излучения нужны для получения спектра пропускания тонкой пленки.

Оптическая схема, состоящая из трех линз и зеркала, необходима для прохождения лучей, которые, в свою очередь, при правильной установке оптических элементов будут проходить сквозь образец тонкой пленки. Оптическая схема представлена на рис. 2.

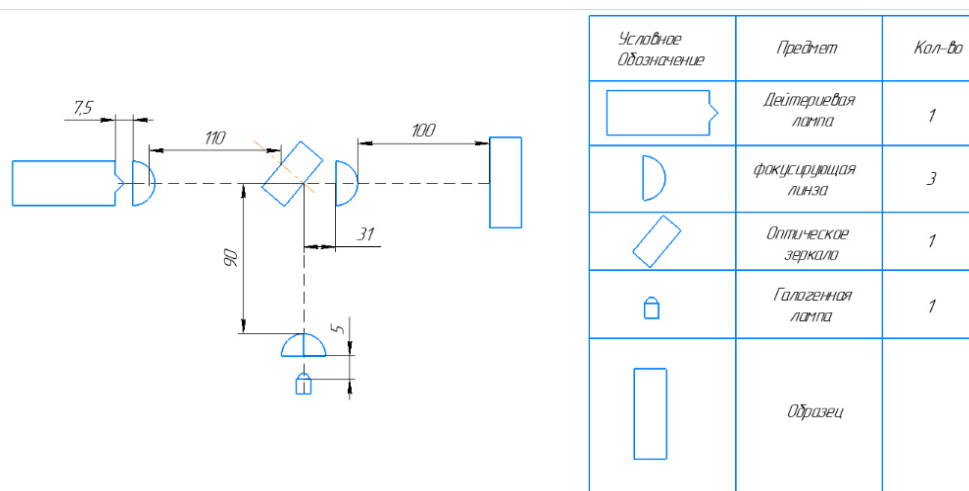


Рис. 2. Оптическая схема

Пройденный луч сквозь исследуемый образец будет регистрироваться с помощью приемника-оптоволоконного кабеля от спектрометра Avaspec. С помощью USB-интерфейса прибор подключается к персональному компьютеру, устанавливается программное обеспечение AVASOFT 7.8.0 для исследований спектральных характеристик различных образцов тонких пленок, получаемых на кафедре КиПР в вакуумной лаборатории.

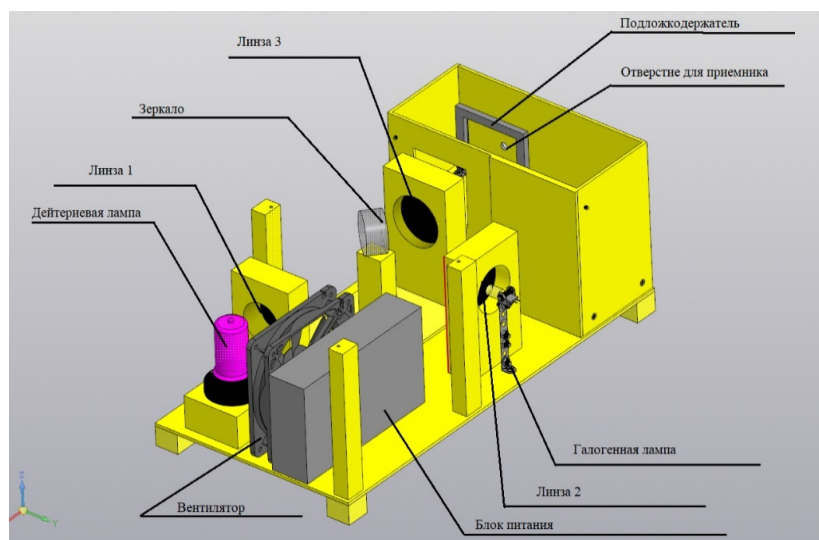


Рис. 3. Конструкция стенда

Конструкция лабораторного стенда представлена на *рис. 3*. Для наглядности конструкции предложен вид сверху, при этом условно не показаны передние и боковые стенки корпуса и крышки.

Конструкция содержит оптические элементы (зеркало, три фокусирующие линзы), два источника излучения (дейтериевая лампа и галогенная лампа), блок питания для дейтериевой лампы, корпусной вентилятор.

Методика эксперимента. Как известно, интерференция в тонких пленках возникает на границе двух сред – подложка / пленка-подложка. Поэтому перед началом эксперимента в корпус лабораторного стенда необходимо закрепить чистую стеклянную подложку.

Для начала исследования необходимо ознакомиться с пользовательским интерфейсом программы AVASOFT 7.2.0 и алгоритмом получения спектра пропускания.

Пользовательский интерфейс программы представлен на *рис. 4*.

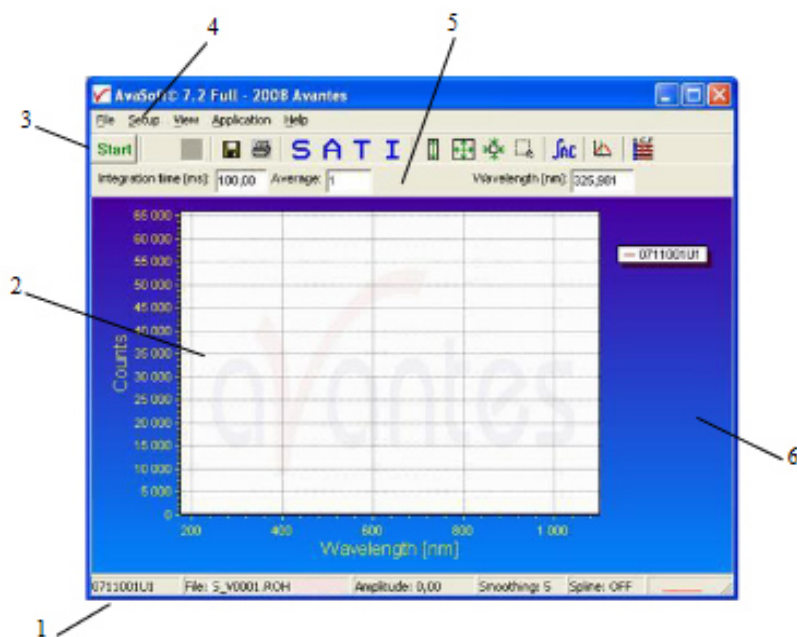


Рис. 4. Интерфейс программы AVASOFT 7.2

Пошаговый алгоритм получения спектра пропускания в программе Avasoft:

- 1) включение одного источника излучения на стенде. Запись светового потока (Save References);
- 2) добиться на экране монитора спектра излучения (Score Mode). Значение светового потока (Counts) не должно превышать 14 000. Запись светового потока (Save References);
- 3) выключение источника для записи темнового тока (save Dark);
- 4) обратное включение источника излучения;
- 5) добавление исследуемого образца в подложкодержатель;
- 6) переход из режима score в режим пропускания (T);
- 7) наблюдение за спектром пропускания;
- 8) сохранение полученных результатов в программы Microsoft Office Excel с помощью кнопок save experiment и convert graphic to Excel;
- 9) выбор нужного диапазона измерения и соответствующие ему коэффициенты пропускания. Для построения спектра пропускания от воздействия излучения дейтериевой лампы интересует область, находящаяся в диапазоне от 200 нм до 380 (400) нм, для галогенной 380 (400) – 750 нм;
- 10) построение по данным результатам исследования графика спектра пропускания от длины волны.

Для того чтобы оценить точность и работу лабораторного стенда, было решено провести исследование тонкой пленки оксида цинка на имеющемся спектрофотометре СФ-2000 и сравнить преимущества и недостатки обеих лабораторных установок.

Для сравнения спектров пропускания тонких пленок, полученных на лабораторном стенде, выберем оптимальный диапазон измерений – 200–750 нм. Спектры пропускания пленок ZnO, исследованных на обеих установках, представлены на рис. 5. Исследование спектров пропускания пленок ZnO на обоих приборах показали, что коэффициент пропускания максимальный (70–80 %) в видимом диапазоне и минимальный (около 10 %) в УФ диапазоне.

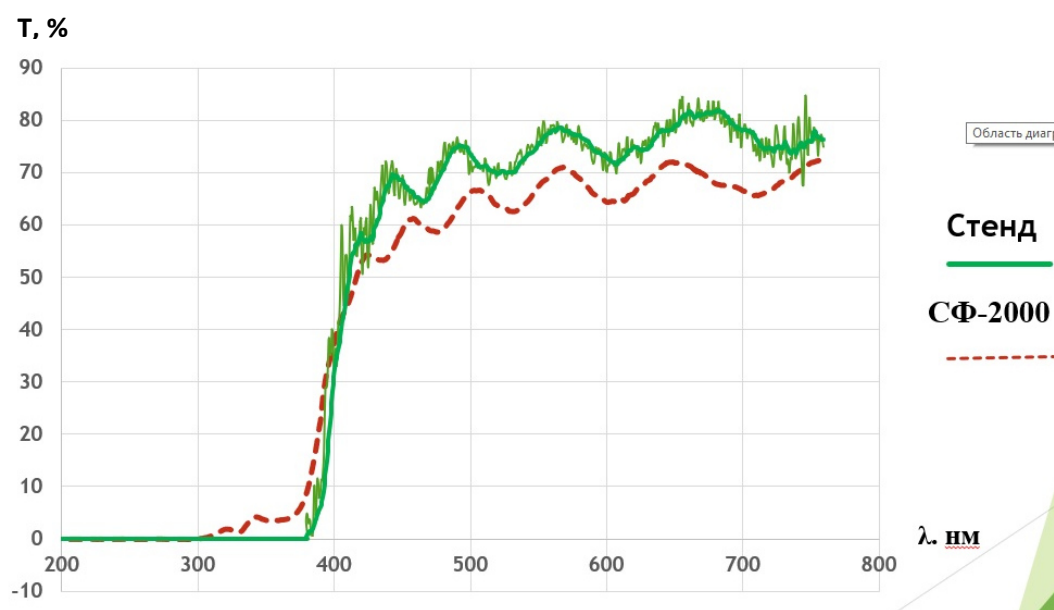


Рис. 5. Спектры пропускания пленок ZnO стенда и СФ-2000

Сравнительный анализ. Разработанный лабораторный стенд незначительно уступает спектрофотометру СФ-2000 в области УФ (300–400) нм. Это связано с различной интенсивностью дейтериевых ламп. В СФ-2000 применяются популярные дейтериевые лампы hamamatsu, которые характеризуются высокой надежностью и хорошими техническими характеристиками. Также не исключено, что на различие коэффициентов пропускания повлияло исследование разных участков пленки, так как в некоторых местах пленки была четко заметна грязь, которая повлияла на интенсивность излучения в ультрафиолетовой области. А вот в видимой области спектрофотометр СФ-2000 по коэффициенту пропускания уступил по таким же причинам, которые описаны выше.

Основным недостатком лабораторного стенда является отсутствие фильтрации полученных значений коэффициента пропускания, из-за чего требуется дополнительно выстраивать функции линии тренда для выравнивания значений. Наиболее точная причина разрывных скачков коэффициентов пропускания связана с плохой калибровкой прибора спектрометра Avaspec. Это означает, что перед каждой работой спектрометра его необходимо настроить для получения наиболее сглаженной спектральной характеристики исследуемого образца. На СФ-2000 при исследовании пленки получилась более сглаженная спектральная характеристика (см. рис. 5).

Главным преимуществом СФ-2000 является раздельное влияние воздействия дейтериевой и галогенной ламп, что ускоряет процесс построения спектра пропускания в программе SFScan. У лабораторного стенда отсутствует автоматизация как у СФ-2000, из-за чего исследование приходилось проводить вручную согласно алгоритму, приведенному в предыдущем разделе. Также спектрофотометр СФ-2000 исследует образцы и в ИК-области, в то время как разработанный стенд работает в диапазоне 200–750 (800) нм. Причина такого явления может быть связана с ошибкой оборудования либо же плохой калибровкой прибора. Однако у спектрофотометра СФ-2000 есть и недостатки:

- для оптимальной работы спектрофотометра необходимо прогревать прибор в течение 30 мин;
- очень маленький размер кювет. Нельзя исследовать тонкие пленки больших размеров, более чем 15х15 мм.

Первое преимущество лабораторного стенда заключается в исследовании пленок больших размеров (60х48 мм), причем необязательно исследовать пленки именно в подложкодержателе, можно просто поднести тонкую пленку к приемнику излучения. Но при таком исследовании будут наблюдаться помехи, шумы в интенсивности излучения, так как крышка стенда будет не закрыта, и будет попадать лишний свет, например от осветительных ламп в аудитории.

Второе преимущество заключается в недолгом нагревании стенда. Достаточно прогреть его в течение 5–10 мин – и можно приступить к исследованиям.

Третье преимущество заключается в исследовании влияния экспериментальных образцов на магнитные и электрические поля. В СФ-2000 отсутствует такая возможность из-за тесной конструкции прибора.

Заключение. Таким образом, данный лабораторный стенд успешно прошел проверку и подходит для исследования оптических свойств тонких пленок. По оценке точности он не уступает спектрофотометру СФ-2000, за исключением фильтрации (разбросов коэффициентов пропускания по исследуемому диапазону). Добавление линии тренда на зависимости создает неточности в определении оптических коэффициентов.

Список литературы

1. Кочин Л. Б., Лебедев В. Ф., Погода А. П. Оптические измерения: лаб. практикум. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2013. 110 с.
2. СФ-2000. УВИ-спектрофотометр. URL:<http://okb-r.ru/products/spectrophotometers/sf2000?> (дата обращения: 13.06.2022).

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE TRANSMISSION SPECTRA OF THIN OF ZINC OXIDE FILMS INVESTIGATED AT SF-2000 AND LABORATORY STAND

Karpychev Evgeny Alexandrovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

This article presents a comparative analysis of the transmission spectra of thin films studied on a laboratory bench and on an SF-2000 spectrophotometer. These instruments are designed to measure the transmission spectra of solid transparent samples. Thin films of zinc oxide deposited on a glass substrate were chosen as a research sample. The study of the transmission spectra of ZnO films on both devices showed that the transmission coefficient is maximum (70–80 %) in the visible range and minimum (about 10 %) in the UV range.

Keywords: transmission spectrum; zinc oxide thin film; SF-2000 spectrophotometer; interference in thin films; Avaspec spectrometer; spectral range.

УДК 621

**ДЕТСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ
КОНСТРУКЦИИ С ВНУТРЕННИМ УПРАВЛЕНИЕМ**

**Лаврентьев Борис Федорович, Буканова Татьяна Сергеевна,
Бусыгин Георгий Валентинович, Сафиуллина Яна Михайловна**

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
Lavreytevb@volgatech.net

В статье рассматриваются вопросы создания информационных робототехнических конструкций с внутренним управлением, создаваемым сотрудниками Поволжского государственного технологического университета в рамках выполнения гранта № 15-06-10686. Особенностью предлагаемых информационных робототехнических конструкций является то, что, в отличие от существующих конструкций, в них главным фактором является звуковое сопровождение, а не динамическое перемещение конструкции. В информационных робототехнических конструкциях время работы в режиме выдачи звуковой информации составляет 90–95 % от общего времени работы информационной робототехнической конструкции, что позволяет при использовании предлагаемой схемы устройства управления информационной робототехнической конструкцией уменьшить объем памяти команд ППЗУ в 20–25 раз, значительно снизить трудозатраты на разработку программ и частично привязать звуковую информацию к поведению робототехнической конструкции. В статье приводятся структурная схема предлагаемой детской информационной робототехнической конструкции с внутренним управлением и описание ее работы.

Ключевые слова: информационные робототехнические конструкции; внутреннее управление; команды; генератор импульсов; постоянное запоминающее устройство; источник звука; источник питания.

Работа выполняется при финансовой поддержке по программе «УМНИК» 2020 года, заявка № У-082354 «Разработка информационных робототехнических конструкций для культурных объектов современного города».

Введение. В настоящее время существует острая необходимость в организации работы с детьми в дошкольных детских учреждениях, в детских комнатах торговых и развлекательных центров с тем, чтобы дети получали полезную информацию для воспитания и эмоционально-психологического развития. Практика показала, что для выполнения этих задач наиболее полно подходят информационные робототехнические конструкции с внутренним управлением, выполненные в виде сказочных, легендарных или национальных героев (см. рис. 1).



Рис. 1. Робот – кот в сапогах

Основная идея исследования и ее практическое решение. Информационные робототехнические конструкции воспринимаются детьми как куклы, с которыми можно общаться, получать информацию, просто играть и веселиться. Следует отметить, что куклы в жизни человека с самого рождения занимают особое место. С одной стороны, они представляют собой инструмент для развлечения и веселой игры, а с другой стороны, обладают замечательным обучающим и воспитательным эффектом. Именно с помощью кукол можно помочь ребенку в социализации, понять, что такое добро и зло и направить на развитие творческих индивидуальных способностей [1].

В зависимости от назначения и области применения информационные робототехнические конструкции предназначаются для:

- дошкольных детских учреждений;
- школьных детских учреждений;
- лечебных детских учреждений;
- выставочных и музейных центров;
- культурных и развлекательных центров;
- «сказочных» кукольных театров.

Наиболее распространенными в настоящее время являются информационные робототехнические конструкции с внутренним управлением, которые отличаются низкой

стоимостью, простотой эксплуатации и поэтому доступны для использования в большинстве детских садов и яслей, в торговых центрах в качестве помощников воспитателей. Такие роботы обладают большими объемами информации, отличаются простотой, безопасностью и могут, по желанию детей, рассказывать им сказки, легенды, истории, обучать правилам хорошего поведения, помогая воспитателям [2, 3].

Поволжским государственным технологическим университетом в рамках гранта № 15-06-10686 выполнен эскизный проект по созданию информационных робототехнических конструкций с внутренним управлением. Особенностью предлагаемых информационных робототехнических конструкций является то, что, в отличие от существующих конструкций, в них главным фактором является звуковое сопровождение, а не динамическое перемещение конструкции. Динамические перемещения конструкций и выполняемые ими функции являются вторичными функциями и зависят от звукового канала [3–6].

Одной из главных задач при проектировании информационных робототехнических конструкций является создание недорогого малогабаритного автоматического источника звука, а также привязка звукового канала к движениям робота: звуковой канал должен управлять им. Анализ всех существующих источников звука показал, что наиболее перспективным источником звука является самый простой и дешевый МРЗ-плеер без экрана, с небольшими доработками. Такие плееры выпускаются в Китае, имеют небольшие размеры, хорошее воспроизведение звука, большой объем хранимой информации и стоят в пределах 200–300 руб.

Для создания звукового канала следует выбрать самый дешевый МРЗ-плеер и выполнить ряд небольших доработок для привязки звукового сигнала к движениям робота. Кроме того, необходима привязка звуковых фрагментов к началу каждого сценария (сообщения) и при необходимости – автоматический выбор одного или нескольких сценариев с повторением или без. Это возможно осуществить, если каждый сценарий, записанный на носитель плеера, отделять друг от друга небольшими паузами длительностью 4–6 сек.

Специальная схема, расположенная на одной плате с плеером, формирует во время пауз прямоугольные импульсы, которые управляют информационной робототехнической конструкцией во время пауз. В информационных робототехнических конструкциях время работы в режиме выдачи звуковой информации составляет 90–95 % от общего времени работы информационной робототехнической конструкции, что позволяет при использовании предлагаемой схемы устройства управления информационной робототехнической конструкцией уменьшить объем памяти команд ППЗУ в 20–25 раз, значительно снизить трудозатраты на разработку программ и частично привязать звуковую информацию к поведению робототехнической конструкции.

Структурная схема информационной робототехнической конструкции с внутренним управлением приведена на *рис. 2*. В состав схемы входят: генератор импульсов, счетчик внутренних команд, программируемое постоянное запоминающее устройство (ППЗУ) для хранения команд, формирователь команд, блок звука, в состав которого входит простой МРЗ-плеер со схемой управления плеером, усилитель низкой частоты (УНЧ) с динамиком и механизмом движения рта, механизм «моргания» глазами.

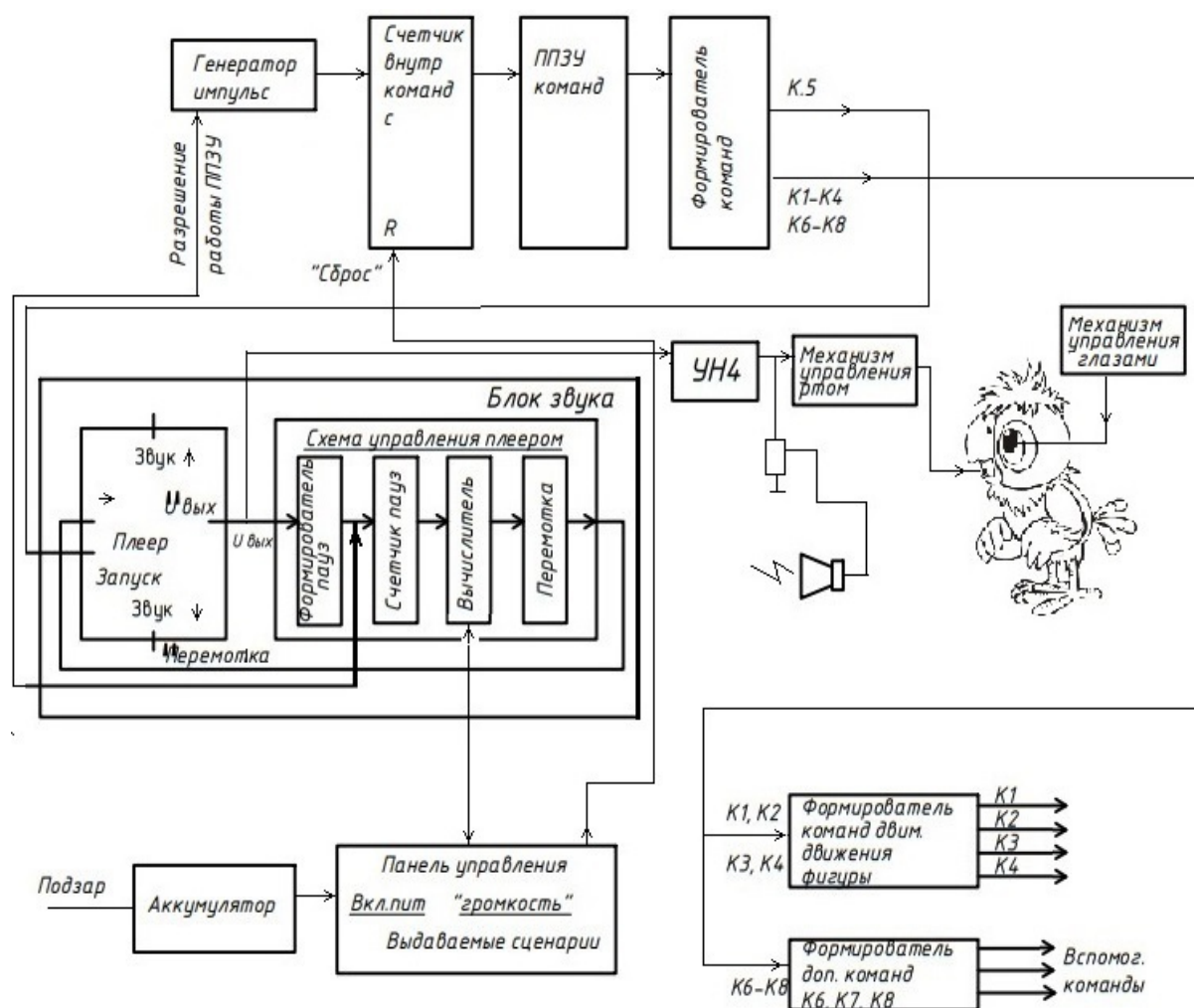


Рис. 2. Структурная схема информационной робототехнической конструкции с внутренним управлением

Кроме того, в состав схемы входит панель управления с органами управления, аккумулятор и блок питания. Запись информации на карту плеера (сказки, рассказы, доклады, беседы экскурсовода, лекции и другая информация) производится через разъем с компьютера по существующей программе с формированием пауз между отдельными сценариями. Выполняемые сценарии задаются органами управления на передней панели блока.

Работа источника звука происходит следующим образом: в зависимости от проводимого мероприятия на карту плеера записывается заданная информация по отдельным сценариям, между которыми формируются паузы (отсутствует запись) длительностью 3–5 сек. Запись производится непосредственно с компьютера через специальный переходной разъем. Далее информационная робототехническая конструкция подключается к источнику питания. На выходе плеера формируется звуковой сигнал, который через УНЧ поступает на внешний динамик робота, механизм управления ртом и на формирователь пауз, представляющий собой интегральный усилитель с большим коэффициентом усиления, который работает в режиме насыщения и формирует прямоугольные импульсы длительностью, равной длительности пауз, которые поступают на счетчик внутренних команд, разрешая формирование внутренних команд, и на счетчик пауз, который определяет количество сценариев в сеансе и формирует сигнал на перемотку плеера в заданное положение и повторение нового цикла сценария.

Конструктивно блок внутреннего управления информационной робототехнической конструкцией выполнен на двух печатных платах с использованием современной элементной базы, в том числе микросхем серий K561, K176, K556 PT5, которые отличаются низкой потребляемой мощностью.

В процессе выполнения проекта был изготовлен макет информационного робототехнического попугая, который прошел лабораторные испытания и показал, что после доработки конструкции возможно серийное изготовление роботов на предприятиях Республики Марий Эл.

