

Международная академия наук высшей школы
Академия наук высшей школы Российской Федерации
Сибирская академия наук высшей школы
Бурятский, Красноярский, Кузбасский, Новосибирский,
Омский, Томский научные центры САН ВШ
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-29-2023)

29-я международная
научно-практическая конференция

15 ноября 2023 г.
г. Томск, Россия

ДОКЛАДЫ
(материалы конференции)

Томск
Издательство ТУСУРа
2023

УДК 553.3/.9+316.344.3[(571.1/.5)(063)

ББК 20.1+65.04+72(253)

П77

Организационный комитет:

А. А. Шелупанов – президент ТУСУРа (председатель),

Т. Р. Газизов – профессор ТУСУРа (зам. председателя),

Ю. А. Шурыгин, А. М. Кориков,

М. Ю