Выводы. Предлагаемый блок внутреннего управления информационной робототехнической конструкцией является универсальным, может использоваться во всех робототехнических конструкциях данного типа, отличается высокой надежностью, низкой стоимостью, удобством в эксплуатации и может серийно производиться на промышленных предприятиях Республики Марий Эл.

Список литературы

1. Абраменкова В. В. Социальная психология детства в контексте развития отношений ребенка в мире // Вопросы психологии. 2001. № 1. С. 3–16.
2. Лаврентьев Б. Ф., Васильева Я. М. Детские информационные робототехнические конструкции для лечебных и культурных центров // Вестник современной науки. 2015. № 1 (1). С. 111–112.
3. Сафиуллина Я. М., Захаров Ю. В., Лаврентьев Б. Ф. Прекрасная сказка для детей // Актуальные проблемы развития гуманитарных наук: XI Международ. науч.-практич. конф. Шифр KOV-15_07_02, 2020. С. 424–431.
4. Сафиуллина Я. М., Лаврентьев Б. Ф. Блок управления детскими сказочными робототехническими конструкциями // Двадцать третьи Вавиловские чтения: материалы междунар. междисциплин. науч. конф.: в 2 ч. / под общ. ред. В. П. Шалаева. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2020. С. 95–98.
5. Сафиуллина Я. М., Долгополов К. А., Лаврентьев Б. Ф. Аквариумы с роботизированными обитателями с источником энергии за счет металлических пластин // Безопасность человека и устойчивое развитие общества перед вызовами глобальных трансформаций: материалы междунар. междисциплин. науч. конф.: в 2 ч. / под общ. ред. В. П. Шалаева. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2021. С. 154–158.
6. Патент на полезную модель № 139409 U1 Российская Федерация, МПК A63H 33/26. Робототехническая конструкция / Б. Ф. Лаврентьев, Е. В. Щипкова, Н. А. Орлова, Д. И. Иванов. № 2013123145/07; заявл. 21.05.2013; опубл. 20.04.2014.
7. Патент на полезную модель № 142839 U1 Российская Федерация. Робототехническая конструкция с внутренним и внешним управлением / Б. Ф. Лаврентьев, Я. М. Васильева. № 2013143907/12; заявл. 30.09.2013; опубл. 10.07.2014.

CHILDREN'S INFORMATION ROBOT DESIGNS WITH INTERNAL CONTROL

***Lavrentiev Boris Fedorovich, Bukanova Tatiana Sergeevna,
Busygin Georgy Valentinovich, Safiullina Yana Mikhailovna***

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The article is devoted to the creation of information robotic structures with internal control, created by employees of the Volga State Technological University as part of the implementation of grant No. 15-06-10686. The peculiarity of the proposed informational robotic structures is that, unlike existing structures, the main

factor in them is the sound accompaniment, and not the dynamic movements of the structures. In information robotic structures, the operating time in the mode of issuing sound information is 90–95 % of the total operating time of the information robotic structure, which allows, when using the proposed scheme of the information robotic structure control device, to reduce the amount of PROM command memory by 20–25 times, significantly reduce the labor costs for developing programs and partially tie sound information to the behavior of the robotic structure. The article provides a block diagram of the proposed children's informational robotic structure with internal control and a description of its operation.

Keywords: informational robotic structures; internal control; commands; pulse generator; ROM; sound source; power supply.

УДК 638.1

ЯДОПРИЕМНИКИ ДЛЯ СИСТЕМЫ СБОРА ПЧЕЛИНОГО ЯДА

Лаврентьев Борис Федорович

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
Lavreytevb@volgatech.net

Ядопродуктивность пчелиной семьи в значительной степени определяется конструкцией ядоприемников, размеры которых должны соответствовать размерам медовых рамок. Ядоприемники должны надежно работать в диапазоне внешних температур от 5 °С до 40 °С при любом количестве пчел, перемещающихся по поверхности ядоприемника. При этом соседние проводники в ядосборнике не должны касаться друг друга, так как замыкание проводов приводит к нарушению работы формирователя раздражающих сигналов или даже к выходу его из строя. Второй особенностью ядоприемников является простота его изготовления. В качестве материалов для изготовления ядоприемников используется дерево, текстолит, гетинакс, алюминиевые уголки, нихромовый провод, стекло. В статье приводится описание конструкции ядоприемников, разработанных сотрудниками Поволжского государственного технологического университета для системы сбора пчелиного яда «Муки». Описывается технологический процесс изготовления ядоприемников, который имеет защиту от короткого замыкания проводов в ядоприемнике. Конструкция отличается простотой, надежностью, низкой стоимостью и хорошими эксплуатационными характеристиками.

Ключевые слова: ядоприемник; пчелы; пчелиный яд; сбор пчелиного яда; конструкция; верхняя планка; нижняя планка; боковая стойка; защита от замыканий; надежность; стоимость; эксплуатационные характеристики.

Введение. Ядопродуктивность пчелиной семьи в значительной степени определяется конструкцией ядоприемников, размеры которых должны соответствовать размерам медовых рамок. К ядоприемникам предъявляются следующие требования: высокая надежность при работе и транспортировке, минимальная стоимость, ремонтпригодность, удобство эксплуатации и безопасность при работе.

Ядоприемники должны надежно работать в диапазоне внешних температур от 5 °С до 40 °С при любом количестве пчел, перемещающихся по поверхности ядоприемника. При этом соседние проводники в ядосборнике не должны касаться друг друга, так как замыкание проводов приводит к нарушению работы формирователя раздражающих сигналов или даже к выходу его из строя. Второй особенностью ядоприемников является простота его изготовления. В качестве материалов для изготовления

ядоприемников используются: дерево, текстолит, алюминиевые уголки, нихромовый провод, стекло.

Целью настоящей работы является создание ядоприемников для сбора пчелиного яда, которые отличаются высокой надежностью и защитой от коротких замыканий при различном количестве пчел на ядоприемнике при работе в широком диапазоне температуры окружающей среды.

Результаты исследования. На *рис. 1* приведена конструкция ядоприемника, разработанная сотрудниками Поволжского государственного технологического университета для пасеки учебно-опытного лесхоза ПГТУ [1–12]. В состав ядоприемника входят две верхних планки *1*, одна нижняя планка *2*, две одинаковые боковые стойки *3*, в состав которых входят: основная стойка *4*, резиновая прокладка *5*, две изоляционные прокладки *6*. Боковая стойка *3* крепится винтами *7* к верхним планкам *1* и к нижней планке *2*. В верхней части ядоприемника образуется прямоугольное отверстие *8* для установки стекла *9* в ядоприемник. Основная стойка *3* имеет прорези с шагом 3,5 мм на глубину 8 мм, через которые проходят провода *10*, подключаемые к контактам *11*, которые располагаются на боковой стойке *3*. Контакты *11* подключаются к источнику внешних раздражающих сигналов. К нижней планке *2* с помощью клея крепится фиксатор *12*, представляющий из себя деревянный брусок, к сторонам которого приклеиваются пластинки толщиной 0,4 мм, образующие паз в 5 мм, с помощью которого стекло *9* фиксируется относительно рамки.

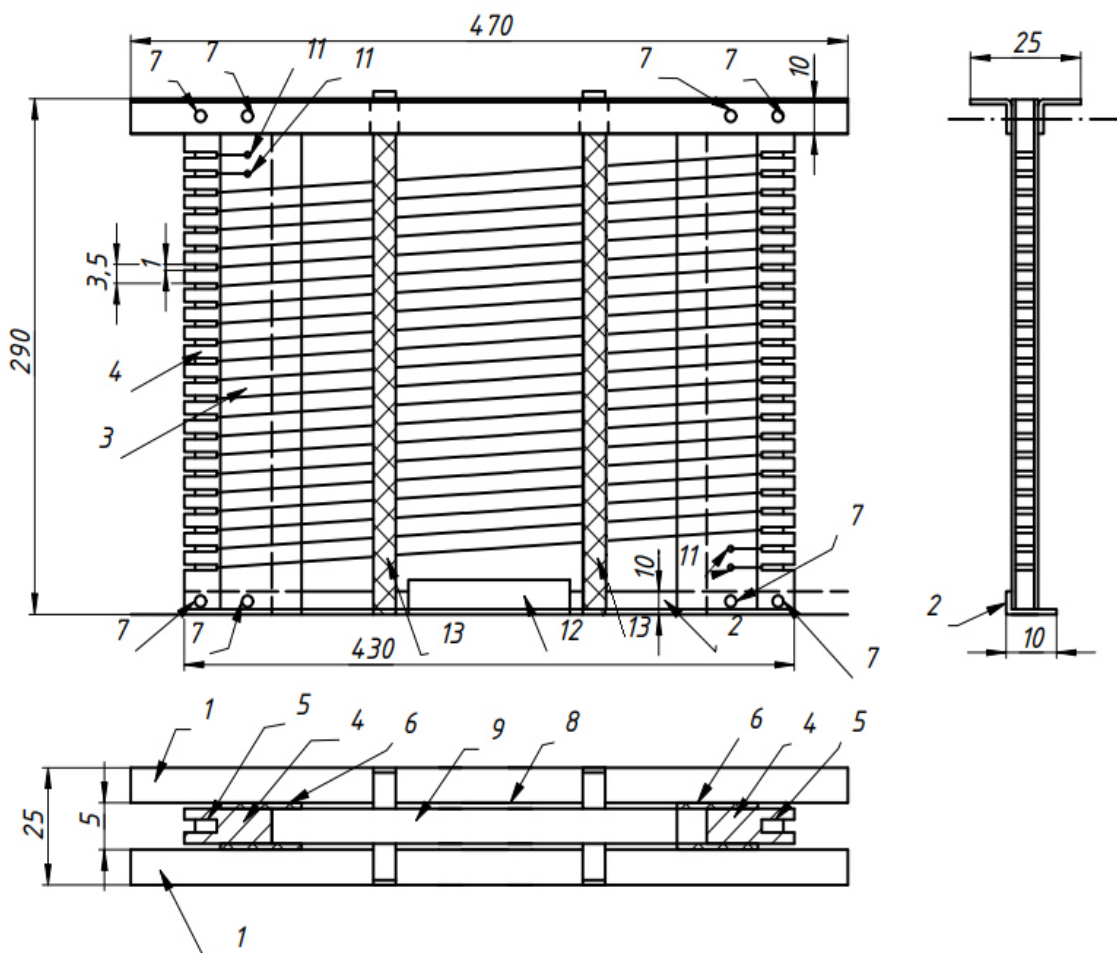


Рис. 1. Ядоприемник. Общий вид

С каждой стороны ядоприемника на расстоянии $1/3$ и $2/3$ от длины рамки устанавливаются четыре фиксирующих полоски 13, по две на каждой стороне ядоприемника, которые фиксируют провода с шагом 3,5 мм, препятствующие замыканию соседних проводов и одновременно исключают воздействие стекла на провода при его установке в рамку ядоприемника, что обеспечивает надежную работу ядоприемника при сборе пчелиного яда и транспортировке.

Сборка ядоприемника происходит следующим образом: вначале в пазы боковых стоек 3 вставляется резиновая прокладка 5 и накладываются две изоляционные прокладки 6, затем собирается рамка из двух передних планок 1, двух боковых стоек 3 и нижней планки 2. Крепление производится с помощью винтов 7 в верхней и нижней сторонах боковых стоек 3. Далее рамка крепится в специальном намоточном приспособлении, концы проводов 10 закрепляются на внешних контактах 11 и производится намотка проводов 10 с одинаковым усилием с шагом 7,0 мм между боковыми стойками 3. Провода 10 должны проходить через боковые стойки 3 в прорези основной стойки 4 и ложиться с небольшим натягом на резиновую прокладку 5, создавая заданный натяг провода при сборе яда при различном количестве пчел на ядоприемнике и при различных условиях окружающей среды. Вторые концы проводов 10 крепятся на вторые внешние контакты 11. Для фиксации стекла 9 в ядоприемнике на нижней планке 2 с помощью клея крепится фиксатор 12, представляющий собой прямоугольник с пазом в 5 мм для фиксации стекла 8 в ядоприемнике. Далее в ядоприемник устанавливаются стекло 9 и вертикальные фиксирующие полоски 13 для фиксации проводов 10 в ядоприемнике с шагом 3,5 мм. Фиксация осуществляется с помощью клея или самоклеющейся пленки. Использование предлагаемых ядоприемников в системах сбора пчелиного яда позволит значительно повысить их надежность за счет фиксации расстояния между проводами 10 и исключения воздействия стекла 9 на провода при его установке в ядоприемник. Нижняя 2 и верхние 1 планки изготавливаются из алюминиевых уголков, а боковые стойки 3 – из деревянных брусков.

На рис. 2 изображено стекло для ядоприемника, которое отшлифовано и имеет два отверстия, с помощью которых оно извлекается из ядоприемника с помощью приспособления.

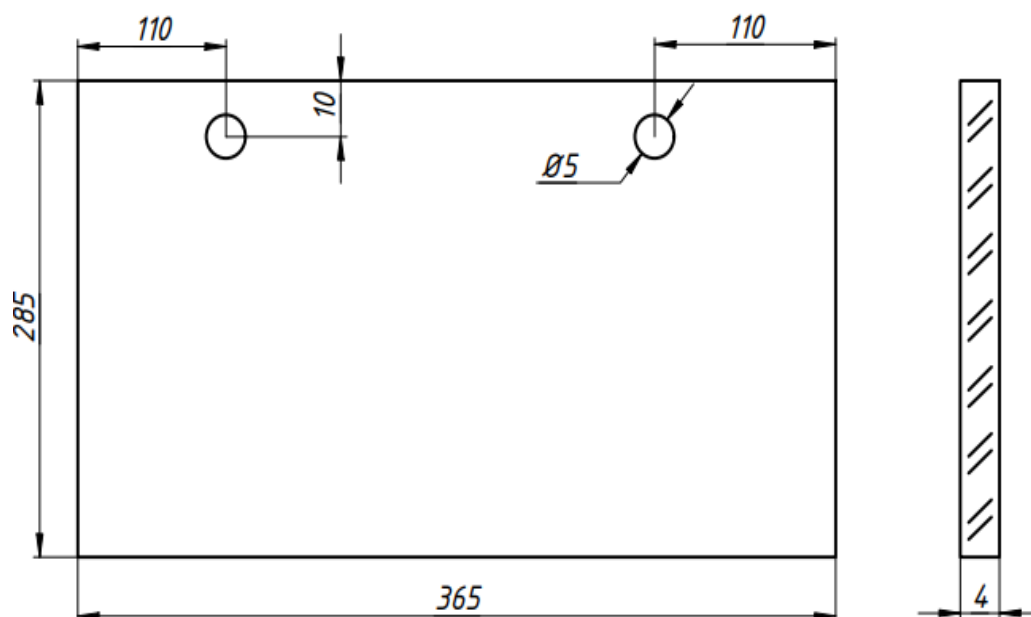


Рис. 2. Стекло для ядоприемника



Рис. 3. Транспортное устройство

Для транспортировки ядоприемников разработано специальное транспортное устройство, выполненное в виде чемодана с ручкой для переноски. Транспортное устройство состоит из корпуса и крышки с замками. На внешней стороне крышки изображены рисунок, название устройства и эмблема разработчика (см. рис. 3). Внутри транспортного устройства имеются ячейки, в которых закрепляются ядоприемники. Опытная партия ядоприемников изготовлена и прошла испытание на пасеках РМЭ. Материалы по ядоприемнику докладывались на Всероссийской и региональной конференциях. На конструкцию ядоприемника получен патент РФ.

Заключение. Предлагаемая конструкция ядоприемника обеспечивает высокую надежность за счет наличия резиновых прокладок в боковых стойках и защиты от короткого замыкания проводов в ядоприемнике за счет наличия фиксирующих прокладок. Конструкция отличается высокой технологичностью и низкой стоимостью и может быть предложена для серийного изготовления.

Список литературы

1. Книга пчеловода / сост. Г. Ф. Таранов. М.: Росагропром, 1992. 255 с.
2. Гинойн Р. В., Хомутов А. Е., Петров В. А. Биологические основы получения пчелиного яда: монография. Нижний Новгород, 2014. 285 с.
3. Третьяков Ю. Н. Пчелиный яд. Способы получения пчелиного яда. Приборы для получения пчелиного яда. СПб.: Изд-во Диля, 2008. 112. с.
4. Крылов В. И. Пчелиный яд. Свойства, получение, применение. Нижний Новгород: Изд-во ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 1995, 224 с.
5. Лаврентьев Б. Ф. Повышение рентабельности пчеловодства в России за счет создания специализированных приборов // Научный альманах. 2015. № 5 (7). С. 179–184. DOI: 10.17117/na.2015.05.179.
6. Лаврентьев Б. Ф. Система для сбора пчелиного яда // Пчеловодство. М., 2015. № 6. С. 50-51.
7. Лаврентьев Б. Ф. Система сбора пчелиного яда «Мукш 7» // Пчеловодство. М., 2019. № 4. С. 50-51.

8. Лаврентьев Б. Ф., Лебедева А. А. Патент № 2679194 С1 Российская Федерация. МПК А01К 55/00. Блок формирования раздражающих сигналов для сбора пчелиного яда: № 2018111703; заявл. 02.04.2018; опубл. 06.02.2019.

9. Лаврентьев Б. Ф. Патент на полезную модель № 148852 U1 Российская Федерация, МПК А01К 55/00. Устройство для сбора пчелиного яда: № 2014129213/13; заявл. 15.07.2014; опубл. 20.12.2014.

10. Лаврентьев Б. Ф., Стешина Л. А., Долгополов К. А. Патент № 2769466 С1 Российская Федерация, МПК А01К 55/00, А01К 59/00. Ядоприемник для сбора пчелиного яда: № 2021121661; заявл. 21.07.2021; опубл. 01.04.2022.

11. Лаврентьев Б. Ф., Стешина Л. А., Долгополов К. А. Патент № 2769471 С1 Российская Федерация, МПК А01К 55/00, А01К 59/00. Ядоприемник для сбора пчелиного яда: № 2021122159; заявл. 27.07.2021; опубл. 01.04.2022.

12. Лаврентьев Б. Ф., Петухов И. В., Белов Д. А. Патент на полезную модель № 128962 U1 Российская Федерация, МПК А01К 55/00, А01К 59/00. Устройство для сбора пчелиного яда: № 2013104341/13; заявл. 01.02.2013; опубл. 20.06.2013.

POISON RECEPTORS FOR BEE VENOM COLLECTION SYSTEM

Lavrentiev Boris Fedorovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

Poison productivity of a bee colony is largely determined by the design of the poison receivers, the dimensions of which must correspond to the size of the honey frames. Poison receivers must work reliably in the range of external temperatures from 5 °C to 40 °C with any number of bees moving along the surface of the poison receiver. At the same time, adjacent conductors in the poison collector should not touch each other, since the short circuit of the wires leads to disruption of the generator of annoying signals or even to its failure. The second feature of poison receivers is the simplicity of its manufacture. Wood, textolite, getinax, aluminum corners, nichrome wire, glass are used as materials for the manufacture of poison detectors. The article provides a description of the design of the poison receivers, developed by the staff of the Volga State University for the collection system of bee venom "Muksh". The technological process of manufacturing poison detectors, which has protection against short circuit wires, is described. The design is simple, reliable, low cost and good performance.

Keywords: *poison receiver; bees; bee venom; collection of bee venom; design; top bar; bottom bar; side stand; short circuit protection; reliability; cost; performance characteristics.*

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

УДК 004.67:006.922

МЕТРОЛОГИЯ ИНТЕРВАЛОВ ВРЕМЕНИ ТЕКУЩЕГО ЮЛИАНСКОГО ПЕРИОДА В ПОДСИСТЕМЕ VBA MICROSOFT OFFICE

Бородин Андрей Викторович

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
bor@mari-el.com

В статье предложены вычислительные процедуры для измерения продолжительности интервалов времени в подсистеме VBA Microsoft Office с точностью, превышающей штатные инструментальные средства языка. Представленные алгоритмы корректно работают для любых временных интервалов текущего юлианского периода. Приведены оценки точности соответствующих вычислительных процедур с учетом погрешности удержания шкалы времени на основе сетевых эталонов времени.

Ключевые слова: григорианский календарь; длительность; интервал времени; метрология; погрешность; эталон времени; юлианский период; NTP; PTP; WCET.

Введение. Достаточно точное измерение интервалов времени – **задача**, актуальная в целом ряде исследований в области профилирования кода, при анализе алгоритмов решения трудоемких задач, при автоматизации наблюдений за физическими процессами в реальном времени, а также при реализации процессов управления. Ко второму классу задач относятся, в частности, измерения временных характеристик процессов, протекающих в сетях передачи данных.

Часто как при прототипировании алгоритмов решения перечисленных классов задач, а иногда и при их практической реализации, используется язык программирования VBA. Это объясняется высокой популярностью пакета Microsoft Office у широкого круга специалистов в самых разных областях человеческого знания, простотой самого языка программирования VBA, наличием выразительных графических возможностей у таких офисных продуктов компании Microsoft, как Excel и Visio, а также высокой степенью интегрированности языка с объектными моделями инструментов пакета Microsoft Office.

Отметим, что при этом штатные средства VBA позволяют производить измерения длительности интервалов времени с точностью лишь до одной секунды, используя встроенную функцию Now [1]. В то же время в современных операционных системах семейства Microsoft Windows повысить точность измерения интервалов времени до миллисекунд (фактически до десятков миллисекунд) можно за счет использования функций GetTickCount, GetSystemTime или GetLocalTime программного интерфейса Win32 [8]. Функция GetTickCount позволяет измерять интервалы времени длительностью примерно до 49,7 дня (цикл счетчика миллисекунд – 32-разрядного целого числа

без знака) или короче. К тому же измерение длительности интервалов времени с использованием этой функции требует непрерывной работы компьютера без перезагрузок операционной системы на протяжении всего измеряемого промежутка времени. Функции `GetSystemTime` и `GetLocalTime` позволяют реализовать гораздо более универсальное решение для измерения интервалов времени. Заметим, что структура данных, используемая названными двумя функциями, требует наличия алгоритма, корректно исчисляющего длительности интервалов времени с учетом смены дат, в том числе между обычными и високосными годами, в достаточно широком диапазоне календарных моментов времени.

В целом оказывается, что важной характеристикой алгоритмов оценки длительности интервалов времени является точность, учитывающая не только аспекты реализации этих алгоритмов, но и оценки точности поддержки шкалы времени для данной вычислительной системы [2].

Предлагаемая вашему вниманию статья посвящена описанию алгоритмов оценки длительности интервалов времени в среде подсистемы VBA пакета Microsoft Office, функционирующих под управлением операционной системы семейства Microsoft Windows. При этом проблема оценки длительности интервалов времени исследована с учетом не только накладных расходов и вариативности работы мультипрограммной среды, но и с учетом точности удержания шкалы времени в данной вычислительной системе.

Методологическая база исследования. Основной методологической базой данного исследования являются теоретико-вероятностные методы и способы их приложения к исследованию временных характеристик системного и прикладного программного обеспечения, а также современная теория календаря. Основными инструментальными средствами, использованными в данной работе, являются подсистема VBA Microsoft Office и программный интерфейс Win32 операционных систем семейства Microsoft Windows XP+.

Основной алгоритм. Функции `GetSystemTime` и `GetLocalTime` программного интерфейса Win32 возвращают метку текущего времени в формате некоторой структуры данных [7, 8], описываемой на языке VBA следующим типом:

```
Private Type SYSTEMTIME
    wYear           As Integer      ' Год:           от 1601 до
30827.
    wMonth          As Integer      ' Месяц:       от 1 до 12.
    wDayOfWeek      As Integer      ' День недели: от 0 -
воскресение
                                '               до 6 - суббота.
    wDay            As Integer      ' День месяца: от 1 до 31.
    wHour           As Integer      ' Час:         от 0 до 23.
    wMinute         As Integer      ' Минута:      от 0 до 59.
    wSecond         As Integer      ' Секунда:     от 0 до 59.
    wMilliseconds   As Integer      ' Миллисекунда: от 0 до 999.
End Type
```

Легко заметить, что точность определения метки времени в данном случае формально составляет 1 миллисекунду.

Для корректного измерения интервалов времени в широком диапазоне практически значимых дат удобно использовать количество миллисекунд, прошедших с начала текущего юлианского периода до каждой границы интервала. Разница этих значений и дает длительность интервала с точностью до одной миллисекунды. Такой подход обеспечивает учет всех особенностей григорианского календаря для всех практически значимых дат.

Заметим, что в хронологических и астрономических расчетах часто используется непрерывный счет дней, начиная с полудня 1 января 4713 г. до н. э. Этот, так называемый юлианский период, введен в 1583 г. французским филологом и историком Жозефом Скалигером [6, с. 252]. Первый день имеет номер 0. Даты сменяются в полдень.

Современный календарь, в том числе используемый в вычислительных системах, называется григорианским (календарная система «нового стиля»), он был введен папой римским Григорием XIII в 1582 году [6, с. 216].

Рассмотрим основные вычислительные процедуры, связанные с переводом метки времени григорианского календаря в количество миллисекунд, прошедших с начала текущего юлианского периода до этого момента времени.

Введем следующие обозначения:

Y – год григорианского календаря (для дат до нашей эры необходимо перевести год в отрицательный год, например: 3 год до н. э. соответствует 2 году и т. д.);

M – номер месяца (1 – январь, 2 – февраль, ..., 12 – декабрь);

D – день месяца.

Для расчета номера юлианского дня по дате григорианского календаря [9, 10] вычислим три промежуточные величины a , y и m :

$$a = \left\lfloor \frac{14 - M}{12} \right\rfloor;$$

$$y = Y + 4800 - a;$$

$$m = M + 12a - 3.$$

Номер юлианского дня может быть вычислен следующим образом:

$$JDN = D + \left\lfloor \frac{153m + 2}{5} \right\rfloor + 365y + \left\lfloor \frac{y}{4} \right\rfloor - \left\lfloor \frac{y}{100} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{y}{400} \right\rfloor - 32045.$$

Здесь использовано следующее обозначение: $\lfloor x \rfloor \stackrel{Def}{=} \max \{ n \in \mathbf{Z} : n \leq x \}$ – наибольшее целое, меньшее или равное x , в этом определении $\mathbf{Z}$ – множество целых чисел.

Данный алгоритм расчета номера юлианского дня справедлив для дат после 23 ноября (– 4713) года [10, р. 604].

Для выбора типа данных, представляющих количество миллисекунд, прошедших с начала текущего юлианского периода до данного момента времени, в языке программирования VBA вычислим количество миллисекунд в 30 827 обычных (невисокосных) годах (см. комментарий к полю `wYear` структуры данных, представляемой типом `SYSTEMTIME`):

$$1\,000 \frac{ms}{s} \times 60 \frac{s}{min} \times 60 \frac{min}{h} \times 24 \frac{h}{d} \times 365 \frac{d}{y} \times 30\,827 y =$$

$$= 972\,160\,272\,000\,000 ms.$$

В VBA имеются два стандартных типа, представляющих большие числа с фиксированной точкой. Это Long – целые числа этого типа входят в диапазон от -2 147 483 648 до 2 147 483 647, и Currency – числа с фиксированной точкой этого типа входят в диапазон от -922 337 203 685 477.5808 до 922 337 203 685 477.5807 [1].

Сравнивая полученное количество миллисекунд в 30 827 обычных годах с приведенными диапазонами, легко сделать вывод, что количество миллисекунд в поставленной задаче может быть описано только типом Currency, но представляющим количество секунд (с дробной частью из 4 цифр) вместо количества миллисекунд.

Соответственно, количество секунд с начала текущего юлианского периода может быть вычислено следующим образом:

$$JS = JDN \times s_D + (h-12) \times s_H + m \times s_M + s + \frac{s_{0.001}}{1\,000},$$

где h , m , s и $s_{0.001}$ – соответственно, час, минута, секунда и миллисекунда григорианской даты;

$$s_D = 60 \frac{s}{min} \times 60 \frac{min}{h} \times 24 \frac{h}{d} = 86\,400 \frac{s}{d} \text{ – количество секунд в сутках;}$$

$$s_H = 60 \frac{s}{min} \times 60 \frac{min}{h} = 3\,600 \frac{s}{h} \text{ – количество секунд в часе;}$$

$$s_M = 60 \frac{s}{min} \text{ – количество секунд в минуте.}$$

Соотнося величины, используемые в формулах, с полями структуры данных, представляемой типом SYSTEMTIME в соответствии с табл. 1, легко могут быть реализованы две функции:

Function GetSystemJS() As Currency;
Function GetLocalJS() As Currency.

Таблица 1

Соотнесение исходных данных для вычислений с полями структуры данных, представляемой типом SYSTEMTIME

Исходные данные	Поле структуры	Исходные данные	Поле структуры
Y	wYear	h	wHour
M	wMonth	m	wMinute
D	wDay	s	wSecond
		$s_{0.001}$	wMilliseconds

Практическая точность измерения интервалов времени. Для оценки точности измерения интервалов времени с учетом накладных расходов и вариативности работы мультипрограммной среды рассмотрим модель измерения (см. рис. 1).

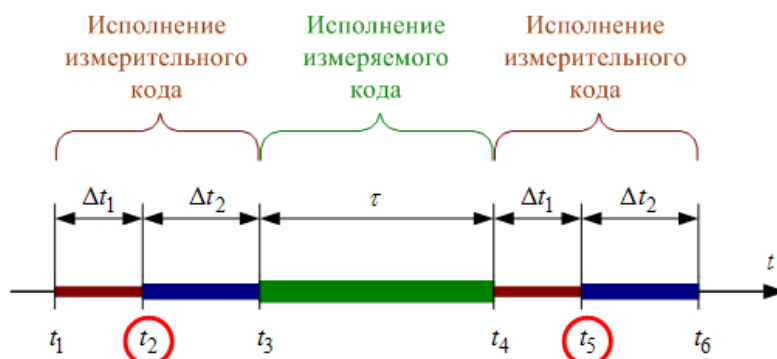


Рис. 1. Модель измерения интервала времени исполнения целевого кода

На рис. 1 использованы следующие обозначения: t_1 и t_4 – моменты времени начала исполнения измерительного кода; t_3 и t_6 – моменты времени окончания исполнения измерительного кода, соответственно; t_2 и t_5 – значения времени, возвращаемые измерительным кодом до и после выполнения целевого кода, длительность исполнения которого мы хотим измерить. Только t_2 и t_5 доступны программисту, этот факт на рисунке изображен выделением обозначений этих моментов времени окружностями.

Очевидно, что $\Delta t_2 + \tau + \Delta t_1 = t_5 - t_2$. Следовательно, длительность исполнения измеряемого кода τ может быть представлена действительной случайной величиной (д. с. в.)

$$T = t_5 - t_2 - X,$$

где $X = \Delta t_1 + \Delta t_2$ – некоторая положительная д. с. в. (п. д. с. в.), случайность которой связана с особенностями работы мультипрограммной среды. П. д. с. в. X и определяет точность измерения длительности относительно коротких (в пределах удержания шкалы времени) интервалов времени при условии, когда моменты t_2 и t_5 известны точно. Последнее предположение недостижимо на практике, в связи с этим оценку длительности исполнения измеряемого кода необходимо уточнить следующим образом:

$$T = T_5 - T_2 - X,$$

где T_5 и T_2 – д. с. в., представляющие результаты измерения моментов времени t_5 и t_2 соответственно. Заметим, что д. с. в. T_5 и T_2 распределены равномерно, соответственно, на полуинтервалах $[t_5, t_5 + \theta)$ и $[t_2, t_2 + \theta)$. Здесь θ – шаг хода системного таймера. Эта величина может быть получена в результате вызова функции `GetSystemTimeAdjustment` программного интерфейса Win32 в первом параметре [8]. Величину шага хода системного таймера, полученную таким образом, можно использовать в расчетах только при условии, что в третьем параметре указанного системного вызова будет возвращено значение `False`, означающее использование периодической корректировки системного таймера, что, собственно, является стандартным случаем.

В стандартных системах, как правило, $\theta = 15.625 \text{ ms}$. Просуммировав две случайные величины с равномерным распределением, получаем [3]

$$T = t_5 - t_2 + Y - X,$$

где Y – д. с. в. с треугольным распределением, носителем которой является интервал $(-\theta, +\theta)$, а мода равна 0.

Для изучения поведения случайной величины X воспользуемся моделью измерений, приведенной на *рис. 2*.

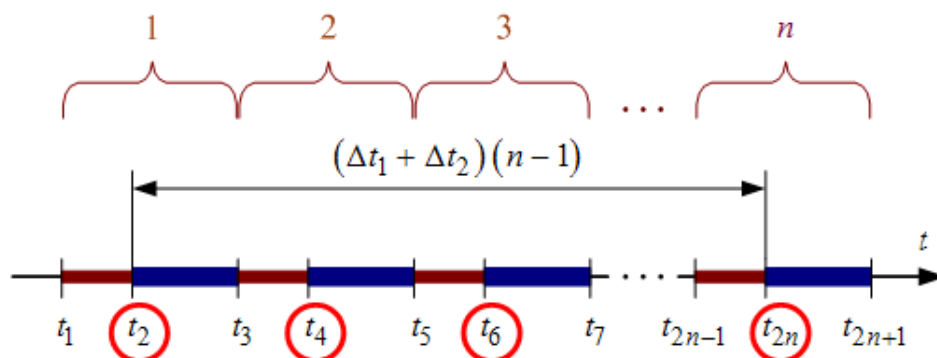


Рис. 2. Модель измерений для исследования поведения п. д. с. в. X

Измерения проводились в среде Microsoft Office Excel 2003 (11.8404.8405) SP3 под управлением операционной системы Microsoft Windows XP Professional SP3 на относительно медленной платформе Dell Latitude E5500: CPU Intel Core2 Duo T7250 2GHz / RAM DDR2-800 4Gb / HDD WD1600BJKT-75F4T 149Gb.

Уже первые эксперименты показали, что случайная величина X мала. Поэтому при измерениях было использовано достаточно большое значение размера серии $n = 200\,000$.

Количество испытаний в экспериментах составляло 5 000 серий в условиях как низкой (15 ... 20 % использования CPU), так и высокой (95 ... 100 % использования CPU) загрузки системы.

Для случайной величины X , усредненной по размеру серии, гистограмма распределения в условиях низкой загрузки вычислительной системы приведена на *рис. 3*, а в условиях высокой загрузки – на *рис. 4*. Шаг гистограмм составляет $0.08 \mu\text{s}$.

Выборочные характеристики полученных эмпирических распределений приведены в *табл. 2*. Случайная величина Y практически не оказывает влияния на эти характеристики, так как $\theta / n \approx 0.08 \mu\text{s}$.

Очевидно, что на более производительных системах эти характеристики будут еще меньше.

Таблица 2

Выборочные характеристики эмпирических распределений

Характеристика, мкс	Низкая загрузка CPU	Высокая загрузка CPU
Минимальное значение, $\bar{x}_{\min}$	1,25	1,25
Максимальное значение, $\bar{x}_{\max}$	5,16	11,56
Среднее, $\langle \bar{x} \rangle$	1,31	2,45
Стандартное отклонение, $\sigma_{\bar{x}}$	0,199	1,24

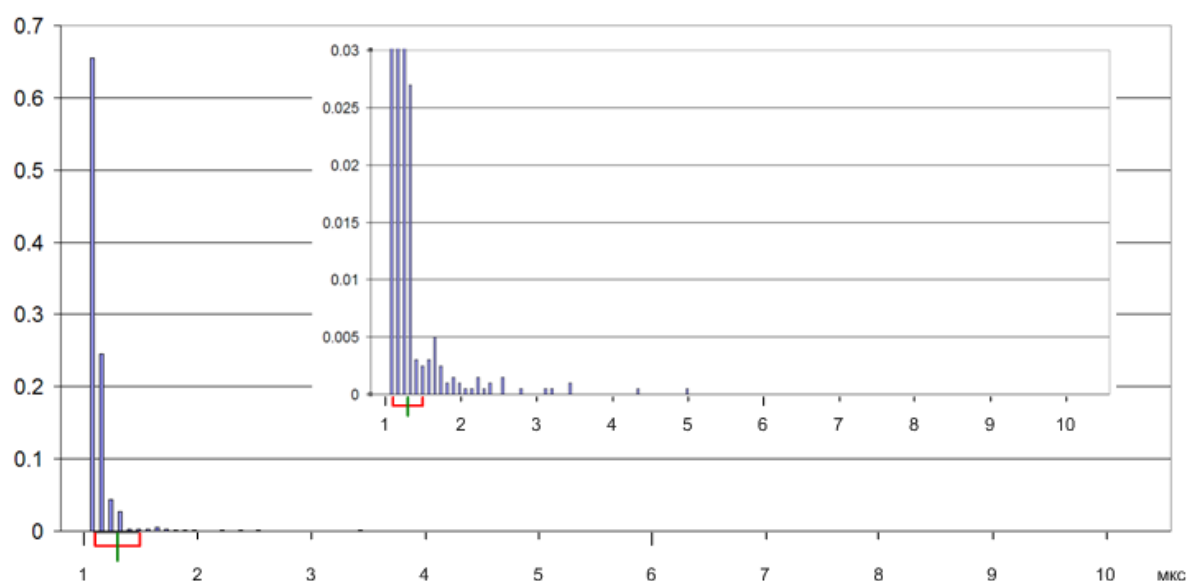


Рис. 3. Гистограмма усредненных по серии значений п. д. с. в. X в условиях низкой загрузки вычислительной системы

Для более высокой детализации результатов эксперимента на рисунке имеется врезка с повышенным разрешением графика по шкале вероятностей.

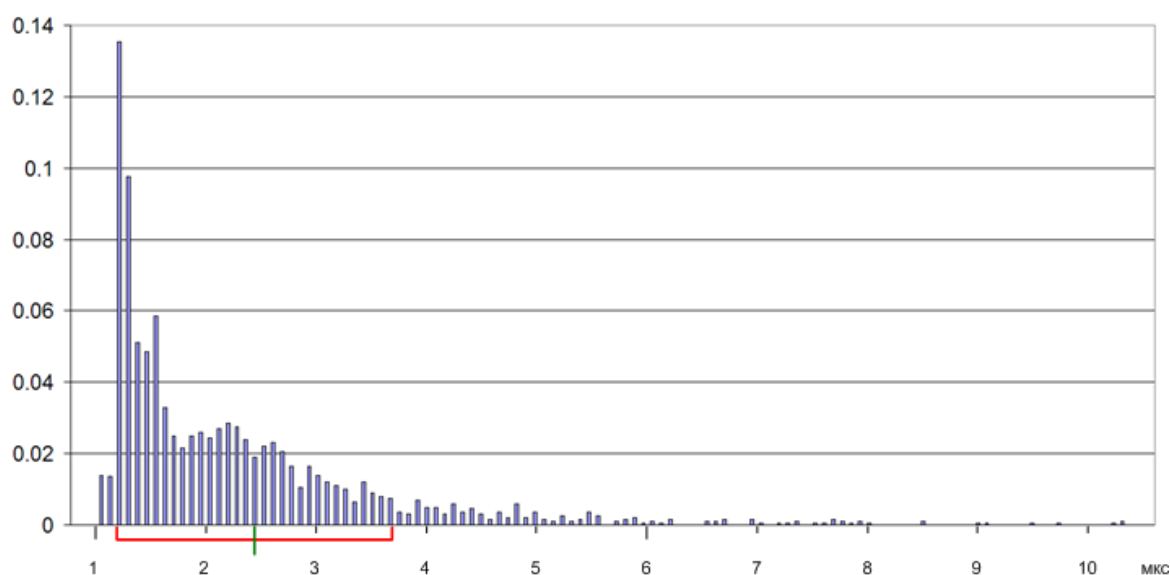


Рис. 4. Гистограмма усредненных по серии значений п. д. с. в. X в условиях высокой загрузки вычислительной системы

Влияние внешней шкалы времени. При оценке продолжительности длительных интервалов времени (несколько суток и более) на точность измерения существенным образом начинает влиять точность хода аппаратных часов вычислительной системы. Решением этой проблемы является синхронизация часов компьютера с эталонами времени с использованием протоколов NTP или RTP [2, 4, 5]. Однако и эти механизмы вносят свою долю погрешности. Протокол NTP позволяет довести точность удержания шкалы времени до десятков миллисекунд при синхронизации через сеть Интернет и до нескольких миллисекунд или долей миллисекунд ($1/5 \dots 1/2$ мс) при благоприятных

условиях, в условиях наличия эталона времени в локальной вычислительной сети. Протокол РТР обеспечивает удержание шкалы времени с точностью до нескольких десятков и даже единиц микросекунд.

На точность измерения продолжительности временных интервалов с учетом наличия синхронизации с эталоном времени влияет ситуация как в момент начала измерения, так и в момент окончания. В начальный момент времени ситуацию описывают следующие выборочные характеристики: $y_{\min}^2$, $y_{\max}^2$ – соответственно, минимальное и максимальное расчетные отклонения времени компьютера от времени эталона за некоторый период, содержащий момент измерения времени, и аналогичные характеристики в конечный момент времени – $y_{\min}^5$, $y_{\max}^5$. Эти характеристики могут быть получены от сервиса синхронизации и использованы при оценке точности удержания шкалы времени.

Обсуждение результатов. Общий результат оценки длительности временного интервала можно представить следующим образом: $\tau_{-\delta_2}^{+\delta_1}$, где $\tau = t_5 - t_2$, а величины δ_1 и δ_2 описывают погрешность измерения.

Опираясь на концепцию наихудшего времени выполнения (WCET) [11] для погрешностей, можно записать:

$$\delta_1 = \theta - \bar{x}_{\min} - y_{\min}^2 + y_{\max}^5, \delta_2 = \theta + \bar{x}_{\max} + y_{\max}^2 - y_{\min}^5,$$

а учитывая данные таблицы 2 и тенденции, связанные с ростом производительности вычислительных систем, влияние п. д. с. в. X можно вообще игнорировать:

$$\delta_1 \approx \theta - y_{\min}^2 + y_{\max}^5, \delta_2 \approx \theta + y_{\max}^2 - y_{\min}^5.$$

При этом перспективы дальнейшего повышения точности измерений можно связывать с параметром θ . Потенциально его исключение может быть основано на использовании функций QueryPerformanceFrequency и QueryPerformanceCounter программного интерфейса Win32. Исследования в этом направлении должны лечь в основу разработки следующей версии пакета прикладных программ (ППП) для работы с моментами времени текущего юлианского периода в подсистеме VBA Microsoft Office.

Текущей точности измерений достаточно для решения задач профилирования кода, оценки эффективности решения трудоемких вычислительных задач, а также при решении физических и астрономических задач, не требующих точности выше двух десятков миллисекунд.

Выводы. В рамках исследования, представленного в данной статье, были предложены алгоритмы измерения длительности любых интервалов времени текущего юлианского периода, а также был осуществлен подбор типов данных языка программирования VBA Microsoft Office, позволяющий наиболее эффективно решать поставленную задачу. На основе предложенных алгоритмов был разработан ППП, содержащий все необходимые примитивы для перевода моментов времени григорианского календаря в моменты времени юлианского периода и обратно, для измерения продолжительности интервалов времени и, наконец, для получения характеристик системы, влияющих на точность измерения. Разработанный ППП позволил также исследовать степень влияния мультипрограммной среды исполнения кода и, в частности, измерительного кода на точность собственно измерений.

Список литературы

1. Александер М., Куслейка Р. Excel 2016: профессиональное программирование на VBA. СПб.: ООО Диалектика, 2020. 784 с.
2. Инновационные подходы к развитию техники и технологий. Кн. 1 / В. М. Антонов, А. В. Бородин, Ю. А. Ипатов и др. Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2015. 172 с.
3. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. М.: Мир, 1989. 540 с.
4. Бородин А. В. Об импортозамещении при создании систем дистрибуции точного времени в мультисервисных сетях передачи данных // Кибернетика и программирование. 2015. № 2. С. 78–97. DOI: 10.7256/2306-4196.2015.2.14036
5. Бородин А. В., Варламов А. С., Кораблев Д. В. Учебно-испытательный полигон отработки технологий дистрибуции точного времени // Кибернетика и программирование. 2015. № 3. С. 11–23. DOI: 10.7256/2306-4196.2015.3.15438
6. Климшин И. А. Календарь и хронология. М.: Наука, 1985. 320 с.
7. Побегайло А. П. Системное программирование в Windows. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 1056 с.
8. Щупак Ю. А. Win32 API. Разработка приложений для Windows. СПб.: Питер, 2008. 592 с.
9. Reingold E. M., Dershowitz N. Calendrical Calculations: The Ultimate Edition // Cambridge University Press, 2018. 618 p.
10. Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac / Seidelmann P. Kenneth (ed.). Mill Valley: University Science Books, 1992. 752 p.
11. The worst-case execution-time problem – overview of methods and survey of tools / R. Wilhelm, J. Engblom, A. Ermedahl et al // ACM Transactions on Embedded Computing Systems (TECS). 2008. Vol. 7. No. 3. P. 1–53. DOI: 10.1145/1347375.1347389

**METROLOGY OF THE TIME INTERVALS OF THE CURRENT JULIAN PERIOD
IN THE MICROSOFT OFFICE VBA SUBSYSTEM**

Borodin Andrey Viktorovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The article proposes computational procedures for measuring the length of time intervals in the Microsoft Office VBA subsystem with an accuracy exceeding the standard language tools. The corresponding algorithms work correctly for any time intervals of the current Julian period. The article provides estimates of the accuracy of the corresponding computational procedures, taking into account the error in holding the time scale based on network time standards.

Keywords: *Gregorian calendar; duration; time interval; metrology; deviation; time standard; Julian period; NTP; PTP; WCET.*

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 624.94.014.2:624.074.5

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ С КОНСОЛЬЮ БОЛЬШОГО ПРОЛЁТА В Г. АРХАНГЕЛЬСКЕ

*Галактионов Юрий Александрович, Румянцев Михаил Владимирович,
Лабудин Борис Васильевич*

ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова»,
г. Архангельск
galakt199828@yandex.ru

В статье представлены краткие результаты выпускной квалификационной работы по теме «Проектирование здания общественного назначения с консолью большого пролёта в г. Архангельске». Указаны основные характеристики, особенности и конструктивные решения стального каркаса здания, выбор одного из трёх вариантов конструкции галереи (моста), конечно-элементная математическая пространственная модель объекта, результаты статических и динамических расчётов, технико-экономические показатели проектируемого здания.

Ключевые слова: здание с консолью; консоль большого пролёта; расчёт математической модели методом конечных элементов; стальные конструкции; уникальное здание.

Введение. В мире всё стремительнее развивается высотное строительство современных зданий и сооружений, обусловленное дороговизной городской земли. Такие здания поражают своей уникальностью, интересными конструктивными и архитектурными решениями, использованием современных материалов и технологий. Создание нового здания с неповторимым обликом – это стремление создать новый символ города, иногда – его доминанту. Подобные проекты задают вектор дальнейшего развития архитектуры и, безусловно, привлекают к себе внимание.

В работе представлен проект многофункционального здания общественного назначения, отличительной чертой которого является консольная галерея (мост) большого пролёта. Площадка под строительство этого высотного здания расположена в Архангельской области (г. Архангельск, Октябрьский округ). Участок находится на берегу Северной Двины между пристанью (Набережная Северной Двины, д. 125, ст. 1) и Первой городской клинической больницей им. Е. Е. Волосевич (Набережная Северной Двины, д. 125, к. 7).

Выбор площадки строительства обусловлен тем, что этот участок длительное время был лишён благоустройства, а также в интересах людей приблизить жилую среду к хорошим видам из здания на просторы Северной Двины. Данное строительство влечёт за собой решение вопросов развития инфраструктуры города, дальнейшее благоустройство прибрежной зоны со скверами, детскими площадками, велосипедными дорожками и др., что будет привлекать потенциальных посетителей. Местоположение участка указано на рис. 1.

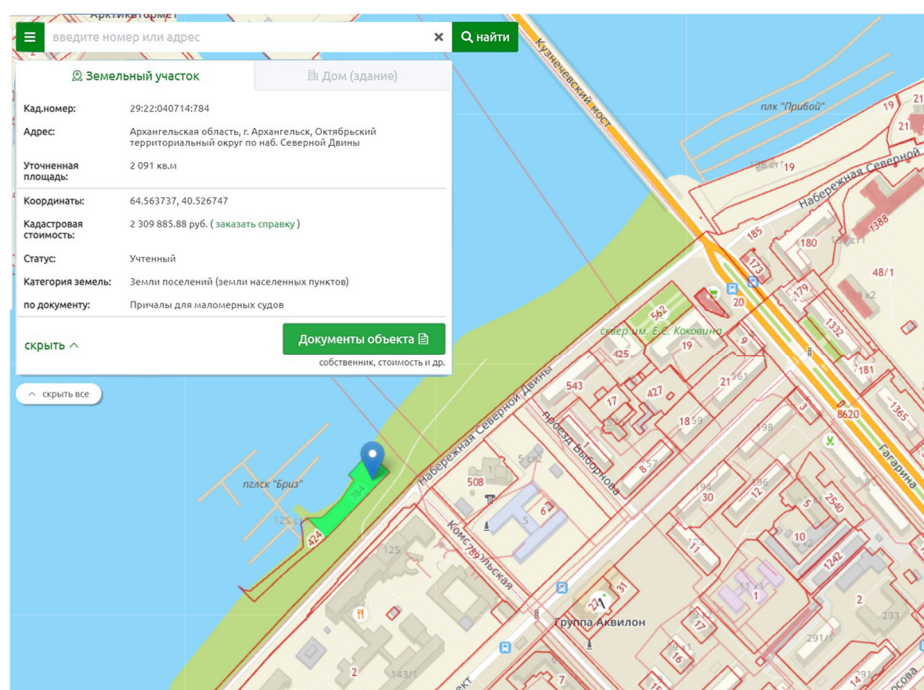


Рис. 1. Местоположение многофункционального здания

Краткая характеристика объекта. Проектируемое здание предназначается для круглогодичной эксплуатации и временного пребывания в нём посетителей. В строение включены такие части, как основная многоэтажная часть, консольный мост и наружный лифт. Все три части проектируются из стальных конструкций, функционально связаны и дополняют друг друга, образуя конструктивно-необходимые элементы, обеспечивая пространственную жёсткость сооружения.

В основной части здания будут располагаться: с 1 по 9 этаж – магазины; с 10 по 14 этаж – офисы и служебные помещения. Также имеются два технических этажа – подвальный и верхний – для инженерных систем и оборудования.

Консольный двухъярусный смотровой мост предназначен для отдыха и развлечения посетителей. На его первом ярусе расположатся кафе с VIP-залом, фитнес-центры, залы для групповых занятий танцами, спортом и др.; на втором ярусе – зимний сад с прогулочной зоной и видом на реку и набережную города.

Наружный лифт служит не только как дополнительная опора для моста, но и как дополнительный вход / выход на мост. Для посетителей, желающих сразу попасть в зону отдыха и досуга, внешний лифт станет прекрасным решением обхода шумной торговой зоны основной части здания.

Технико-экономические показатели представлены в *табл. 1*.

Таблица 1

Технико-экономические показатели объекта

№ п/п	Наименование	Количество	Ед. изм.
1	Количество этажей	16	шт.
2	Общая площадь	15 246	м ²
3	Полезная площадь	13 374	м ²
4	Площадь застройки	970,688	м ²
5	Строительный объём	83 801,88	м ³
6	K1 – отношение полезной площади к общей площади	0,88	
7	K2 – отношение строительного объёма к общей площади	5,50	

Основные габаритные размеры объекта:

- высотная часть: в плане 30×30 м, высота 91,93 м;
- галерея (мост): 90 м (консоль 36 м), сечение $b \times h = 12 \times 14,2$ м;
- лифтовая часть: в плане 6×6 м, высота 37,05 м.

Конструктивная схема – ствольно-каркасная. Основная часть здания представляет собой металлический каркас из прокатного профиля таврового сечения. Вертикальными несущими элементами выступают колонны, горизонтальными – главные балки и прогоны, элементы которых представлены в *табл. 1*. В качестве ядер жёсткости выступают две лестничные клетки и лифтовая шахта размерами в плане 6,0×3,0 м, воспринимающие ветровые нагрузки. Они обладают пространственной жёсткостью и совместно с перекрытиями обеспечивают пространственную неизменность здания. Внешний лифт также является ядром жёсткости.

Грани и междуэтажное перекрытие консольного моста представлены в виде ферм, расчётные варианты которых даны в *табл. 2*.

Таблица 2

Варианты конструкции галереи (моста)

№ п/п	Описание	Расчётная схема
1	Фермы моста состоят из стоек и поясов	
2	Фермы моста состоят из стоек, поясов и раскосов	
3	Фермы моста состоят из поясов, раскосов и стоек, расположенных с более редким шагом	

По способу восприятия горизонтальных нагрузок применяется каркас рамно-связевого типа, применяемый для многоэтажной части здания и внешнего лифта, сопряжение колонн и ригелей жёсткое. Колонны воспринимают моменты, вертикальные и горизонтальные нагрузки ввиду их жёсткой заделки в фундаментную плиту и жёстких узлов пересечения с главными балками. Ядра жёсткости в здании представляют собой вертикальные пространственные блоки со связями жёсткости, основная часть которых – крестовые, в месте проходов – порталные. На этажах с 3-го по 7-й и на 15-м, по периметру этажей между внешними колоннами, также установлены крестовые связи.

Каркас моста представляет собой две фермы длиной 90 м, из которых 36 м консольные, объединённые между собой диагональными связями. Каждый пояс моста представляет собой отдельную ферму, образуя после объединения связями пространственный двухуровневый блок.

Крепление моста к многоэтажной части здания и к внешнему лифту осуществляется за счёт опорных ферм. Фермы расположены под перекрытиями 4 ... 6 этажей и устанавливаются через жёсткие вставки к колоннам в осях 3 ... 8, 9 ... 10.

Расположение опорных ферм моста представлено на *рис. 2* и *2 а*.

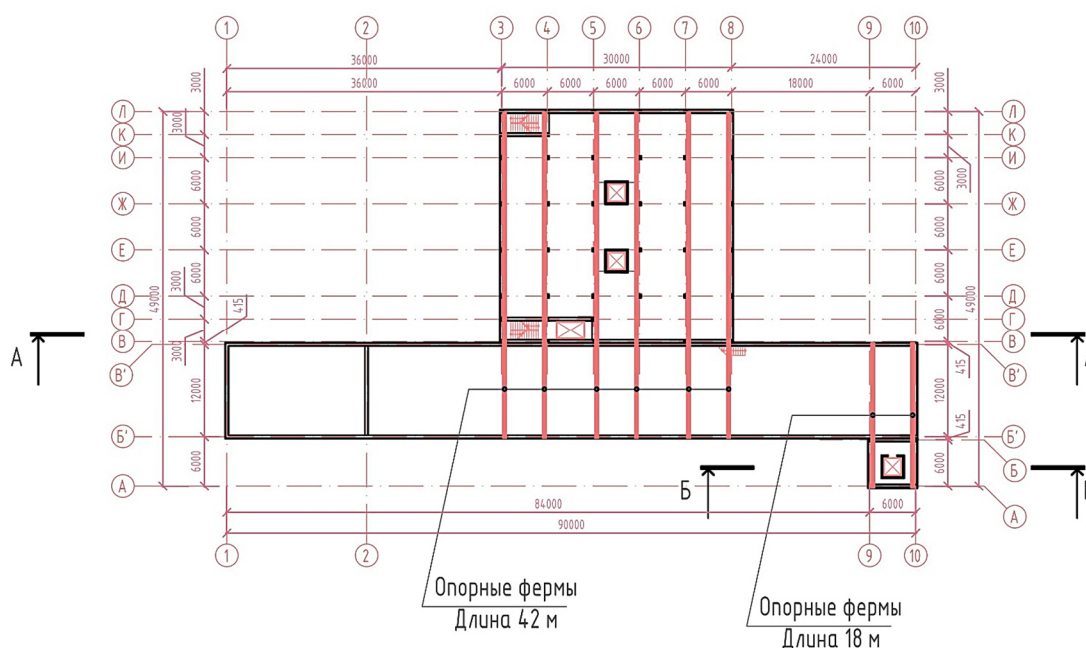


Рис. 2. План этажа на отметке +29,550

Фундамент для офисной части торгового центра предполагается плитно-свайный.

Торгово-офисная часть расположена в надводном положении. Для устройства будущего фундамента предполагается возведение стены в грунте с целью безопасного выполнения работ. Производится установка шпунтового ограждения типа Larsen вибропогружателями с последующей откачкой воды, установкой металлического каркаса и заполнением бетоном пространства между шпунтом.

Холодное и горячее водоснабжение, электроснабжение осуществляются городскими сетями. Внутренняя канализация – напорная, идущая в городскую канализацию. Система вентиляции – приточно-вытяжная с механическим побуждением.

Фасад здания выполнен из двухкамерных стеклопакетов, заполненных криптоном.

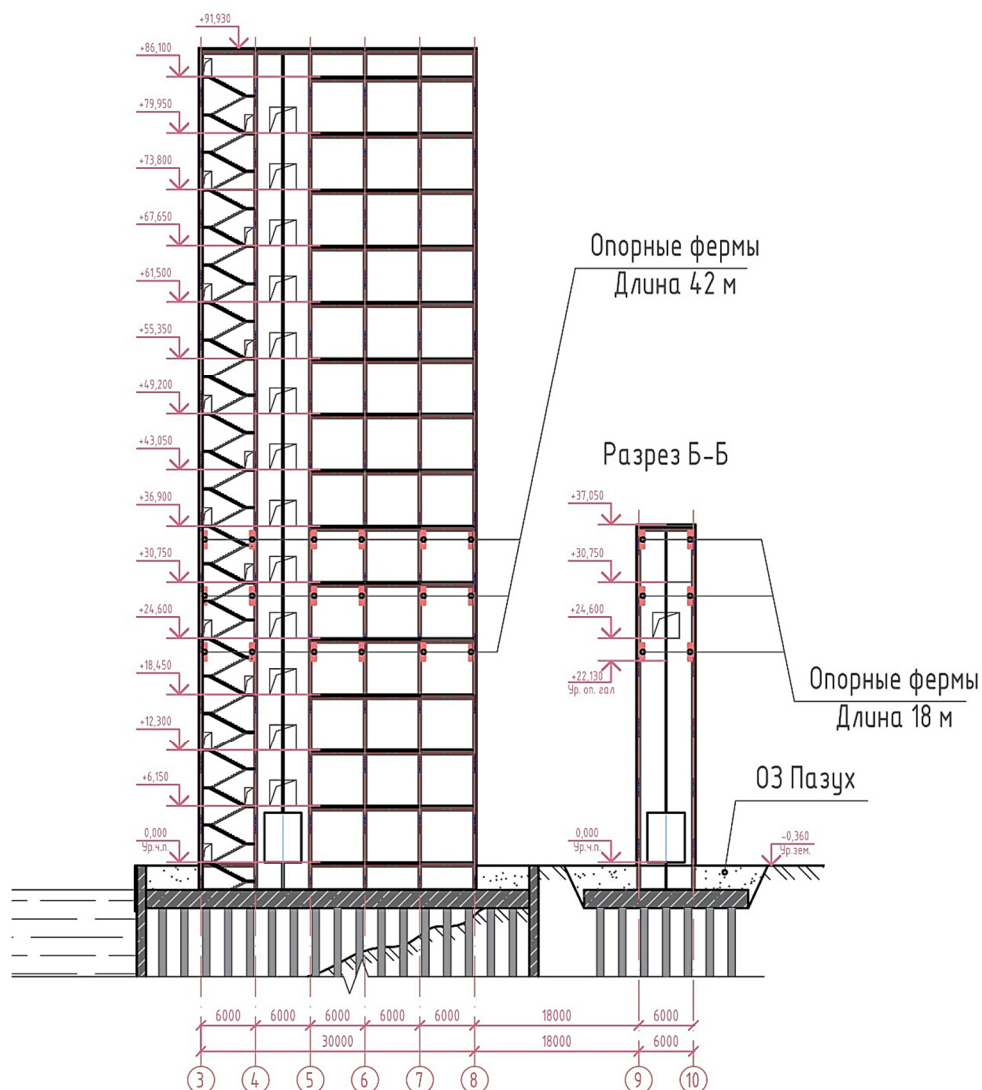


Рис. 2 а. Разрез по А-А и Б-Б с расположением опорных ферм моста

Расчёт и выбор варианта конструкции. Для сбора нагрузок использован программно-вычислительный комплекс «SCAD Office» и СП.20.13330.2016 [1].

Рассматривались три варианта ферм моста на высотной отметке +22,130, указанной на рис. 2 а. Выбор наиболее выгодного варианта производился из следующих критериев: максимальные перемещения в конструкции, коэффициент запаса устойчивости и материалоёмкости. Варианты конструкции моста приведены в табл. 2.

Математическая пространственная модель реализована в конечно-элементной постановке с использованием ПК «SCAD Office». Расчёты по I и II группам предельных состояний производились в упругой стадии с подбором наименьших сечений несущих элементов стальных конструкций.

Крепление элементов жёсткое, в местах крепления подпорных ферм моста к зданию и внешнему лифту указываются жёсткие связи.

Материалы вариантов конструкции приведены в табл. 3.

Таблица 3

Материалы конструкций

№ п/п	Элемент	Профиль	ГОСТ	Материал	Удельный вес, кН/м³
Элементы моста					
1.1	Элементы ферм моста (пояса, стойки, раскосы)	Трубы квадратные 400×15	32931-2015 [2]	Сталь С375	77,008
1.2	Главные балки	Трубы квадратные 150×5			
1.3	Фасадные раскосы	Трубы квадратные 400×15			
Опорные фермы моста					
1.4	Элементы опорных ферм (пояса, раскосы, стойки)	Трубы квадратные 450×22	32931-2015 [2]	Сталь С375	77,008

Расчётные модели вариантов конструкции приведены на *рис. 3*.

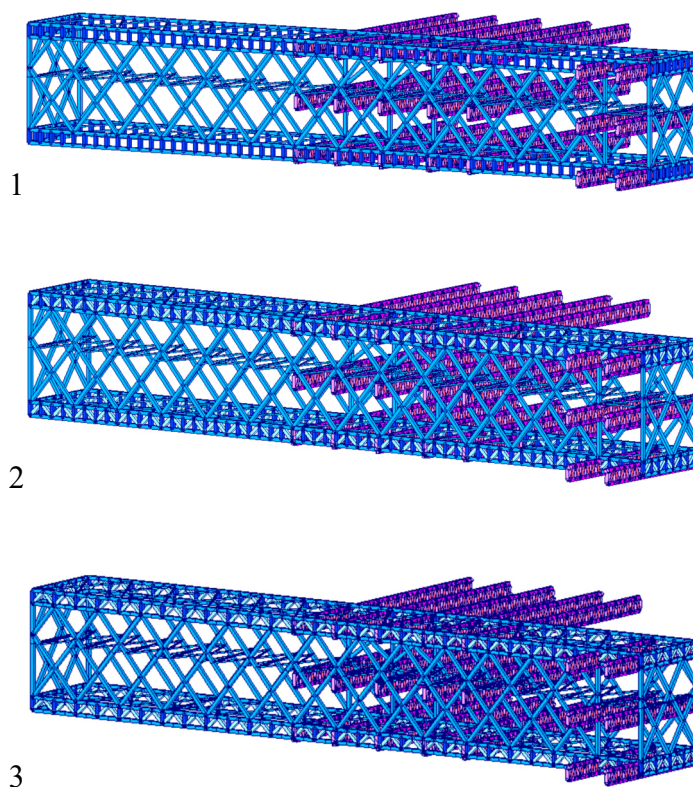


Рис. 3. Расчётные модели вариантов конструкции:

1 – безраскосная решётка поясов со стойками; **2** – раскосная решётка поясов со стойками;
3 – то же, с редким шагом стоек

После построения расчётных моделей задания создаются загрузки конструктивных элементов в соответствии с СП 20.13330.2016 [1]. Расчёт каждой модели выполнен в режиме PARFES с определением механического перемещения в узлах. Результаты расчёта для анализа перемещений и коэффициентов запаса устойчивости приведены в *табл. 4*.

Таблица 4

Сводная таблица результатов расчёта вариантов конструкции галереи (моста)

Результаты расчёта вариантов конструкции				
№ варианта	Коэффициент запаса устойчивости	Максимальные перемещения узлов расчётной схемы, см		Суммарные нагрузки от галереи, кН
		Max +	Min -	
1	11,90	X: 0,942 (узел 3405) Y: 0,469 (узел 1663) Z: 0,007 (узел 2224)	X: -0,993 (узел 3413) Y: -0,479 (узел 2063) Z: -7,587 (узел 3424)	17 158,8
2	9,96	X: 1,125 (узел 3405) Y: 0,553 (узел 1663) Z: 0,002 (узел 2405)	X: -1,190 (узел 3413) Y: -0,551 (узел 2067) Z: -8,199 (узел 3424)	18 081,4
3	10,55	X: 1,061 (узел 3405) Y: 0,521 (узел 1663) Z: 0,002 (узел 2224)	X: -1,129 (узел 3413) Y: -0,521 (узел 2067) Z: -7,925 (узел 3424)	17 754,1

Первый вариант схемы при сравнении результатов показал наибольший коэффициент запаса устойчивости (11,90), максимальные значения перемещений узлов меньше, чем у схем 2 и 3, а по суммарным внешним нагрузкам видно, что конструкция 1 имеет наименьший вес, что свидетельствует о её минимальной материалоемкости. Первая схема конструкции моста обладает наилучшими результатами по расчёту, а также будет проще конструироваться за счёт меньшего числа элементов и более простых узлов, в отличие от схем 2 и 3 с раскосами. Принимаем эту схему для дальнейшего проектирования здания.

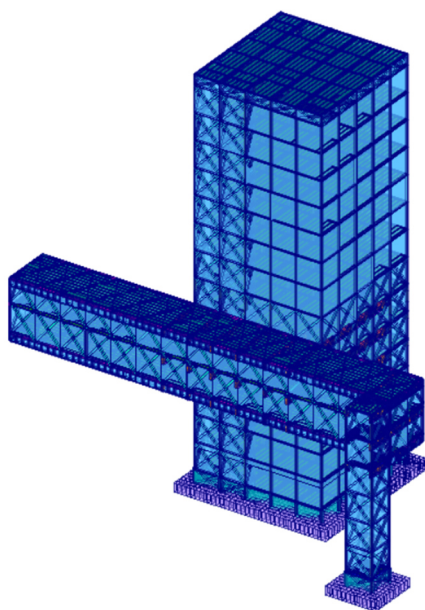


Рис. 4. Расчётная модель здания

Выбрав вариант конструкции галереи (моста) строится схема здания целиком. Выбирается тип схемы – схема общего вида. Расчётная модель здания приведена на *рис. 4*, конструктивные элементы приведены в *табл. 5*.

Таблица 5

Материалы конструктивных элементов проектируемого объекта

№ п/п	Элемент / Конструкция	Профиль	ГОСТ	Материал	Удель- ный вес, кН/м³	Модуль упругос- ти, 10⁴кН/м²
1. Сборные штучные элементы из металлопроката						
Элементы многоэтажной части здания и внешнего лифта						
1.1	Колонны	Двутавр 40К5	Р 57837-2017 [3]	Сталь С375	77,008	20 601
1.2	Главные балки	Двутавр 40Б2				
1.3	Второстепен- ные балки	Двутавр 26Б2				
1.4	Связи	Трубы квадратные 400×22	32931-2015 [2]			
Элементы моста						
1.5	Элементы ферм моста (пояса, стойки)	Трубы квадратные 400×15	32931-2015 [2]	Сталь С375	77,008	20 601
1.6	Главные балки	Трубы квадратные 150×5				
1.7	Второстепен- ные балки	Трубы квадратные 100×5				
1.8	Фасадные раскосы	Трубы квадратные 400×15				
Опорные фермы моста						
1.9	Элементы опорных ферм (пояса, раско- сы, стойки)	Трубы квадратные 450×22	32931-2015 [2]	Сталь С375	77,008	20 601
Покрытия / Перекрытия						
1.10	Покрытия / Перекрытия	Профильный лист толщиной 10 мм	24045-2016 [3]	Сталь С250	77,008	20 601
2. Монолитные конструкции из железобетона						
Фундаменты						
2.1	Фундаментная плита много- этажной части	Плита 30×30×2 м	26633-2015 [5]	Бетон В25	24,525	3 001,86
2.2	Фундаментная плита нешнего лифта	Плита 12×12×2 м		Бетон В25		
3. Элементы и конструкции из прочих материалов						
Фасады						
3.1	Стекланный фасад	Плиты толщиной 12 мм	22233-2018 [6]	Стекло	25,00	7 500
3.2	Стены технического нулевого этажа	Пеноблоки 800 мм	31360-2017 [7]	Пенобетон	5,00	168,7

Нагрузка на перекрытия от конструктивных слоёв: нормативная – 1,653 кН/м², расчётная – 2,135 кН/м². Нагрузка на покрытие – 0,168 кН/м², расчётная – 0,202 кН/м². Нагрузка на полы технических этажей – 0,344 кН/м², расчётная – 0,433 кН/м².

Снеговые, ветровые и длительные нагрузки указываются в соответствии с СП 20.13330.2016 [1] для общественного торгово-офисного здания, расположенного в снеговом районе IV и ветровом районе II для города Архангельска.

Результатом статического расчёта здания стали проверки устойчивости здания по I группе предельных состояний, равной 4,05, и проверки по II группе предельных состояний по максимальным горизонтальным перемещениям. Вертикальные перемещения составили 87,269 мм, что меньше предельного значения, равного 240 мм, взятого с приложения Д.1 [1].

Горизонтальные перемещения составили 29,8 мм, что меньше предельных 184 мм по приложению Л.3 [1].

Динамический расчёт от воздействия ветровых нагрузок показал три формы собственных колебаний здания: изгибную, смешанную и крутильную. Изображения первой, второй и третьей форм собственных колебаний представлены на *рис. 5*. Визуализация форм собственных колебаний увеличена в 16 раз.

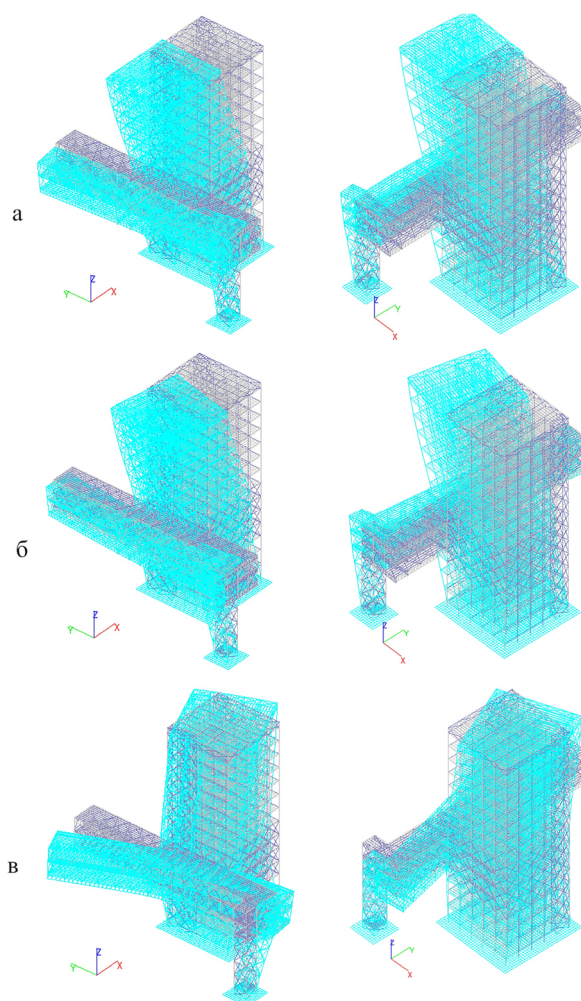


Рис. 5. Формы собственных колебаний расчётной модели:

а – первая форма (изгибная, крен по оси x);

б – вторая форма (смешанная); **в** – третья форма (крутильная)

Для каждой из данных форм значения частот колебаний составили 0,625 Гц, 0,782 Гц и 1,093 Гц соответственно. Все три значения меньше предельного: 1,1687 Гц по п. 11.1.10 СП 20.13330.2016 [1].

Технико-экономические показатели. Стоимость объекта рассчитана по сметно-нормативной базе ФЕР 2001 [8] года с пересчётом в цены второго квартала 2019 г. по-

средством индекса, учитывающего влияние инфляции, из письма Минстроя России от 19.05.2022 г. № 22232-ИФ/09 на второй квартал 2022 г. [9]. Коэффициент принят для Архангельской области базового района.

Стоимость строительства, учитывающая затраты на материалы и трудозатраты рабочих, составила 1 104 654, 24 тыс. руб.

Выводы

1. Разработаны конструкции высотного многофункционального сооружения из трёх функционально связанных объектов из стальных конструкций, в том числе 16-этажное торгово-офисное здание высотой 91,93 м, двухуровневая галерея (мост) длиной 90 м спортивно-оздоровительного назначения и лифтовая башня высотой 37,05 м.

2. Разработана и выбрана на основе сравнения по материалоемкости наиболее эффективная конструкция галереи с пространственной консолью 36 м, сечением $b \times h = 12 \times 14,2$ м.

3. Построена корректная, с точки зрения напряжённо-деформированного состояния, конечно-элементная математическая модель сооружения в ПК «SCAD Office». По модели определены внешние нагрузки и воздействия, определены расчётные усилия, перемещения и формы собственных колебаний при статических и динамических воздействиях.

Определены технико-экономические показатели и стоимость строительства объекта. Результаты работы рекомендуется использовать при проектировании объектов-аналогов.

Список литературы

1. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями N 1, 2, 3). 03 декабря 2016. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456044318>
2. ГОСТ 32931. Трубы стальные профильные для металлоконструкций. Технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200130601>
3. ГОСТ Р 57837-2017. Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200157342>
4. ГОСТ 24045-2016. Профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофрами для строительства. Технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200141111>
5. ГОСТ 26633-2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200133282>
6. ГОСТ 22233-2018. Профили прессованные, из алюминиевых сплавов для ограждающих конструкций. Технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160585>
7. ГОСТ 31360-2017. Изделия стеновые неармированные из ячеистого бетона автоклавного твердения. Технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200063990>
8. Сметно-нормативная база сборников ФЕР 2001. URL: <https://www.defsmeta.com/rfer20/spisok.php>
9. Письмо Минстроя России от 19.05.2022 г. № 22232-ИФ/09. 19.05.2022. URL: <http://www.i-tat.ru/file/filemanag/92777f0dc2f36355328f11e271bb39c3.pdf>
10. Ульрих Крюгер. СТАНЛБАУ: монография. Рубрика 67.00.00 Строительство. Архитектура. URL: https://www.elibrary.ru/rubric_titles.asp?rcode=670000
11. Шулятьев С. О., Травуш В. И. Патент 2634762 С1 Российская Федерация. МПК E02D27/34. Способ возведения высотного здания на естественном основании. № 2016129700; заявл. 20.07.2016; опубл. 03.11.2017. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38272638>
12. Травуш В. И. Архитектура и инновации // Жилищное строительство. 2016. № 9. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15219024>

ENGINEERING OF PUBLIC BUILDING WITH LONG-SPAN CONSOLE IN ARKHANGELSK

Galaktionov Yuri Alexandrovich, Rumyantsev Mikhail Vladimirovich, Labudin Boris Vasilievich

Lomonosov Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk

The article presents brief results of the final qualifying work on the topic «Engineering of public building with long-span console in Arkhangelsk». The main characteristics, features and engineering solutions of the steel frame of the building, the choice of one of three constructive for the construction of the bridge, a finite element mathematical spatial model of the object, the results of static and dynamic calculations, technical and economic characteristics of the projected building.

Keywords: building with console; long-span console; calculation of a mathematical model by the finite element method; steel structures; unique building.

УДК 624.91.024.7

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БОЛЬШЕПРОЛЁТНОГО ЗДАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО СПОРТИВНОГО КОМПЛЕКСА «ФАВОРИТ» В Г. АРХАНГЕЛЬСКЕ

*Кучин Максим Валерьевич, Коновалов Анатолий Юрьевич,
Лабудин Борис Васильевич*

ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) Федеральный Университет им. М. В. Ломоносова»,
г. Архангельск
kuchin.m@edu.narfu.ru

В процессе анализа объектов-аналогов выявлены их достоинства, недостатки и приведена сравнительная таблица, подобрана рациональная схема покрытия. Выполнен сравнительный анализ трёх вариантов системы стабилизации применяемого мембранного покрытия. Построена конечно-элементная модель, а также произведены расчёты основных несущих элементов, таких как мембрана покрытия, опорный контур, центральное и промежуточное кольца, вантовая система и ответственные узлы покрытия как аналитически, так и в программно-вычислительном комплексе (SCAD Office) с учётом различных статико-геометрических параметров и сочетаний нагрузок. Производится расчёт здания на прогрессирующее обрушение с аналогией по СКК «Петербургский» – выключение из работы связей мембраны с опорным контуром.

Ключевые слова: большепролётное здание; мембрана; конечно-элементная модель; ваны; ветровые нагрузки; прогрессирующее обрушение.

Введение

Большой вклад в развитие данной темы и обзор объектов с подвесными, вантовыми и мембранными покрытиями внесли А. П. Морозов [1], О. А. Курбатов [2], В. К. Качурин [3], В. И. Травуш [4], В. И. Колчунов [5] и др. Труды ученых послужили базой для данной работы.

Многофункциональный спортивный комплекс (МФСК) «Фаворит» запроектирован в городе Архангельске (ул. Садовая, 8; на данный момент – стадион «Динамо» (рис. 1)) и состоит из основной части (крытый многофункциональный зал) и 4-этажной пристройки для административных и вспомогательных целей.

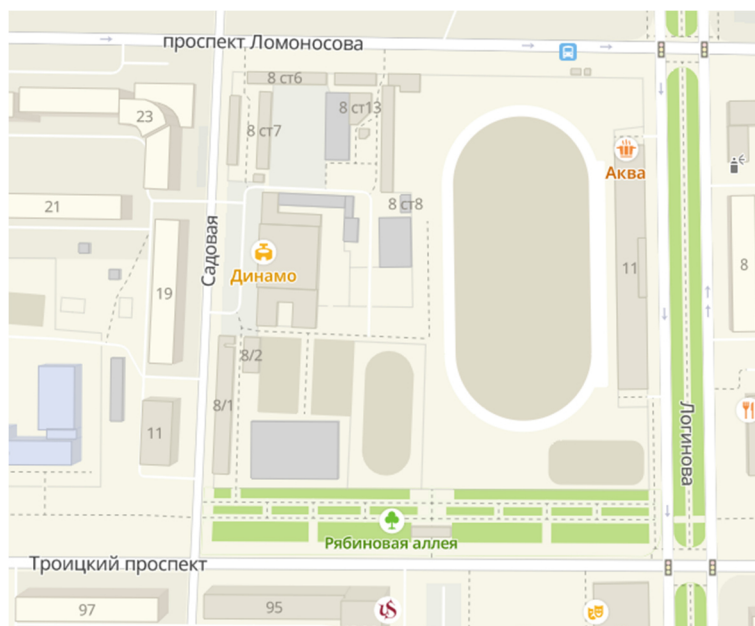


Рис. 1. Карта-схема участка проектирования [6]

Цель работы – выполнить анализ конструктивных решений на предмет оценки факторов прогрессирующего обрушения.

Описание и анализ моделируемого процесса

В процессе работы был произведён анализ конструктивных особенностей объектов-аналогов для выявления наиболее рационального конструктивного решения покрытия. Сравнивались:

- Дворец спорта «Юбилейный» (СПб): покрытие по радиальной двухпоясной вантовой схеме – *рис. 2*;
- Плавательный бассейн в Олимпийском комплексе (МСК): покрытие по схеме жёсткой вантовой фермы – *рис. 3*;
- Спортивно-концертный комплекс «Петербургский»: покрытие по мембранной схеме с системой стабилизации – *рис. 4*.

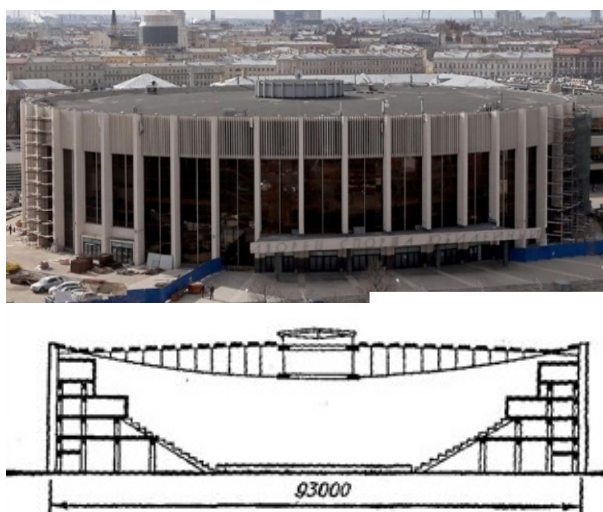


Рис. 2. Общий вид и конструктивная схема Дворца спорта «Юбилейный» диаметром 100 м, г. Санкт-Петербург [7]

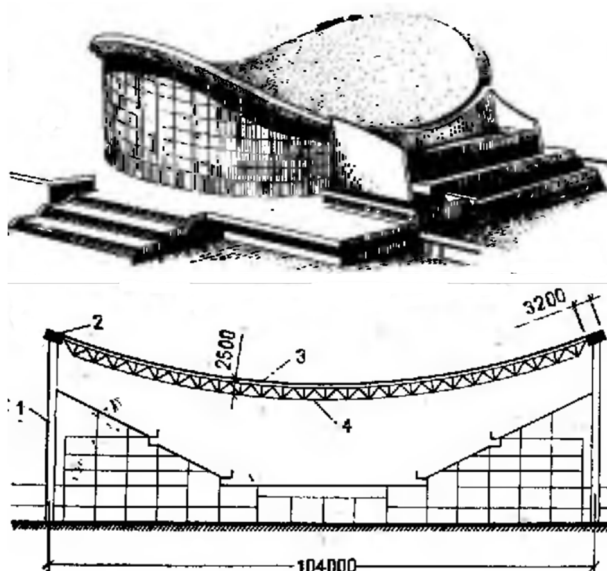


Рис. 3. Общий вид и конструктивная схема бассейна Олимпийского комплекса пролётом 104 м, г. Москва [7]

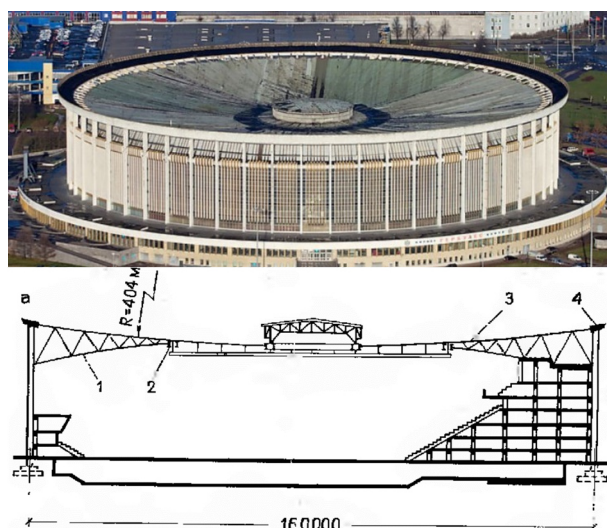


Рис. 4. Общий вид и конструктивная схема здания СКК «Петербургский» диаметром 160 м, г. Санкт-Петербург [7]

Наиболее предпочтительным и интересным, с точки зрения исследования, было принято покрытие по мембранной схеме (см. табл. 1). Кроме всего, СКК «Петербургский» может послужить наглядным примером реального прогрессирующего обрушения вследствие неправильной технологии демонтажа и нарушения ТБ при сносе здания в 2019 г.

Таблица 1

Обзор объектов-аналогов

Наименование объекта	Конструктивные особенности	Слабые стороны схемы
Дворец спорта «Юбилейный»	- несущий элемент – ванты; - парное расположение вант в одной вертикальной плоскости – малодеформативное покрытие вследствие работы вогнутых вант как несущих, а выгнутых – как стабилизирующих; - соединение вант осуществляется оттяжками – канатами (хорошая материалоемкость и несущая способность)	- наличие массивного и сложно рассчитываемого опорного контура (и не всегда одного) для восприятия распора от вант; - сложность отвода атмосферных вод и снега; - сравнительно сложный монтаж

Обзор объектов-аналогов

Наименование объекта	Конструктивные особенности	Слабые стороны схемы
Плавательный бассейн в Олимпийском комплексе	- несущий элемент – ферма; - настил не участвует в расчёте на прочность и жёсткость; - использование дешёвых металлов; - сравнительно простой монтаж; - отсутствует необходимость стабилизации покрытия	- очень металлоёмкие из-за использования профилей вместо канатов. В итоге получается массивная конструкция – уменьшение строительного объёма; - требуется опорный контур с высокой несущей способностью, так как конструкция получается тяжёлой
СКК «Петербургский»	- несущий элемент – мембрана (металлическая пластина), она же выполняет ограждающую функцию; - высокая индустриализация из-за простоты транспортировки материала	- требуется стабилизация; - сложные конструктивные решения узлов восприятия распора

Для проектирования были определены климатические параметры холодного и тёплого периодов года, на кафедре ИГОиФ С(А)ФУ были получены геологические условия участка (скважины № 2234а и № 2236а).

Фундамент. В здании имеются три типа фундамента:

- под колонны основной части – фундамент мелкого заложения с несимметричной удлиненной подошвой для предотвращения опрокидывания от горизонтального воздействия;
- под колонны пристройки – фундамент мелкого заложения с симметричной подошвой, жёстким узлом сопряжения колонны с фундаментом;
- под подошву подпорной конструкции колонны основной части – наклонная плита.

Несущий каркас:

- пристройка: колонны; монолитное ребристое с основными и второстепенными балками перекрытие. Высота пристройки – 15 м (4 этажа высотой по 3,2 м) и подвальный этаж высотой 2,5 м;
- основная часть: радиально расположенные по диаметру окружности 104 м железобетонные колонны высотой 17,3 м сечением $2 \times 0,4$ м, воспринимающие вес железобетонного опорного кольца и распора от вантовой системы стабилизации покрытия. Пол первого этажа устроен по монолитной плите по грунту с выравнивающим слоем и устройством деформационных швов.

Покрытие:

- пристройка: устраивается аналогично перекрытиям, но с увеличением сечения основных балок и созданием уклонов 1:40 к водосборным воронкам;
- основная часть.

Мембранное покрытие (стальные листы толщиной от 6 до 12 мм). Стрела провисания мембраны составляет 4,84 м. Покрытие состоит из мембраны, утеплителя, стяжки, кровельного материала. Для уменьшения ветрового воздействия на внешнем контуре опорного кольца имеются аэродинамические надстройки – ветровые планки [7].

Опорное кольцо К1: железобетонное сечением $3,7 \times 1,5$ м. Работает на сжатие с изгибом и кручением как замкнутый контур. Армирование кольца, а также узел сопряжения с мембраной приведены на рис. 5.

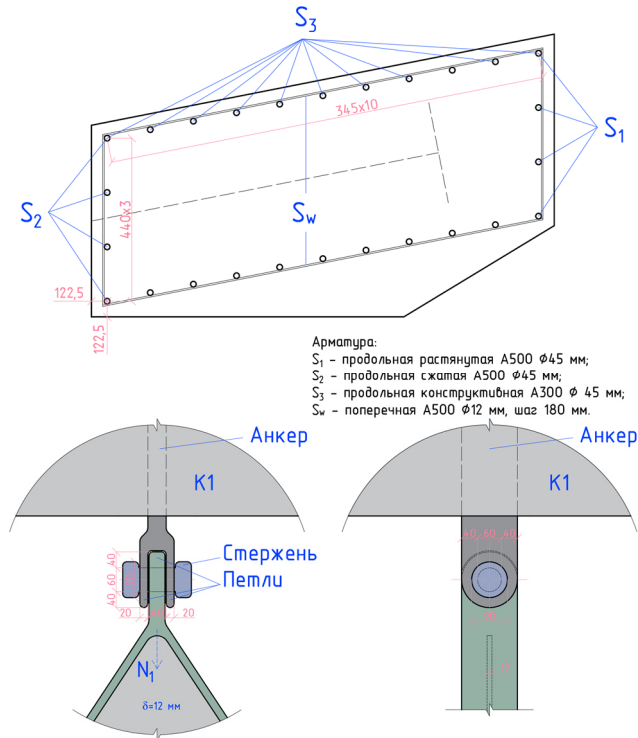


Рис. 5. Армирование опорного кольца К1 и узел сопряжения с мембраной

Центральное кольцо К3: стальное, составного сечения, из гнутых по радиусу 10 м стальных швеллеров и двутавров. Испытывает на себе растягивающие усилия от мембраны и вес подвесного оборудования. Узел крепления мембраны к К3 (см. рис. 6).

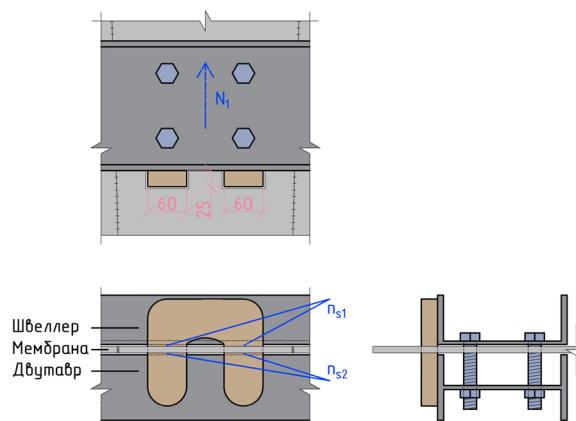


Рис. 6. Узел крепления мембраны к центральному кольцу К3

Среднее кольцо К2: стальное, составного сечения из гнутых по радиусу 50 м спаренных швеллеров. Воспринимает растягивающие усилия от системы стабилизации и веса подвесного оборудования, крепится к мембране через подвески.

Система стабилизации выполнена по схеме Людовского. Ванты натянуты между колоннами и кольцом К2; натяжение вант выполняется домкратами со стороны колонны. Выгиб ванты 1,2 м обязателен для корректной стабилизации покрытия от пассивного ветрового воздействия. Выгиб обеспечивается посредством устройства между мембраной и вантами оттяжек – канатов с натяжением. Узел крепления вант к колоннам и кольцу К2 представлен на рис. 7.

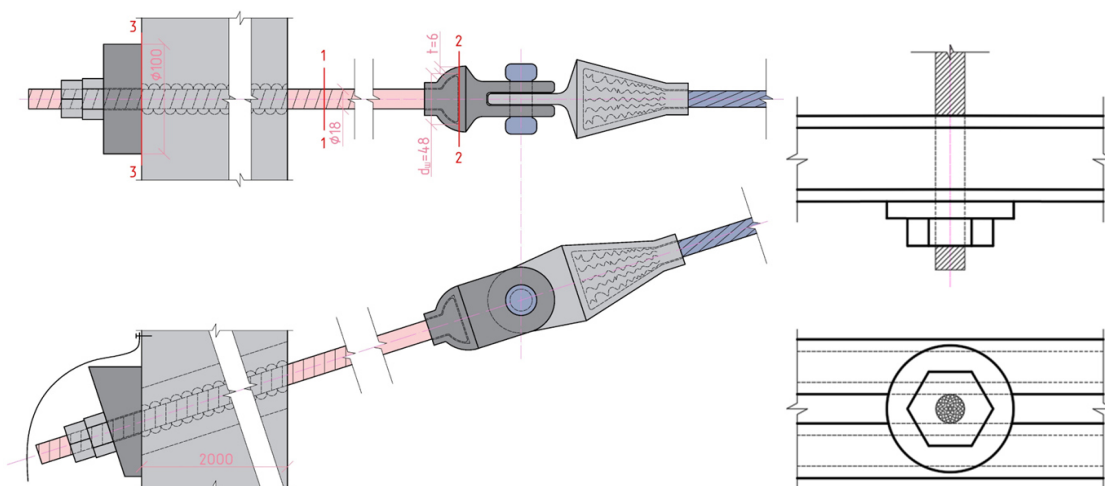


Рис. 7. Узел крепления ванта к колонне

Ограждающая конструкция стен – вентилируемый фасад с объёмными металлокассетами и рассчитанной толщиной утеплителя 150 мм.

При разработке проекта использовались программные комплексы AutoCAD, SCAD Office, SketchUp [8]. Модель представлена на *рис. 9*. Аналитически (методами строительной механики и сопротивления материалов) рассчитаны ответственные элементы и узлы.

В работе выполнен расчёт фундаментов основной части по СП 22.13330.2016 [9]. Результаты расчёта фундамента – на *рис. 8*. Так как колонны основной части имеют значительные горизонтальные воздействия, был выполнен аналитический расчёт на потерю устойчивости по плоскому сдвигу подошвы.

Проверка для уровня подошвы удовлетворена		
Расчётное сопротивление грунта в уровне подошвы фундамента	245,773	кН/м ²
Среднее давление от нагрузок (включая вес тела фундамента, грунта и пола) в уровне подошвы фундамента	197,162	кН/м ²
Осадка определена для основания в виде упругого полупространства		
Осадка основания	19,104	мм
Просадка от нагрузки	0	мм
Просадка от веса грунта	0	мм
Сумма осадки и просадки	19,104	мм
Глубина сжимаемой толщи	4,375	м

Отчёт сформирован 2022.05.17 18:02:11 (UTC+03:00) программой ЗАПРОС (64-бит), версия: 21.1.9.9 от 16.04.2021

Рис. 8. Результаты расчёта фундамента основной части [8]

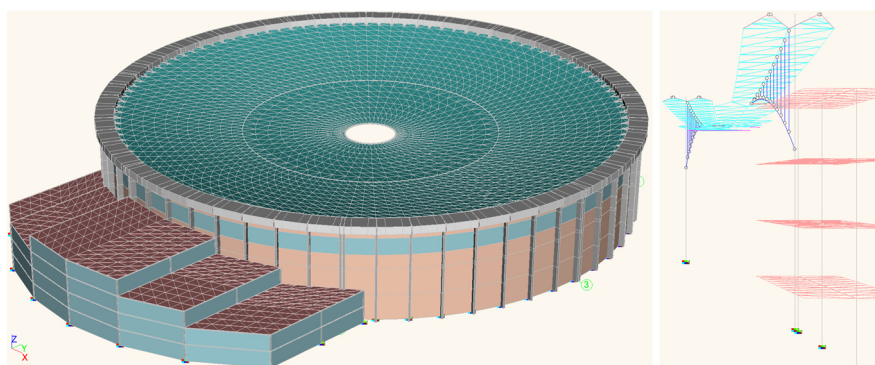


Рис. 9. Модель, созданная в ПК SCAD++ (общий вид и фрагмент)

Расчёт системы стабилизации на неблагоприятное сочетание: ветровая нагрузка [10, 11], постоянные нагрузки [10]. Выполнено вариантное проектирование системы стабилизации тремя способами:

1) пригруз – железобетонное сборное покрытие по мембране из блоков заводского изготовления высотой $h = 0,2$ м;

2) введение в конструкцию радиальных изгибно-жестких балок в виде двутавров 35Ш1 по ГОСТ Р 57837-2017 [12];

3) изменение геометрии покрытия с помощью натяжения вантовых ферм. Результат расчёта представлен в табл. 2.

После сравнения результатов выбран третий вариант стабилизации.

Таблица 2

Результаты расчётов вантовых ферм

№ оттяжки	$A_{гри}, м^2$	$N_{оти}, кН$	$A_{оти}, мм^2$	$N_{вант}, кН$	$A_{вант}, мм^2$
1	0,201	1,045	2,569	28,828	70,879
2	0,192	0,998	2,454		
3	0,183	0,951	2,338		
4	0,174	0,904	2,222		
5	0,165	0,857	2,107		
6	0,156	0,810	1,991		
7	0,147	0,763	1,876		
8	0,138	0,716	1,760		
9	0,129	0,669	1,644		
10	0,120	0,622	1,529		
11	0,111	0,575	1,413		

Для мембраны расчёт производится на следующее сочетание нагрузок: постоянная, от оборудования, натяжение вантовой системы и снеговая. На основании расчётов по I ГПС получены меридиональные и кольцевые усилия, а также необходимая толщина мембраны.

Были рассчитаны следующие узлы: крепление мембраны к центральному кольцу; крепление мембраны к опорному кольцу; крепление стабилизирующего ванта к колонне.

Снеговая нагрузка задана с различным модулем по мембране; ветровая – с изменением по модулю и направлению по параболоиде [11]. Ветровое воздействие на фасады, согласно схемам на рис. 10.

Результаты, полученные в численном моделировании, близки к полученным аналитическим методам, что свидетельствует о корректности заданной модели.

Крены колонн, деформации мембраны (см. рис. 11) не превышают нормативных значений [10].

Результаты аналитического и модельного расчётов см. в табл. 3.

Таблица 3

Результаты аналитического расчёта и численного моделирования

Показатель	Результат аналитического расчёта	Результат расчёта в SCAD++
Напряжения мембраны кольцевые	143 985 кПа	100 004,59 кПа
Напряжения мембраны меридиональные	144 778,33 кПа	169 311,23 кПа
Усилия продольные в кольце К1	15 007 кН	18 435,86 кН
Усилия продольные в кольце К2	64,31 кН	224,08 кН
Усилия продольные в кольце К3	1 443 кН	1 388,71 кН
Прогиб мембраны (I ГПС)	0,324 м	0,460 м

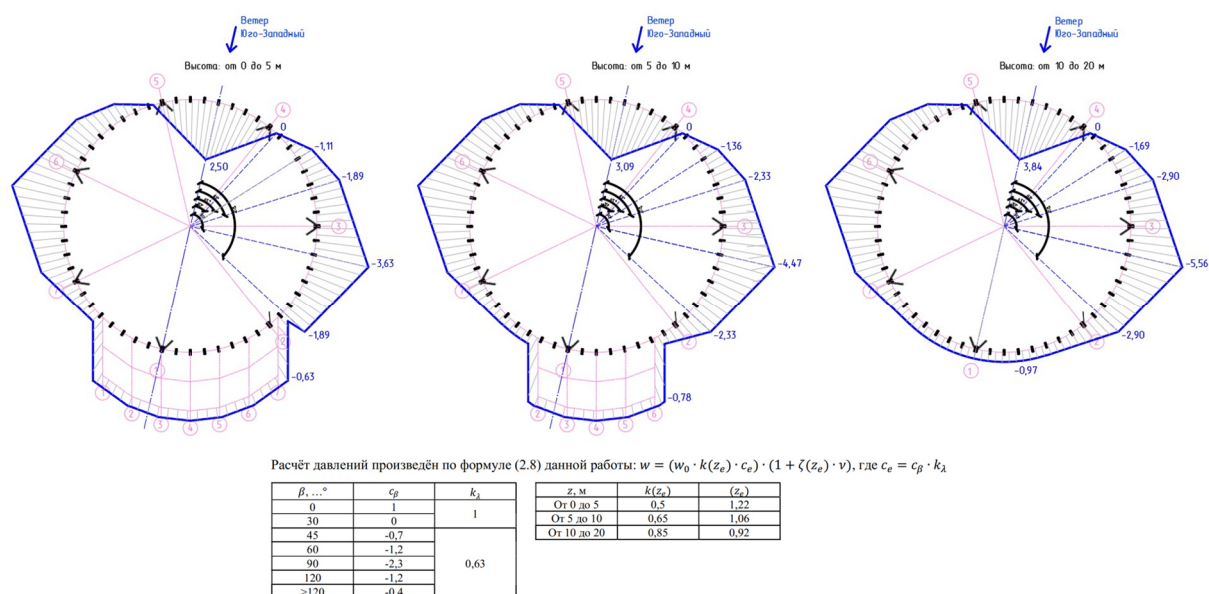


Рис. 10. Схемы изменения ветрового воздействия на фасады

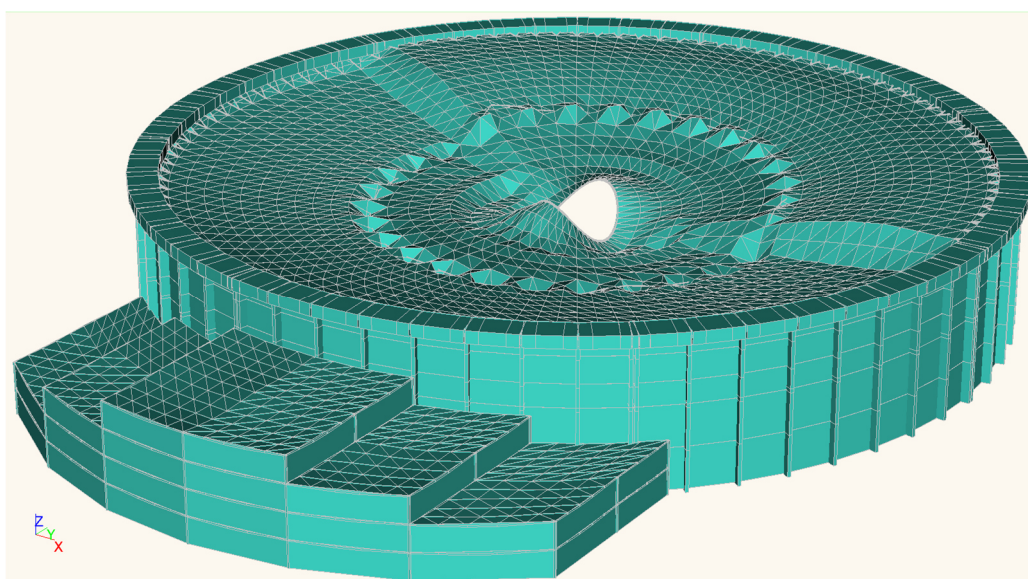


Рис. 11. Деформированная конечно-элементная модель (SCAD++)

Прогрессирующее обрушение.

Принятые элементы исключения из работы – связи мембраны с опорным кольцом (по аналогии с СКК «Петербургский»). Расчёт проводится на особое сочетание нагрузок [10].

Рассчитаны два случая: с обрывом 5 и 15 связей. Результаты продемонстрированы на рис. 12. На рисунке красным цветом выделены вышедшие из строя элементы, для которых значение максимального по величине коэффициента использования ограничений $K_{max} < 1$ [8].

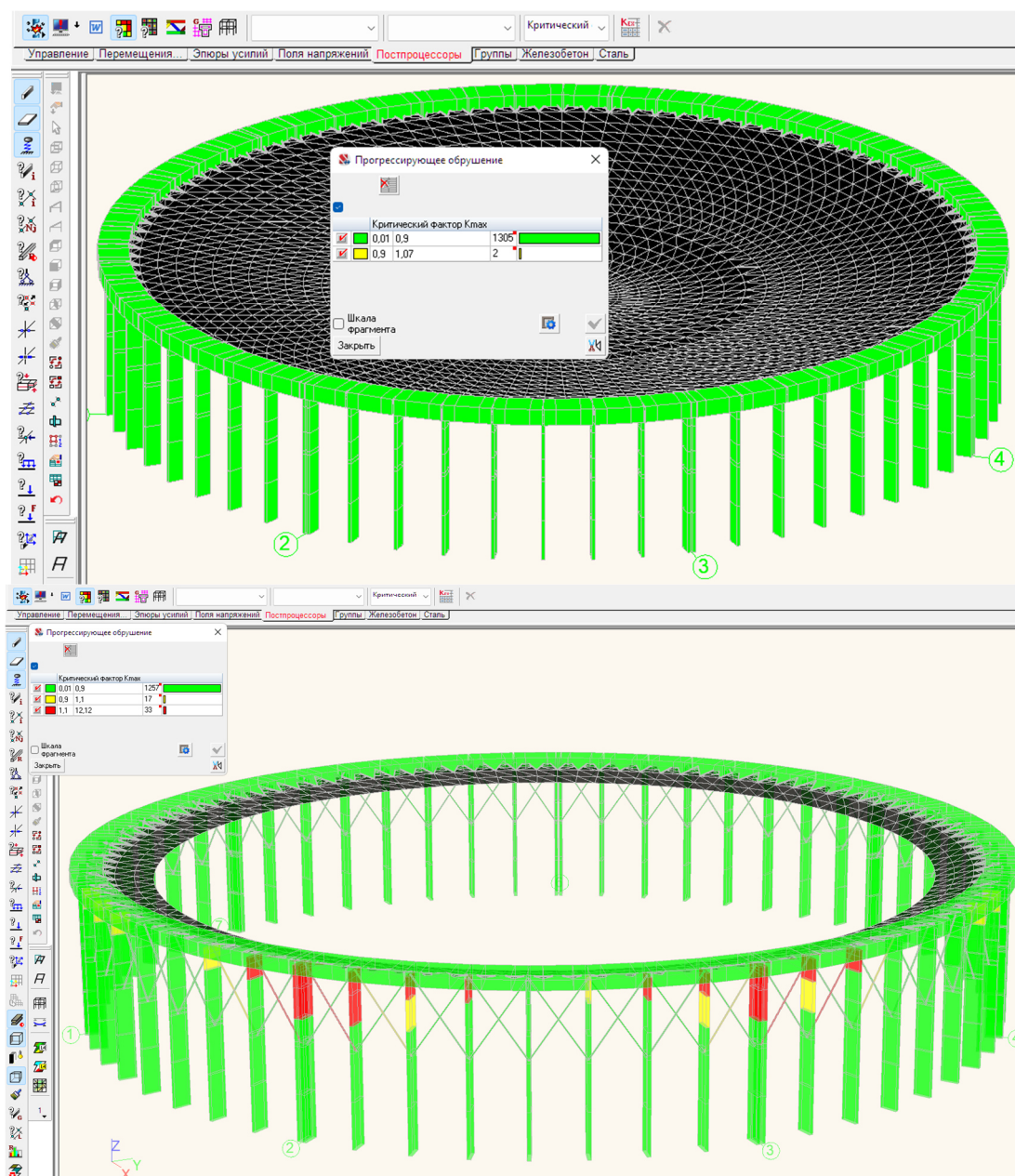


Рис. 12. Результаты расчёта прогрессирующего обрушения

Заключение

1. Выполнен анализ особенностей конструктивных решений висячих вантовых и мембранного стального покрытий большепролётных спортивных сооружений.
2. Запроектировано здание многофункционального спортивного комплекса «Фаворит» в городе Архангельске с учётом опыта эксплуатации подобного объекта – СКК «Петербургский».
3. Построена математическая конечно-элементная модель здания, произведены расчёты ответственных узлов и элементов большепролётного (104 м) здания с мембранным стальным покрытием и вантовой системой стабилизации.
4. Выполнен расчёт на прогрессирующее обрушение при выключении из работы связей мембраны с опорным контуром запроектированного здания. Выход из строя 15 связей является критическим, выход из строя 5 связей не нарушает нормальной работоспособности конструкций.

Список литературы

1. Морозов А. П., Василенко О. В., МIRONKOV Б. А. Пространственные конструкции общественных зданий // Российская государственная библиотека. 1977. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007682023> (дата обращения: 08.01.2022).
2. Современные пространственные конструкции (железобетон, металл, дерево, пластмасы) / Ю. А. Дыховичный, П. Г. Еремеев, О. А. Курбатов и др. // Информационно-образовательный портал Totalarch. 1991. URL: http://books.totalarch.com/modern_spatial_structures_reinforced_concrete_metal_wood_plastics (дата обращения: 08.01.2022).
3. Качурин В. К. Теория висячих систем. Статический расчёт // Российская государственная библиотека. 1962. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01006298630> (дата обращения: 08.01.2022).
4. Современные конструктивно-технологические решения сферических оболочек / В. И. Травуш, В. Д. Антошкин, В. Т. Ерофеев, С. С. Гудожников // Научная электронная библиотека (eLIBRARY.RU). 2012. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18792163> (дата обращения: 08.01.2022).
5. Колчунов В. И., Пятикрестовский К. П., Ключева Н. В. Пространственные конструкции покрытий // Российская государственная библиотека. 2008. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01004123148> (дата обращения: 08.01.2022).
6. Онлайн-сервисы 2ГИС // ООО «ДубльГИС». URL: <https://2gis.ru/arkhangelsk/firm/6896665210391076/40.522794%2C64.549711?m=40.523993%2C64.549332%2F16.43> (дата обращения: 20.08.2021).
7. Трущёв А. Г. Пространственные металлические конструкции: учебное пособие для вузов // Информационно-образовательный портал Totalarch. 1983. URL: http://books.totalarch.com/spatial_metal_structures (дата обращения: 23.08.2021).
8. RA.RU.AB86.H01187. Сертификат соответствия. Интегрированная система прочностного анализа и проектирования конструкций Structure CAD Office от 2019-08-08. М.: ООО ЦСПС, 2019.
9. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* (с Изменениями № 1, 2, 3, 4). Введ. 2017-06-17. М.: Стандартинформ, 2019.
10. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями № 1, 2, 3). Введ. 2017-06-04. М.: сайт Минстроя России, 2020.
11. Сobotka З. Висячие покрытия / пер. с чешского В. И. Агаджанов. М.: Стройиздат, 1964. 151 с. (заказ в межбиблиотечном абонементе Архангельской областной научной библиотеки № 105, дата заказа 31.03.2022 г.).
12. ГОСТ Р 57837-2017. Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия (с Поправкой, с Изменением № 1). Введ. 2018-06-01. М.: Стандартинформ, 2020.

ENGINEERING OF A LARGE-SPAN BUILDING OF THE MULTIFUNCTIONAL SPORTS COMPLEX "FAVORIT" IN ARKHANGELSK

Kuchin Maxim Valerievich, Konovalov Anatoly Yurievich, Labudin Boris Vasilievich

Lomonosov Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk

In the process of analyzing analog objects, their advantages and disadvantages are revealed and a comparative table is given, a rational coverage scheme is selected. A comparative analysis of three variants of the stabilization system of the applied membrane coating is performed. A finite element model was constructed, and calculations of the main load-bearing elements, such as the coating membrane, the support contour, the central and intermediate rings, the cable-stayed system and the critical coating nodes were performed both analytically and, in the software, and computing complex (SCAD Office), taking into account various static-geometric parameters and combinations of loads. The calculation of the building for progressive collapse is carried out, with the analogy of the Saint Petersburg SKK (Sports and Concert Complex) – switching off the connections of the membrane with the reference contour.

Keywords: *large-span building; membrane; finite element model; cables; wind loads; progressive collapse.*

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ. ИНЖЕНЕРИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 531.36

РЕАЛИЗАЦИЯ РЕКУРСИВНОГО АЛГОРИТМА ДИНАМИКИ ДЛЯ МНОГОТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С КИНЕМАТИЧЕСКИМИ ЦИКЛАМИ

Журавлев Евгений Алексеевич

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
ZhuravlevEA@volgatech.net

Представлено общее описание алгоритма формирования уравнений динамики системы сочлененных твердых тел, содержащей кинематические циклы. Алгоритм основан на рекурсивном методе решения задачи обратной динамики для древовидной подсистемы тел и использовании множителей Лагранжа для представления реакций идеальных связей, обеспечивающих существование циклов. Рассматривается пример программной реализации этого алгоритма для системы шарнирно сочлененных тел, включающей один кинематический цикл.

Ключевые слова: *система твердых тел; шарнирные сочленения; древовидная подсистема; кинематический цикл; рекурсивный алгоритм обратной динамики; множители Лагранжа; компьютерная реализация.*

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы».

Введение. Известно, что для системы связанных твердых тел с линейной и древовидной кинематической структурой существуют эффективные алгоритмы формирования дифференциальных уравнений динамики. В основе этих алгоритмов лежит рекурсивный метод решения обратной задачи динамики, т. е. расчет сил по заданным ускорениям тел системы. В предыдущих публикациях [1], [2] были детально описаны некоторые из подобных алгоритмов и их программная реализация.

В настоящей работе рассматривается система твердых тел, подчиненная идеальным геометрическим связям, которая включает замкнутые кинематические цепи (кинематические циклы). Подобные системы представляют значительный практический интерес. Например, каждое исполнительное звено, рассматриваемое совместно со звеньями механизма привода, составляет, как правило, замкнутую кинематическую цепь. Кинематические циклы периодически образуют опорные исполнительные звенья при ходьбе антропоморфных роботов, а также звенья промышленного робота при фиксации его конечного исполнительного звена.

В данной работе, как в публикациях [1] и [2], использовано традиционное для отечественной научной и учебной литературы описание динамических и кинематических

характеристик тел, в отличие от 6-мерной формализации [3], применяемой сегодня зарубежными авторами.

Цель работы – получить программную реализацию эффективного алгоритма решения динамических задач для системы связанных твердых тел, кинематическая структура которой включает кинематические циклы.

Решаемые задачи:

- 1) получить матричную форму условий замыкания кинематической цепи, входящей в систему связанных тел;
- 2) построить алгоритм вычисления обобщенных ускорений системы тел на основе рекурсивного метода, учитывая наличие кинематических циклов;
- 3) осуществить эффективную компьютерную реализацию и тестирование этих алгоритмов.

Математическое моделирование. Рассмотрим систему $N+1$ связанных твердых тел, одно из которых (базу) считаем неподвижным в инерциальной системе отсчета. Все сочленения тел, допускают их относительный поворот с одной степенью свободы и полагаются двухсторонними, стационарными, геометрическими, идеальными связями. В том случае, когда кинематическая структура системы имеет древовидную форму, число таких сочленений N_c должно быть равно N . Неравенство $N_c > N$ означает, что кинематическая схема системы включает замкнутые цепи (циклы). Если избавиться от «лишних» $N_z = N_c - N$ сочленений, можно получить систему тел с древовидной кинематической структурой, т. е. остовное дерево системы, а N_z сочленений рассматривать как дополнительные связи, наложенные на это дерево. Простейший пример подобного представления системы тел изображен на рисунке 1.

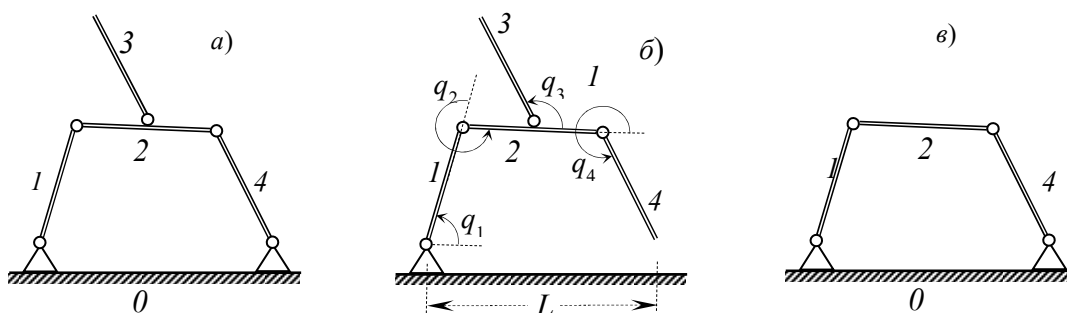


Рис. 1. Пример выделения в системе тел остовного кинематического дерева и цикла:
 а) исходная система тел ($N=4$); б) после удаления сочленения 4-0 система превращается в кинематическое дерево; в) подсистема тел 0, 1, 2, 4 образует кинематический цикл

Для остовного кинематического дерева системы тел уравнения динамики имеют вид [2]

$$\mathbf{A}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{G} = \mathbf{Q}. \quad (1)$$

Здесь $\mathbf{q} = (q_1 \ q_2 \ \dots \ q_N)^T$ – вектор обобщенных координат дерева;

$\mathbf{A}(\mathbf{q})$ – $N \times N$ матрица инерции дерева;

$\mathbf{G}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ и $\mathbf{Q}$ – N -мерные векторы гироскоростных членов и обобщенных заданных сил;

точками обозначены производные по времени.

Заметим, что для систем тел с древовидной кинематической структурой известны эффективные алгоритмы вычисления как матрицы $\mathbf{A}$, так и вектора $\mathbf{G}$. Некоторые из них были детально описаны в работах [1], [2].

Условия кинематического замыкания, которые, будучи наложены на остовное кинематическое дерево, обеспечат его кинематическую идентичность исходной системе тел, имеют вид

$$\varphi_i(\mathbf{q}) = 0, \quad i = 1, \dots, s, \quad (2)$$

где s – число уравнений, описывающих соответствующие стационарные, двухсторонние, геометрические связи.

Дифференцирование (2) по времени дает

$$\mathbf{K}(\mathbf{q})\dot{\mathbf{q}} = \mathbf{0}. \quad (3)$$

Здесь $\dot{\mathbf{q}} = (\dot{q}_1 \quad \dot{q}_2 \quad \dots \quad \dot{q}_N)^T$ – вектор обобщенных скоростей остовного дерева; $\mathbf{K}(\mathbf{q})$ – $s \times N$ матрица, элементы которой зависят лишь от обобщенных координат дерева.

После повторного дифференцирования (3) по времени получаем

$$\mathbf{K}\ddot{\mathbf{q}} = \mathbf{S}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}), \quad (4)$$

где $\mathbf{S} = -\dot{\mathbf{K}}(\mathbf{q})\dot{\mathbf{q}}$ – s -мерный вектор.

На основании аксиомы о связях, геометрические условия (2) можно реализовать, добавляя в обобщенные силы для остовного дерева добавочные члены, т. е. представляя

$$\mathbf{Q} = \mathbf{Q}_a + \mathbf{Q}_c, \quad (5)$$

где $\mathbf{Q}_a$ – вектор обобщенных сил, соответствующих заданным активным силам остовного дерева, а $\mathbf{Q}_c$ – вектор дополнительных обобщенных сил, обеспечивающих выполнение условий (2), т. е. вектор обобщенных реакций связей.

Как известно [3], условие идеальности связей (2) в обобщенных координатах представляется равенством

$$\mathbf{Q}_c \cdot \dot{\mathbf{q}} = 0, \quad (6)$$

где $\dot{\mathbf{q}}$ – вектор обобщенных скоростей, допускаемых связями (2), т. е. подчиняющийся уравнению (3).

Сравнивая (3) и (6) и, учитывая линейную независимость строк матрицы $\mathbf{K}$, можно представить вектор $\mathbf{Q}_c$ в виде линейной комбинации этих строк:

$$\mathbf{Q}_c = \mathbf{K}^T \boldsymbol{\lambda}. \quad (7)$$

Здесь $\boldsymbol{\lambda} = (\lambda_1, \dots, \lambda_s)^T$ – вектор независимых скалярных множителей (множители Лагранжа).

Объединяя равенства (1), (4), (5), (7), получаем систему уравнений

$$\begin{aligned} \mathbf{A}\ddot{\mathbf{q}} - \mathbf{K}^T \boldsymbol{\lambda} &= \mathbf{Q}_a - \mathbf{G}, \\ \mathbf{K}\ddot{\mathbf{q}} &= \mathbf{S}, \end{aligned}$$

которая в матричной форме принимает вид

$$\begin{pmatrix} \mathbf{A} & -\mathbf{K}^T \\ \mathbf{K} & \mathbf{0} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\mathbf{q}} \\ \boldsymbol{\lambda} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_a - \mathbf{G} \\ \mathbf{S} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Решение этой системы

$$\begin{bmatrix} \ddot{\mathbf{q}} \\ \boldsymbol{\lambda} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{A} & -\mathbf{K}^T \\ \mathbf{K} & \mathbf{0} \end{pmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_a - \mathbf{G} \\ \mathbf{S} \end{bmatrix}$$

дает нам вектор обобщенных ускорений $\ddot{\mathbf{q}}$ и вектор множителей $\boldsymbol{\lambda}$.

В заключение отметим, что линейная система (8) формируется и решается на каждом временном шаге явной схемы численного интегрирования динамических уравнений.

Алгоритм решения прямой задачи динамики для системы связанных тел с кинематическими циклами можно описать следующим образом.

1. Выбирается остовное кинематическое дерево системы, включающее все тела системы и только те из сочленений, которые не приводят к появлению кинематических циклов. Отметим, что возможны различные варианты выбора как остовного дерева системы, так и тел, составляющих циклы.

2. Для остовного дерева по известным в данный момент времени t векторам координат $\mathbf{q}$ и скоростей $\dot{\mathbf{q}}$ вычисляются элементы матрицы $\mathbf{A}$ и компоненты векторов $\mathbf{G}$ и $\mathbf{Q}_a$. Эти вычисления выполняются на основе рекурсивного алгоритма, описанного в работе [2].

3. Для кинематических циклов, входивших в исходную систему тел, но разорванных при выделении остовного дерева, записываются уравнения (2) и вычисляются матрица $\mathbf{K}$ и вектор $\mathbf{S}$ (эти вычисления в отличие от вычислений п. 2 в данной работе производились вручную).

4. Строится объединенная система линейных уравнений (7) и находится её решение $(\ddot{\mathbf{q}}, \boldsymbol{\lambda})$ матричным или любым другим из известных методов.

Найденный вектор обобщенных ускорений $\ddot{\mathbf{q}}$ используется для вычисления координат $\mathbf{q}$ и скоростей $\dot{\mathbf{q}}$ на следующем временном слое $t + \Delta t$.

Численная реализация. Вышеописанный алгоритм был программно реализован в среде Mathcad 7.0. Для численного интегрирования по времени использовалась встроенная функция **rkfixed**.

В качестве тестового примера выполнен расчет динамического поведения плоского механизма из четырех подвижных шарнирно-сочлененных звеньев под действием их собственных сил тяжести. Кинематическая схема механизма и его остовное кинематическое дерево, полученное удалением правого опорного шарнира, изображены на рис. 2.

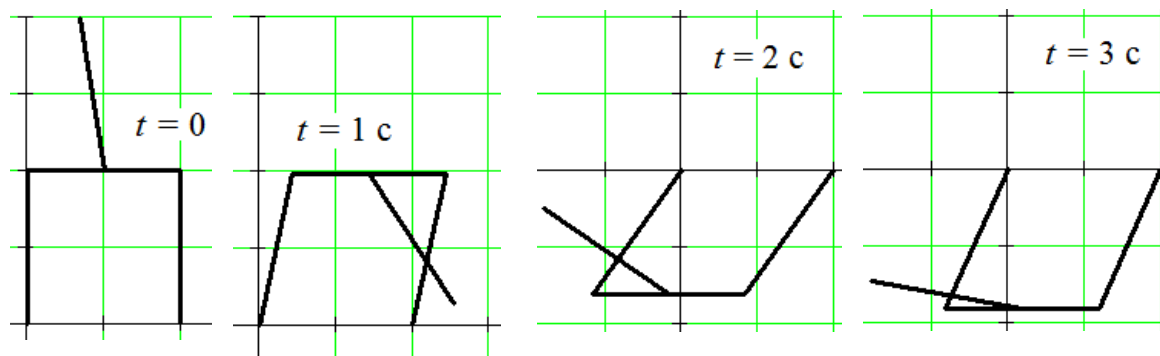


Рис. 2. Результаты численного моделирования движения плоского шарнирного пятизвенника с одним кинематическим циклом

Условия замыкания кинематической цепи из звеньев 0-1-2-4 имеют вид

$$\begin{cases} l_1 \cos q_1 + l_2 \cos(q_1 + q_2) + l_4 \cos(q_1 + q_2 + q_4) - L = 0, \\ l_1 \sin q_1 + l_2 \sin(q_1 + q_2) + l_4 \sin(q_1 + q_2 + q_4) = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Элементы матрицы $\mathbf{K}$ будут в этом случае

$$\begin{aligned} K_{11} &= -l_1 \sin q_1 - l_2 \sin(q_1 + q_2) - l_4 \sin(q_1 + q_2 + q_4), \\ K_{12} &= -l_2 \sin(q_1 + q_2) - l_4 \sin(q_1 + q_2 + q_4), K_{13} = 0, K_{14} = -l_4 \sin(q_1 + q_2 + q_4), \\ K_{21} &= l_1 \cos q_1 + l_2 \cos(q_1 + q_2) + l_4 \cos(q_1 + q_2 + q_4), \end{aligned}$$

$K_{22} = l_2 \cos(q_1 + q_2) + l_4 \cos(q_1 + q_2 + q_4)$, $K_{23} = 0$, $K_{24} = l_4 \cos(q_1 + q_2 + q_4)$,
а компоненты вектора $\mathbf{S}$:

$$S_1 = [l_1 \dot{q}_1 \cos q_1 + l_2 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2) \sin(q_1 + q_2) + l_4 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2 + \dot{q}_4) \sin(q_1 + q_2 + q_4)] \dot{q}_1 + \\ + [l_2 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2) \cos(q_1 + q_2) + l_4 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2 + \dot{q}_4) \cos(q_1 + q_2 + q_4)] \dot{q}_2 + \\ + l_4 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2 + \dot{q}_4) \cos(q_1 + q_2 + q_4) \dot{q}_4,$$

$$S_2 = [l_1 \dot{q}_1 \sin q_1 + l_2 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2) \sin(q_1 + q_2) + l_4 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2 + \dot{q}_4) \sin(q_1 + q_2 + q_4)] \dot{q}_1 + \\ + [l_2 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2) \sin(q_1 + q_2) + l_4 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2 + \dot{q}_4) \sin(q_1 + q_2 + q_4)] \dot{q}_2 + \\ + l_4 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2 + \dot{q}_4) \cos(q_1 + q_2 + q_4) \dot{q}_4.$$

Все звенья – одинаковые однородные стержни длиной 1 м, расстояние между опорными шарнирами $L = 1$ м.

Механизм начинает движение из состояния покоя

$$q_1 = 0.5\pi, q_2 = 1.5\pi, q_3 = 0.55\pi, q_4 = 0.5\pi.$$

Результаты численного решения представлены на *рис. 3*, где показаны конфигурации механизма в моменты времени $t = 0, 1, 2, 3$ с от начала движения.

При шаге интегрирования 0.05с, время счета составило 1,25 реального времени.

При тестировании алгоритма и программы был использован тот факт, что для принятых размеров $l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = L$ конфигурация системы определяется углами α и β , причем звено 2 движется поступательно, а звенья 1 и 4 синхронно вращаются вокруг неподвижных осей – осей Az и Bz соответственно (*рис. 3*). В обобщенных координатах α и β дифференциальные уравнения Лагранжа для такой системы могут быть легко выведены и имеют следующий вид:

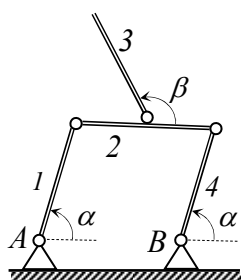


Рис. 3. Упрощенное описание конфигурации тестовой системы обобщенными координатами α и β

$$\begin{cases} \frac{8}{3} \ddot{\alpha} + \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta) \ddot{\beta} = -\frac{1}{2} \sin(\alpha - \beta) \dot{\beta}^2 - \frac{3g}{L} \cos \alpha, \\ \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta) \ddot{\alpha} + \frac{1}{3} \ddot{\beta} = \frac{1}{2} \sin(\alpha - \beta) \dot{\alpha}^2 - \frac{g}{2L} \cos \beta. \end{cases} \quad (10)$$

Численное интегрирование системы дифференциальных уравнений (10) при начальных условиях

$$\alpha = 0.5\pi, \beta = 0.55\pi, \dot{\alpha} = \dot{\beta} = 0$$

было выполнено также с помощью функции **rkfixed** среды Mathcad 7.0. Сравнение результатов расчетов представлено на *рис. 4*, где изображено изменение разности Δ значений угла α , найденных при численном интегрировании системы (10) и значений угла q_1 , полученных с помощью вышеописанного алгоритма 1-4.

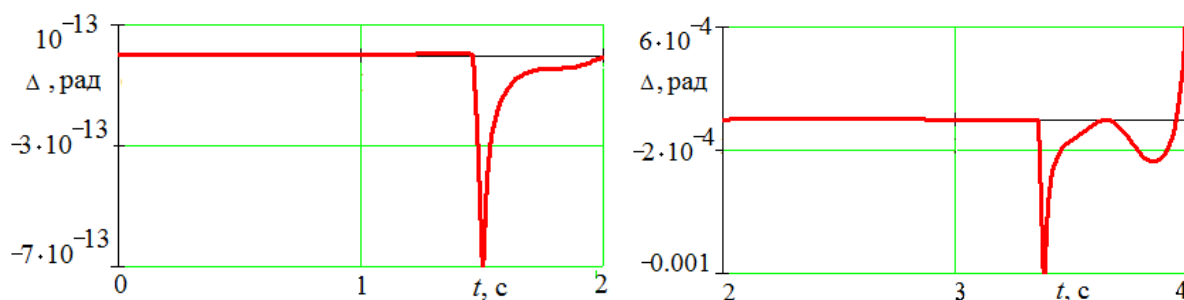


Рис. 4. Изменение разности $\Delta(t) = \alpha(t) - q_1(t)$ значений угловой координаты, полученных при шаге интегрирования 0,05с

Характер наблюдаемых на графиках расхождений явно обусловлен погрешностями численного решения и свидетельствует о работоспособности представленного алгоритма 1–4.

Выводы

1. Описан алгоритм формирования динамических уравнений системы сочлененных твердых тел, включающей замкнутые кинематические цепи.
2. Программная реализация и апробация представленного алгоритма подтверждают его эффективность.

Список литературы

1. Журавлев Е. А. Реализация рекурсивных алгоритмов динамики для механизмов с линейной кинематической структурой // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Технологическая. № 7. 2019. С. 160–166.
2. Журавлев Е. А. Реализация рекурсивных алгоритмов динамики для механизмов с линейной кинематической структурой // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Технологическая. № 8. 2020. С. 118–122.
3. Featherstone R. Rigid body dynamics algorithms // Springer Science+Business Media, 2008. 272 с.

REALIZATION OF RECURSIVE DYNAMICS ALGORITHM FOR MULTIBODY SYSTEM WITH KINEMATIC CYCLES

Zhuravlev Evgeniy Alekseyevich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

Universal description of the algorithm for generating the dynamic equations of a system of articulated rigid bodies containing kinematic cycles is represented. The algorithm is based on a recursive method for solving the inverse dynamic problem for a dendritic subsystem and using Lagrange multipliers to represent of constraining forces that provide the existence of cycles. An example of a software implementation of this algorithm for a system of articulated bodies, including one kinematic cycle, is considered.

Keywords: system of solids; rotational joints; dendritic subsystem; kinematic cycle; inverse dynamics recursive algorithm; Lagrange multipliers; computer realization.

УДК 627.882

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ КАК ЭЛЕМЕНТ ОХРАНЫ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ

Обухов Александр Геннадьевич, Введенский Олег Германович

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола
VvedenskyOG@volgatech.net

Рассматривается проблема рационального использования и охраны водных ресурсов как элемента охраны природной среды с позиции экологии и права. Приведен краткий анализ использования водных ресурсов в Марий Эл за последнее двадцатилетие. Анализируются особенности заключения договора водопользования.

Ключевые слова: водные ресурсы; рациональное использование водных ресурсов; охрана водных ресурсов; договор водопользования.

Введение. Сложившийся уровень антропогенного загрязнения является одной из основных причин, вызывающих деградацию рек, озёр, водохранилищ, ухудшение качества их вод. В связи с этим в Республике Марий Эл необходимо значительным образом уделить внимание охране и восстановлению водных объектов [1]. Здесь следует отметить, что охрана водных ресурсов должна осуществляться как минимум по двум направлениям: с позиции экологии и права.

Решение обозначенной проблемы. Для предотвращения загрязнения, засорения и истощения водных объектов, уменьшения воздействия на них рассредоточенного (диффузного) стока с сельскохозяйственных и селитебных территорий, а также сохранения среды обитания водных биологических ресурсов необходимо выполнить ряд мероприятий [1, 2]:

- работы по расчистке русел рек и закреплению на местности границ водоохранных зон и прибрежных защитных полос рек и озёр специальными информационными знаками;
- модернизацию очистных сооружений и промышленных предприятий с внедрением прогрессивных технологий и оборудования;
- ликвидационный тампонаж или временную консервацию бесхозных и бездействующих скважин;
- шире привлекать общественность и жителей республики к работе по очистке от мусора берегов рек и озёр, а также по благоустройству родников;
- выделение ряда водных объектов республики и окружающих их природных комплексов в особо охраняемые природные территории (ООПТ), которые выполняют важную роль в сохранении биологического разнообразия экосистем, эталонов природной среды, поддержания экологического равновесия.

В настоящее время в Республике Марий Эл выделены семь категорий ООПТ: Государственный природный заповедник «Большая Кокшага» и Национальный парк «Марий Чодра» – федерального значения; государственные заказники, памятники природы, санаторно-курортные зоны – республиканского значения; а также городские леса – муниципального значения; к особо охраняемым водным объектам республики относятся государственные заказники «Марьёрский» и «Тогашевский».

Заказник «Марьёрский» расположен на озёрах Большой и Малый Марьёры и создан для сохранения реликтового растения – водяного ореха (чилима), занесённого в Красную книгу России и ряда других стран. Заказник «Тогашевский» известен, прежде всего, популяцией длиннопалого рака, обитающего в одноимённом озере.

Самую многочисленную категорию ООПТ представляют в республике памятники природы. Из них к водным (озёрным) относятся 19 объектов. Наиболее ценными являются озёра: Яльчик, Кичиер, Нужьяр, Карасьяр, Таир, Лисичкино, Марьёр, Табашинское, Светлое, Кумъяры [2].

Из 21 комплексного памятника природы значительную часть (13) составляют заболоченные лесные торфяники – ягодники, имеющие большое водоохранное значение, такие как болота Куплонгское, Большеозёрское и Подвесное.

К зоологическим памятникам природы относятся болота Железное и Берёзовое, на которых охраняются колонии редких и ценных водоплавающих птиц.

В памятники природы выделены две лесные речки – Ирека и Шуйка – для охраны европейского хариуса – редкого вида рыб в нашей республике [2].

В целях сохранения уникальных природных ландшафтов и создания необходимых условий для лечения и отдыха озёрам Шап, Таир, Карась и прилегающим к ним территориям придан статус санаторно-курортных зон.

Кроме того, важнейшую роль в охране природной среды играет рациональное использование водных ресурсов. В Республике Марий Эл водные ресурсы используются в основном для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, сброса сточных вод и рекреации.

Помимо того, в деле рационального использования водных ресурсов не менее важную роль играет нормативно-правовое регулирование эксплуатации водных объектов, в том числе и заключение договоров водопользования.

Некоторые особенности заключения договора водопользования. Согласно статье 8 Водного кодекса Российской Федерации (далее – ВК РФ) [3], поверхностные водные объекты находятся в собственности Российской Федерации за исключением некоторых видов искусственных водных объектов – прудов или обводнённых карьеров, которые могут быть собственностью субъекта РФ, муниципального образования, физического или юридического лица. Это означает, что реки, ручьи, озёра и водохранилища на водотоках находятся в федеральной собственности, а их приватизация и купля-продажа запрещены.

В связи с этим физические и юридические лица могут приобретать только право пользования поверхностными водными объектами для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, производства электроэнергии, орошения, водоотведения, рекреации и в других целях, предусмотренных ВК РФ. Осуществление перечисленных видов деятельности, а также строительство и реконструкция различных водохозяйственных систем на реках, озёрах, водохранилищах Российской Федерации возможно лишь после получения права пользования водными объектами на основании договора водопользования либо решения о предоставлении водного объекта в пользование. При этом данное право в рамках законодательства Российской Федерации не должно нарушать права граждан на доступ к водным объектам общего пользования и сочетаться с правовым регулированием собственности на земельные участки, прилегающие к водным объектам.

Договор водопользования может быть заключён:

✓ по результатам аукциона (постановление Правительства РФ от 14.04.2007 г. № 230 «О договоре водопользования, право на заключение которого приобретается на аукционе, и о проведении аукциона») [4, 5];

✓ без проведения аукциона в случае приобретения права пользования водным объектом в целях, предусмотренных пунктами 1 или 3 части 2 статьи 11 ВК РФ, а также в случаях, установленных статьями 15, 47, 49 и 50 ВК РФ (часть 2 статьи 16 ВК РФ) [3].

Подготовка и заключение договоров водопользования, заключаемых без аукциона, регламентируются постановлением Правительства РФ от 12.03.2008 г. № 165 «О подготовке и заключении договора водопользования», которым утверждены «Правила подготовки и заключения договора водопользования» (далее – Правила, утверждённые постановлением 165) [4].

Одним из принципов, на которых основывается водное законодательство РФ, является равный доступ физических и юридических лиц к приобретению права пользования водными объектами (пункт 7 статьи 3 ВК РФ), за исключением отдельных случаев, предусмотренных водным законодательством [3]. Так, например, водопользователь (физическое или юридическое лицо, обладающее правом пользования водным объектом) имеет преимущественное перед другими лицами право на заключение договора

водопользования на новый срок без проведения аукциона (статья 15 ВК РФ) [3]. В этом случае обязательными условиями для заключения нового договора являются следующие:

- ✓ заключение истекающего договора водопользования без аукциона;
- ✓ исполнение водопользователем всех своих обязанностей по истекающему договору водопользования в течение всего срока его действия;
- ✓ уведомление в письменной форме водопользователем исполнительного органа государственной власти о желании заключить договор водопользования на новый срок не позднее, чем за три месяца до окончания срока действия истекающего договора.

При подготовке и заключении нового договора водопользования без проведения аукциона его прежние условия могут быть изменены, в частности, указаны новые цели водопользования, которые должны строго соответствовать перечисленным в п. 1 Правил, утверждённых постановлением 165 (с изменениями от 30.03.2018 г.; постановление Правительства РФ от 20.03.2018 г. № 306) [4]:

а) забор (изъятие) водных ресурсов из водных объектов в соответствии с частью 3 статьи 38 ВК РФ [3];

б) использование акватории водных объектов, необходимой для эксплуатации судоремонтных и судостроительных сооружений и занятой гидротехническими сооружениями;

в) использование акватории водных объектов для лечебных и оздоровительных целей санаторно-курортными организациями;

г) использование акватории водных объектов для эксплуатации пляжей правообладателями земельных участков, находящихся в государственной или муниципальной собственности и расположенных в границах береговой полосы водного объекта общего пользования, а также для рекреационных целей физкультурно-спортивными организациями, туроператорами или турагентами, осуществляющими свою деятельность в соответствии с федеральными законами, организованного отдыха детей, ветеранов, граждан пожилого возраста, инвалидов;

д) производство электрической энергии без забора (изъятия) водных ресурсов из водных объектов.

То есть в настоящее время в соответствии с Правилами, утверждёнными постановлением 165 [4], можно заключать договоры водопользования без проведения аукциона и, соответственно, регистрировать их в государственном водном реестре (далее – ГВР) только в вышеперечисленных целях. Данное обстоятельство не всегда учитывается водопользователями и исполнительными органами государственной власти при подготовке и заключении договоров водопользования на новый срок.

Пример. В 2009 г. АО «М» заключило с исполнительным органом государственной власти субъекта РФ (далее – уполномоченный орган) договор водопользования без проведения аукциона сроком на 10 лет. По условиям Договора от 2009 г. уполномоченный орган предоставил, а АО «М» приняло в пользование часть акватории озера на территории субъекта РФ с целью водопользования – использование акватории для рекреации. В 2019 г. в соответствии со статьёй 15 ВК РФ [3] АО «М», надлежащим образом исполнявшее свои обязанности, направило в уполномоченный орган уведомление о намерении заключить договор водопользования на новый срок без проведения процедуры аукциона за три месяца до окончания действия Договора от 2009 г.

В заявлении и Новом договоре о предоставлении в пользование водного объекта была указана цель водопользования – использование акватории водного объекта. Кроме того, в целях подтверждения преимущественного права АО «М» на заключение дого-

вора водопользования, в скобках была указана цель водопользования по ранее предоставленному праву пользования на основании Договора от 2009 г., – использование акватории для рекреации. Данная ссылка, по мнению АО «М», была необходима в связи с тем, что на момент заключения Договора от 2009 г., пунктом 2 части 1 статьи 11 ВК РФ (в редакции от 23.07.2008 г.) [3] предусматривалось предоставление водных объектов в пользование на основании договоров водопользования для использования акватории водных объектов, в том числе для рекреационных целей.

По результатам рассмотрения заявления и представленных документов уполномоченным органом было принято решение о предоставлении АО «М» права пользования водным объектом. На основании статьи 15 ВК РФ [3] и Правил, утверждённых постановлением 165 [4], уполномоченным органом подготовлен Новый договор водопользования, который был подписан сторонами в установленные сроки и направлен в отдел водных ресурсов бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов (далее – Отдел водных ресурсов) для регистрации в ГВР.

Частью 3 статьи 12 ВК РФ [3] установлено, что договор водопользования признаётся заключённым с момента его государственной регистрации в ГВР, ведение которого осуществляет Федеральное агентство водных ресурсов.

В соответствии с ВК РФ и Постановлением Правительства РФ от 28.04.2007 г. № 253 «О порядке ведения государственного водного реестра» форму ГВР и правила оформления государственной регистрации в ГВР договоров водопользования утверждает Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации.

Последовательность действий Федерального агентства водных ресурсов и его территориальных органов по оформлению государственной регистрации в ГВР договоров водопользования определяют «Правила оформления государственной регистрации в государственном водном реестре договоров водопользования, решений о предоставлении водных объектов в пользование, перехода прав и обязанностей по договорам водопользования, прекращения договоров водопользования», утверждённые приказом МПР РФ от 22.08.2007 г. № 216 с изменениями от 13.06.2018 г. (далее – Правила регистрации).

Согласно пункту 5 Правил регистрации, орган регистрации (Отдел водных ресурсов) осуществляет проверку документов, представляемых на государственную регистрацию в ГВР, на предмет их соответствия требованиям законодательства РФ, включая проверку на соответствие заявленной цели водопользования планируемого использования водного объекта целям и случаям, установленным частями 2, 3 статьи 11, частью 1 статьи 15, частями 1, 2 статьи 16 ВК РФ [3].

Проверка Нового договора, проведённая Отделом водных ресурсов, показала, что указанная в договоре водопользования и в заявлении цель водопользования планируемого использования водного объекта – «Использование акватории водного объекта (использование акватории для рекреации (по ранее предоставленному праву пользования))» не соответствует целям и случаям, установленным частью 2 статьи 11, частями 1, 2 статьи 16 ВК РФ [3], а также пункту 1 Правил, утверждённых постановлением 165 [4].

Уполномоченный орган и АО «М» при подготовке договора водопользования проигнорировали эту очевидную область правоприменения Правил, утверждённых постановлением 165 [4], использовав их устаревшую, а значит уже не действующую редакцию.

Согласно пункту 9 Правил регистрации, «в случае установления несоответствия представленных на государственную регистрацию документов требованиям законода-

тельства Российской Федерации, указанных в пункте 5 настоящих Правил, органом регистрации направляется мотивированный отказ в государственной регистрации представленных на государственную регистрацию документов». На основании этого Отделом водных ресурсов отказано в государственной регистрации Нового договора. Представленный на государственную регистрацию комплект документов возвращён в уполномоченный орган.

Кроме того, необходимо отметить, что установленное несоответствие не позволяет выполнить техническую процедуру регистрации договора водопользования в АС «Водопользование» по причине отсутствия указанной в договоре водопользования цели водопользования в перечне кодов целей использования водных объектов (пункт 12 Правил регистрации).

Следствием неверно указанной цели водопользования явилось также согласование уполномоченным органом проекта условий использования водного объекта только с одним органом из перечня, приведённом в пункте 22 Правил, утверждённых постановлением 165 – Федеральным агентством по рыболовству. Получение ещё как минимум двух обязательных согласований уполномоченным органом не было даже инициировано.

АО «М» не согласилось с правомочностью отказа в регистрации в ГВР Нового договора, сочтя его необоснованным, нарушающим права и законные интересы водопользователя в сфере осуществления предпринимательской деятельности и обратилось в Арбитражный суд с заявлением, в котором, в частности, говорится:

- признать недействительным отказ в регистрации договора водопользования;
- обязать Отдел водных ресурсов устранить допущенные нарушения прав и законных интересов АО «М» путём регистрации договора водопользования в установленный законом срок с момента вступления решения в законную силу.

В отзыве на исковое заявление АО «М» Отдел водных ресурсов аргументированно доказал свою правовую позицию, указав (дополнительно к вышеизложенному) на следующее. Статья 50 ВК РФ («Использование водных объектов для рекреационных целей») содержит исчерпывающий перечень условий, при которых использование водных объектов допускается на основании договора водопользования, заключаемого без проведения аукциона, а именно: использование акватории водных объектов, необходимой для эксплуатации пляжей правообладателями земельных участков, находящихся в государственной или муниципальной собственности и расположенных в границах береговой полосы водного объекта общего пользования, а также для рекреационных целей физкультурно-спортивными организациями, туроператорами или турагентами, осуществляющими свою деятельность в соответствии с федеральными законами, организованного отдыха детей, ветеранов, граждан пожилого возраста, инвалидов.

То есть уполномоченный орган имел возможность на законных основаниях без проведения процедуры аукциона подготовить и заключить договор водопользования с АО «М» в соответствии с подпунктом г) пункта 1 Правил, утверждённых постановлением 165 [4, 6, 7]. При этом АО «М» как водопользователь на будущее сохранило бы за собой преимущественное перед другими лицами право на заключение договора водопользования на новый срок, поскольку договор водопользования был заключён согласно статье 50 ВК РФ без проведения аукциона [3].

В итоге заявитель (АО «М») в предварительном судебном заседании представил ходатайство об отказе от требований и просил прекратить производство по делу. Ответчик (Отдел водных ресурсов) и третье лицо (уполномоченный орган) не возражали

против прекращения производства по делу. Рассмотрев заявление об отказе от требований, арбитражный суд счёл необходимым прекратить производство по делу.

В дальнейшем был подготовлен, подписан, представлен в Отдел водных ресурсов и зарегистрирован в ГВР договор водопользования между уполномоченным органом и АО «М» с новой легитимной целью водопользования – «Использование акватории водных объектов для эксплуатации пляжей правообладателями земельных участков, находящихся в государственной или муниципальной собственности и расположенных в границах береговой полосы водного объекта общего пользования», соответствующей целям и случаям, установленным частью 2 статьи 11, частями 1, 2 статьи 16 ВК РФ [3].

Выводы

Краткий анализ использования водных ресурсов в Марий Эл за последнее двадцатилетие позволяет сделать следующие выводы.

1. В связи с внедрением прогрессивных водосберегающих технологий, увеличением объёмов оборотного и повторно-последовательного водоснабжения, установкой приборов учёта на предприятиях и населением, сокращение поголовья скота и поливных площадей объём забора свежей воды в 2021 г. составил 69,85 млн м³ – минимальное значение с 2000 года. При этом за последние 20 лет, неуклонно уменьшаясь, он сократился на 55,20 млн м³ (44,1 %).

2. С 2000 г. один из главных показателей рационального водопользования – объём воды в системах оборотного и повторно-последовательного водоснабжения – увеличился на 71,69 млн м³ (48,1 %). И в 2021 г. он в 3,1 раза (315,9 %,) превысил годовой объём забора воды (на 150,8 млн м³).

3. При уменьшении забора воды их объём также должен сокращаться. И действительно, за последние 20 лет сброс сточных вод в поверхностные водные объекты уменьшился на 32,65 млн м³ (39,1 %). При этом сброс загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты республики (без сухого остатка) сократился на 11,88 тыс. т (63,35 %).

4. Качественную питьевую воду потребляют 98,7 % жителей республики.

5. Тем не менее в рациональном использовании водных ресурсов республика имеет весьма значительные резервы. Так, потери воды при транспортировке в 2020 г. составили 2,33 млн м³ (3,3 % от объёма забранной воды). Для сравнения, это примерно месячный объём подземной воды, потребляемый г. Йошкар-Ола.

6. Действующее водное законодательство РФ в полной мере защищает права добросовестных водопользователей, обеспечивая, в частности, их преимущественное перед другими лицами право на заключение договора водопользования на новый срок без проведения аукциона.

Таким образом, приведённые цифры убедительно свидетельствуют о том, что переход Республики Марий Эл в области водного хозяйства к современной ресурсосберегающей экономике в целом состоялся, использование водных ресурсов осуществляется эффективно. А это в совокупности с вышеперечисленными практическими мероприятиями по охране и реабилитации водных объектов вносит существенный вклад в сохранение и улучшение природной среды Марийского края.

Список литературы

1. Введенский О. Г. Рыбоохранный комплекс гидроузла // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2013. № 4. С. 67–81.
2. Республика Марий Эл. Водные ресурсы. Нижний Новгород: Деловая полиграфия, 2012. 96 с.

3. Водный кодекс Российской Федерации: федер. закон Рос. Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 12.04.2006 г.: одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 26.05.2006 г. (в ред. от 01.05.2022 г.). М.: Проспект, 2022. 52 с.
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 12 марта 2008 г. № 165 «О подготовке и заключении договора водопользования». М.: Проспект, 2008.
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 14 апреля 2007 г. № 230 «О договоре водопользования, право на заключение которого приобретается на аукционе, и о проведении аукциона». М.: Проспект, 2007.
6. Приказ Минприроды Российской Федерации от 23 апреля 2008 г. № 102 «Об утверждении формы заявления о предоставлении водного объекта в пользование». М.: Проспект, 2008.
7. Приказ Минприроды Российской Федерации от 22 октября 2018 г. № 533 «Об утверждении формы заявления о предоставлении акватории водного объекта в пользование». М.: Проспект, 2018.

RATIONAL USE OF WATER RESOURCES AS AN ELEMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION IN THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF MARI EL

Obuhov Aleksandr Gennadeevich, Wwedenskiy Oleg Germanovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The problem of rational use and protection of water resources as an element of environmental protection from the perspective of ecology and law is considered. A brief analysis of the use of water resources in Mari El over the last twenty years is given. The features of concluding a water use agreement are analyzed.

Key words: water resources; rational use of water resources; protection of water resources; water use agreement.

УДК 330.356.7; 621.311.21

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОУЗЛОВ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФУНКЦИЙ

Поздеев Анатолий Геннадиевич, Кузнецова Юлия Анатольевна

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
PozdeevAG@volgatech.net

На основе мультипликативных функций типа Кобба–Дугласа рассмотрен исторический пример, связанный с анализом обобщенных технико-экономических показателей работы гидроэлектрических станций по пятилетним периодам с 1951 по 1970 гг. Произведен анализ процесса среднемноголетней выработки электрической энергии в зависимости от числа учтенных ГЭС, установленной мощности и капиталовложений в терминах теории производственных функций. В результате статистической обработки данных методом наименьших квадратов для множественной регрессии определены коэффициенты уравнения мультипликативной функции в среде Mathcad. Установлены предельные нормы замещения отдельных факторов, эластичности производственных функций, вооруженности ресурсов и показатели изокванты приращения одного ресурса при изменении другого. Предложенная методика позволила уста-

новить иерархию значимости факторов, влияющих на рост среднесрочной выработки электрической энергии.

Ключевые слова: гидросистема; предельные показатели; мультипликативные функции Кобба–Дугласа; метод наименьших квадратов; множественная регрессия; предельная норма замещения; эластичность производственных функций; интенсивность освоения ресурсов; показатели изокванты; Mathcad.

Введение. Оценка эффективности работы гидроузлов может быть выполнена на основе анализа предельных дифференциальных показателей. При этом главной задачей оценки эффективности защиты гидроузлов от сочетания неблагоприятных факторов является предельный анализ производственных функций [3, 6].

Производственные функции представляют собой модели, устанавливающие зависимость между результатами воздействия совокупности факторов от степени их воздействия [3, 4]. Обобщенную производственную функцию можно определить как связь между уровнем результата воздействия Y и темпом изменения влияющих факторов X [2].

При этом возникают проблемы выбора системы включаемых в модель переменных, общей структуры модели, включая число уравнений связей между переменными, наилучшей аппроксимации производственной функции [5].

Математическое моделирование. Оценка эффективности работы гидроузлов связана с необходимостью учета взаимозаменяемости влияющих факторов. Наиболее эффективным подходом к решению задачи следует считать предельный анализ производственных функций [2, 3].

Для зависимости между переменными вида $Y_j = f(X_i)$ средняя величина равна отношению $\frac{Y_j}{X_i}$, а предельная – производной $\frac{dY_j}{dX_i}$ [2, 3]. Если используемая функция имеет вид $y = a \cdot x^b$, где a и b – некоторые постоянные, то ее предельное значение равно $\frac{dy}{dx} = a \cdot b \cdot x^{b-1}$ и отношение $\frac{y}{x}$ пропорционально предельному значению $\frac{dy}{dx}$, где коэффициент пропорциональности равен $b = \frac{dy}{dx} \cdot \frac{x}{y}$. В теории функций Кобба–Дугласа величина b принимается равной коэффициенту эластичности E [3, 4].

Таблица 1

Обобщенные технико-экономические показатели гидроэлектростанций

Год	Среднесрочная выработка электроэнергии, Y_j , млрд кВт·ч	Число учтенных ГЭС, X_{1j} , ед.	Установленная мощность, X_{2j} , МВт	Капиталовложения, X_{3j} , млн р.
1951–1955	28,8 / 3,36	31 / 3,434	6,46 / 1,866	2 986 / 7,896
1956–1960	19,9 / 2,991	16 / 2,773	4,94 / 1,597	1 530 / 7,333
1961–1965	34,0 / 3,526	18 / 2,89	8,28 / 2,114	1 639 / 7,461
1966–1970	40,2 / 3,694	17 / 2,833	11,02 / 2,4	2 692 / 7,898

Примечание. В знаменателе приведены логарифмы показателей.

Исходные данные. Рассмотрим пример, связанный с анализом технико-экономических показателей работы гидроэлектрических станций по пятилетним периодам с 1951 по 1970 годы (см. табл. 1) [1].

Введем обозначения:

Y_j – среднесуточная выработка электрической энергии (производственная функция), млрд кВт·ч;

X_{1j} – число учтенных ГЭС, ед.;

X_{2j} – установленная мощность, МВт;

X_{3j} – капиталовложения, млн р.

Используя для статистической обработки данных метод наименьших квадратов, вычислим коэффициенты уравнения в среде Mathcad [7].

В качестве функции отклика выступает среднесуточная выработка электрической энергии, млрд кВт·ч $Y = a \cdot X_1^b \cdot X_2^c \cdot X_3^d$.

Вектор оценок коэффициентов регрессии по методу наименьших квадратов определяется матричным произведением $s = (X^T X)^{-1} X^T Y$.

Начальный индекс матричных элементов принят равным единице ORIGIN:=1.

Матрица с переменными X_j вводится из внешнего текстового файла

$$X := \begin{matrix} \text{...}\backslash\text{Таблица X.txt} \end{matrix} ; X = \begin{pmatrix} 31 & 6.46 & 2986 \\ 16 & 4.94 & 1530 \\ 18 & 8.28 & 1639 \\ 17 & 11.02 & 2692 \end{pmatrix}.$$

Далее формируется матрица логарифмов независимых переменных $\ln X_j$. Единичный вектор-столбец имеет вид $\ln X_1 := (1 \ 1 \ 1 \ 1)^T$, добавляется к матрице с переменными $\ln X_j$ $\ln X := \text{augment}(\ln X_1, \ln X)$. Затем вводится вектор функции отклика

$$Y := \begin{matrix} \text{...}\backslash\text{Таблица Y.txt} \end{matrix}.$$

Далее формируется вектор логарифмов функции отклика, определяется транспонированная матрица $\ln X^T$ и производится скалярное перемножение матриц $(\ln X^T \ln X)$.

Произведение матриц аргументов и отклика имеет вид

$$(\ln X^T \cdot \ln Y)^T = (13.571 \ 40.488 \ 27.366 \ 103.946).$$

В результате вычисляется обратная матрица найденного произведения $(\ln X^T \cdot \ln Y^T)^{-1}$.

Вектор оценок коэффициентов регрессии равен

$$\underline{s} := (\ln X^T \cdot \ln X)^{-1} \cdot \ln X^T \cdot \ln Y = \begin{pmatrix} 1.828 \\ 0.35 \\ 0.982 \\ -0.188 \end{pmatrix}.$$

Результаты расчетов

Уравнение множественной регрессии записывается как

$$\ln Y := s_1 + s_2 \cdot \ln X_{1j} + s_3 \cdot \ln X_{2j} + s_4 \cdot \ln X_{3j}.$$

Логарифм уравнения производственной функции имеет вид

$$\ln Y \text{ float,4} \rightarrow 0.3505 \cdot \ln X_{1j} + 0.9822 \cdot \ln X_{2j} + -0.1879 \cdot \ln X_{3j} + 1.828.$$

После потенцирования следует $Y := s_1 \cdot X_{1j}^{s_2} \cdot X_{2j}^{s_3} \cdot X_{3j}^{s_4}$.

Мультипликативный полином при подстановке численных значений имеет вид

$$Y \text{ float,4} \rightarrow \frac{1.828 \cdot X_{1j}^{0.3505} \cdot X_{2j}^{0.9822}}{X_{3j}^{0.1879}}.$$

Предельной эффективностью ресурса является мера влияния приращения X_i ресурса i на интенсивность результата Y_j вида j , имеющая вид $\Theta_{ij} = \left(\frac{\partial Y_j}{\partial X_i} \right)_{l=\text{const}}$.

Многофакторная функция дифференциальной эффективности от первого аргумента X_{1j}

$$\Theta_{1j}(X_{1j}) := \frac{d}{dX_{1j}}(Y(X_{1j})) \text{ float,3} \rightarrow \frac{0.641 \cdot X_{2j}^{0.982}}{X_{1j}^{0.65} \cdot X_{3j}^{0.188}}.$$

Однофакторная функция дифференциальной эффективности от первой переменной X_{1j} (см. рис. 1)

$$Y(X_{1j}) := s_1 \cdot X_{1j}^{s_2}; \quad \Theta_{1j}(X_{1j}) := \frac{d}{dX_{1j}}(Y(X_{1j})).$$

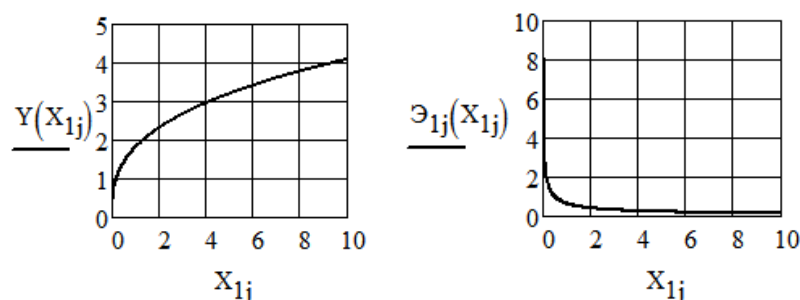


Рис. 1. Однофакторная зависимость функции отклика Y и дифференциальной эффективности Θ_{1j} от первой независимой переменной X_{1j}

Многофакторная функция дифференциальной эффективности от второй переменной X_{2j}

$$\Theta_{2j}(X_{2j}) := \frac{d}{dX_{2j}}(Y(X_{2j})) \text{ float},4 \rightarrow \frac{1.795 \cdot X_{1j}^{0.3505}}{X_{2j}^{0.01779} \cdot X_{3j}^{0.1879}}.$$

Однофакторная функция дифференциальной эффективности от второй переменной X_{2j}

$$\Theta_{2j}(X_{2j}) := \frac{d}{dX_{2j}}(Y(X_{2j})) \text{ float},4 \rightarrow \frac{1.795}{X_{2j}^{0.01779}}.$$

Многофакторная функция дифференциальной эффективности от третьей переменной X_{3j}

$$\Theta_{3j}(X_{3j}) := \frac{d}{dX_{3j}}(Y(X_{3j})) \text{ float},3 \rightarrow -\frac{0.344 \cdot X_{1j}^{0.35} \cdot X_{2j}^{0.982}}{X_{3j}^{1.19}}.$$

Однофакторная функция дифференциальной эффективности от третьей переменной X_{3j}

$$\Theta_{3j}(X_{3j}) := \frac{d}{dX_{3j}}(s_1 \cdot X_{3j}^{s_4}) \text{ float},4 \rightarrow -\frac{0.3435}{X_{3j}^{1.188}}.$$

Предельной нормой замещения является величина Γ_{kr} , характеризующая количество X_r r -го ресурса, необходимого для замещения X_k k -го ресурса при сохранении заданной постоянной интенсивности результата $Y_j = \text{const}$.

$$\Gamma_{kr} = \left(\frac{\partial X_r}{\partial X_k} \right)_j = \frac{\partial Y_j}{\partial X_k} / \frac{\partial Y_j}{\partial X_r} = \frac{\Theta_{kj}}{\Theta_{rj}},$$

где Θ_{rj} , Θ_{kj} – предельные дифференциальные эффективности ресурсов r и k равны

$$\Theta_{rj} = \left(\frac{\partial Y_j}{\partial X_r} \right)_{l=\text{const}}; \quad \Theta_{kj} = \left(\frac{\partial Y_j}{\partial X_k} \right)_{l=\text{const}}.$$

Рассматривая характер замещения ресурса X_{1j} на ресурс X_{2j} , ресурса X_{1j} ресурсом X_{3j} , ресурса X_{2j} ресурсом X_{3j} запишем соответственно:

$$\Gamma_{12} := \frac{\Theta_{2j}(X_{2j})}{\Theta_{1j}(X_{1j})} \text{ float},4 \rightarrow \frac{2.802 \cdot X_{1j}^{0.6495}}{X_{2j}^{0.01779}}; \quad \Gamma_{13} := \frac{\Theta_{3j}(X_{3j})}{\Theta_{1j}(X_{1j})} \text{ float},4 \rightarrow -\frac{0.5361 \cdot X_{1j}^{0.6495}}{X_{3j}^{1.188}};$$

$$\Gamma_{23} := \frac{\Theta_{3j}(X_{3j})}{\Theta_{2j}(X_{2j})} \text{ float},4 \rightarrow -\frac{0.1914 \cdot X_{2j}^{0.01779}}{X_{3j}^{1.188}}.$$

Предельную норму замещения можно записать как $\Gamma_{kr} = \frac{E_{kj}}{E_{rj}} \cdot \Phi_{kr}$,

где $\Phi_{kr} = \frac{X_r}{X_k}$ – вооруженность ресурса k за счет ресурса r .

Предельная норма замещения ресурса X_{1j} ресурсом X_{2j} равна

$$\Gamma_{12} := \begin{cases} I \leftarrow \text{rows}(X_1) \\ J \leftarrow \text{cols}(X_1) \\ \text{for } i \in 1..I \\ \quad \text{for } j \in 1..J \\ \quad \quad \Gamma_{12_{i,j}} \leftarrow \Theta_{1j}(X_{1j_i}) \\ \text{return } \Gamma_{12} \end{cases} ; \Gamma_{12} \text{ float},4 \rightarrow \begin{pmatrix} 0.06887 \\ 0.1058 \\ 0.09803 \\ 0.1017 \end{pmatrix}.$$

Обобщенным предельным показателем является показатель изокванты, характеризующий относительное приращение ресурса r при изменении ресурса k

$$I_{kr} = \frac{\Gamma_{kr}}{\Phi_{kr}}.$$

Показатель изокванты приращения ресурса X_{1j} при изменении ресурса X_{2j}

$$I_{12} := \frac{\Gamma_{12}}{\Phi_{12}} ; \quad I_{12}^T = (0.33 \quad 0.273 \quad 0.213 \quad 0.157) .$$

Показатель изокванты $I_{12} < 1$, поэтому объект более интенсивен по независимому фактору X_2 по сравнению с фактором X_1 .

Предельная норма замещения ресурса X_{1j} ресурсом X_{3j} и показатель изокванты приращения ресурса X_{1j} при изменении ресурса X_{3j} равны соответственно:

$$\Gamma_{13}^T = (1.689 \quad 1.709 \quad 1.705 \quad 1.707) ; \quad I_{13}^T = (0.018 \quad 0.018 \quad 0.019 \quad 0.011) .$$

Поскольку показатель изокванты $I_{13} < 1$, то рассматриваемый процесс замещения ресурса более интенсивен по независимому фактору X_3 по сравнению с фактором X_1 .

Предельная норма замещения ресурса X_{2j} ресурсом X_{3j} и показатель изокванты приращения ресурса X_{2j} при изменении ресурса X_{3j} равны соответственно:

$$\Gamma_{23}^T = (-0.006 \quad -0.013 \quad -0.011 \quad -0.012) ;$$

$$I_{23}^T = (-0.00001257 \quad -0.0004116 \quad -0.00005599 \quad -0.00004856) .$$

Поскольку показатель изокванты $I_{23} < 1$, то рассматриваемый процесс замещения ресурса более интенсивен по независимому фактору X_3 по сравнению с фактором X_2 .

Интерпретация результатов

На основе автоматизированного алгоритма вычисления предельных дифференциальных показателей предложены оценки дифференциальных характеристик производственных функций для гидротехнических объектов.

В процессе анализа последовательно определены зависимости функции отклика и ее дифференциальной эффективности (среднемноголетней выработки электрической энергии) в зависимости от числа учтенных ГЭС, установленной мощности и объема капиталовложений.

Для оценки влияния трех факторов на производственную функцию вычислены дифференциальные эффективности, предельные нормы замещения ресурсов, эластичности производственных функций, вооруженности ресурсов и показатели изокванты приращения одного ресурса при изменении другого.

Список литературы

1. Гидроэлектрические станции: учебник для вузов / Н. Н. Аршеневский, М. Ф. Губин, В. Я. Карелин и др.; под ред. В. Я. Карелина, Г. И. Кривченко. 3-е изд., доп. и перераб. М.: Энергоатомиздат, 1987. 82 с.
2. Арзамасцев А. Д., Кузнецова Ю. А., Поздеев А. Г. Моделирование эффективности освоения водных ресурсов на основе производственных функций // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Экономика и управление. 2013. № 1. С. 66–79.
3. Кобринский Н. Е., Майминас Е. З., Смирнов А. Д. Введение в экономическую кибернетику: учебное пособие. М.: Экономика, 1975. 343 с.
4. Макаров Е. Г. Инженерные расчеты в Matchcad: учебный курс. СПб.: Питер, 2003. 448 с.
5. Тинбэрхэн Я., Бос. Х. Математические модели экономического роста. М.: Прогресс, 1967. 175 с.
6. Форрестер Дж. Мировая динамика. М.: Наука, 1978. 167 с.
7. Системный подход к управлению водными ресурсами / А. К. Бисвас, Р. К. Линслей, Н. К. Матейлис и др.; под ред. А. Бисваса; пер. с англ.; под ред. Н. Н. Моисеева. М.: Наука, 1985. 382 с.
8. Кузнецова Ю. А. Средства инженерно-экологической защиты нижних бьефов гидроузлов: монография. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2014. 260 с.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF HYDRAULIC SYSTEMS BASED ON PRODUCTION FUNCTIONS

Pozdeev Anatoly Gennadievich, Kuznetsova Yulia Anatolyevna

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

Hydrosystem efficiency evaluation is based on the analysis of marginal differential indicators. The marginal analysis of production functions is used as a method of evaluating the hydrosystem efficiency. A generalized production function is defined as a relationship between an impact level and a rate of change of influencing factors. The main problems under consideration are compilation of a variable specification and a model structure, including the number of equations of relations between variables, and the best method of the production function approximation. We compiled matrices of independent variables and their logarithms. As a result, we obtained one-factor dependences of a response function and a differential efficiency on all independent variables of the model.

Keywords: *hydrosystem; marginal indicators; Cobb–Douglas multiplicative functions; least squares method; multiple regression; marginal rate of substitution; elasticity of production functions; intensity of resource development; figures of isoquant; Mathcad.*

Сведения об авторах

БЕЛЬГИБАЕВ Руслан Рашидович – кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехники и связи ПГТУ

БОРОДИН Андрей Викторович – кандидат экономических наук, зав. кафедрой информатики и системного программирования ПГТУ

БУКАНОВА Татьяна Сергеевна – кандидат технических наук, зав. кафедрой проектирования и производства электронно-вычислительных средств ПГТУ

БУСЫГИН Георгий Валентинович – старший преподаватель кафедры проектирования и производства электронно-вычислительных средств ПГТУ

ВВЕДЕНСКИЙ Олег Германович – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения ПГТУ

ГАЛАКТИОНОВ Юрий Александрович – студент высшей инженерной школы, Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, г. Архангельск

ЖУРАВЛЕВ Евгений Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов и прикладной механики ПГТУ

КАРПЫЧЕВ Евгений Александрович – студент ПГТУ

КОНОВАЛОВ Анатолий Юрьевич – кандидат технических наук, исполняющий обязанности заведующего кафедрой строительной механики и сопротивления материалов, Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, г. Архангельск

КУЗНЕЦОВА Юлия Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения

КУЧИН Максим Валерьевич – студент высшей инженерной школы, Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, г. Архангельск

ЛАБУДИН Борис Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры инженерных конструкций, архитектуры и графики, Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, г. Архангельск

ЛАВРЕНТЬЕВ Борис Федорович – кандидат технических наук, профессор-консультант кафедры проектирования и производства ЭВС ПГТУ

МИХАДАРОВА Ольга Васильевна – старший преподаватель кафедры высшей математики ПГТУ

ОБУХОВ Александр Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения ПГТУ

ПОЗДЕЕВ Анатолий Геннадиевич – доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций и водоснабжения ПГТУ

РУМЯНЦЕВ Михаил Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры строительной механики и сопротивления материалов, Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, г. Архангельск

САФИУЛЛИНА Яна Михайловна – студент ПГТУ

ЧЕРНЯДЬЕВ Андрей Владимирович – аспирант ПГТУ

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
-------------------	---

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ И МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

<i>Бельгибаев Р. Р., Михадарова О. В., Чернядьев А. В.</i> Возможности широкополосной КВ-Связи в условиях города	5
<i>Карпычев Е. А.</i> Сравнительный анализ спектров пропускания тонких пленок оксида цинка, исследованных на СФ-2000 и лабораторном стенде	11
<i>Лаврентьев Б. Ф., Буканова Т. С., Бусыгин Г. В., Сафиуллина Я. М.</i> Детские информационные робототехнические конструкции с внутренним управлением	16
<i>Лаврентьев Б. Ф.</i> Ядоприемники для системы сбора пчелиного яда	21

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

<i>Бородин А. В.</i> Метрология интервалов времени текущего юлианского периода в подсистеме VBA Microsoft Office	26
--	----

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

<i>Галактионов Ю. А., Румянцев М. В., Лабудин Б. В.</i> Проектирование здания общественного назначения с консолью большого пролёта в г. Архангельске	35
<i>Кучин М. В., Коновалов А. Ю., Лабудин Б. В.</i> Проектирование большепролётного здания многофункционального спортивного комплекса «Фаворит» в г. Архангельске.....	45

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ. ИНЖЕНЕРИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

<i>Журавлев Е. А.</i> Реализация рекурсивного алгоритма динамики для многотельной системы с кинематическими циклами	55
<i>Обухов А. Г., Введенский О. Г.</i> Рациональное использование водных ресурсов как элемент охраны природной среды на территории Республики Марий Эл.....	60
<i>Поздеев А. Г., Кузнецова Ю. А.</i> Оценка эффективности гидроузлов на основе производственных функций	67
Сведения об авторах	74

Научное издание

ТРУДЫ Поволжского государственного технологического университета



ВЫПУСК 10

Серия Технологическая

Ответственный за выпуск

Е. С. Шарапов

Редактор

Н. М. Москвичева

Компьютерная верстка

Е. В. Смирнова, А. Ю. Малышева

Дизайн обложки

А. В. Красикова

Переводы на английский язык предоставлены
авторами статей

Подписано в печать 15.12.2022. Формат 60×84 ¹/₈. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 9,75. Тираж 500 экз. Заказ № 3322.

Поволжский государственный технологический университет
424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано в типографии ИП Копыльцов П.И.
394052, Воронежская область, г. Воронеж, ул. Маршала Неделина, д. 27, кв. 56.
Тел.: 89507656959. E-mail: Kopyltsow_Pavel@mail.ru

ПРИГЛАШАЕМ К СОТРУДНИЧЕСТВУ

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» приглашает Вас опубликовать свои статьи в сборнике «Труды ПГТУ». Сборнику присвоен Международный стандартный номер сериального издания (ISSN). Материалы сборника постатейно отражаются в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

В сборнике публикуются результаты оригинальных авторских исследований (ранее нигде не печатавшихся и не переданных в другие редакции) по следующим направлениям:

- серия Технологическая (физико-математические науки; радиотехнические инфокоммуникационные и медико-биологические системы; лес, экология, природопользование; транспорт, энергетика, машиностроение; технологии и оборудование лесопромышленных и деревообрабатывающих производств; строительство и архитектура; биологические и естественные науки, инженерия окружающей среды);
- серия Социально-экономическая (экономика, управление и право, философия, культурология, педагогика, психология, история, социология, политология и др.).

Требования к оригиналам предоставляемых работ

Основные требования к содержанию статей: актуальность, научная новизна, практическая значимость.

Структура научной статьи:

- Заголовок (наименование публикации).
- Ф. И. О. авторов (с указанием места работы, должности, ученой степени, звания).
- Аннотация (3-4 предложения, 50–100 слов).
- Ключевые слова или словосочетания (5–10 слов).

Желательно наличие в статье следующих **рубрик**:

- Введение (оценка состояния вопроса, основанная на обзоре литературы с мотивацией актуальности; выявленное противоречие, позволяющее сформулировать проблемную ситуацию).
- Цель работы, направленная на преодоление проблемной ситуации.
- Решаемые задачи, способствующие достижению цели.
- Математическое, аналитическое или иное моделирование.
- Техника эксперимента и методика обработки или изложение иных полученных результатов.
- Интерпретация результатов или их анализ.
- Выводы, отражающие новизну полученных результатов, показывающие, что цель, поставленная в работе, достигнута.
- Список используемой литературы.
- Сведения об авторах, название статьи, аннотация и ключевые слова на английском языке (авторы должны обеспечить аутентичный перевод).

Требования к оформлению статьи:

Статья должна быть представлена в электронном варианте и распечатанном виде.

- ✓ Объем статьи – 5 страниц формата А4 (до конца заполненных);

- ✓ основной шрифт – Times New Roman, кегль 12; межстрочный интервал – одинарный;
- ✓ поля – 2 см;
- ✓ отступы в начале абзаца – 0,75 см;
- ✓ УДК оформляется в левом углу листа, светлым шрифтом, без отступа;
- ✓ нумерация страниц – внизу по центру, кегль 12;
- ✓ **НАЗВАНИЕ** статьи печатается по центру, прописными буквами, полужирным прямым шрифтом (Times New Roman, кегль 12);
- ✓ **Фамилия, имя и отчество авторов** (полностью) должны быть напечатаны по центру жирным курсивом, кегль 12;
- ✓ место работы, страна, город – шрифт светлый, прямой, кегль 10;
- ✓ электронный адрес одного из авторов – шрифт светлый, прямой, кегль 10;
- ✓ аннотация и ключевые слова – шрифт светлый, курсив, кегль 11;
- ✓ основной текст статьи – с отступом в один интервал после аннотации. Выравнивание текста – по ширине; переносы ставятся автоматически. Выделения в тексте выполняются светлым курсивом;
- ✓ **заголовки рубрик** выделяются полужирным шрифтом;
- ✓ таблицы, рисунки, графики (печатаются только в черно-белом исполнении, цветные иллюстрации доступны лишь в электронной версии сборника) должны иметь нумерационный и тематический заголовки (размер шрифта – кегль 10, заголовки – **полужирным**, по центру); таблицы и рисунки следует по возможности вставлять в текст после абзацев, содержащих ссылку на них; размеры иллюстраций не должны превышать размеров текстового поля (не более 15 см);
- ✓ после списка литературы – сведения об авторах, название статьи, аннотация и ключевые слова – на *английском языке*, шрифт кегль 10;
- ✓ *список литературы*: заголовок – шрифт строчным, курсивом, кегль 11; список – шрифт прямым, кегль 11;
- ✓ ссылки на литературу в тексте даются в квадратных скобках, литература оформляется согласно ГОСТ Р 7.05-2008; количество источников – не более 10; обязательны ссылки на работы, опубликованные в последние 5 – 10 лет; ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Статьи проходят редакционно-издательскую обработку. При необходимости принципиальных изменений правка согласовывается с автором.

Надеемся на взаимноинтересное сотрудничество.

*Департамент научного и академического развития
Поволжского государственного технологического университета*

424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3, ПГТУ (корпус № 1), ауд. 4236
Тел. +7 (362) 68-60-62; e-mail: SmirnovaEV@volgatech.net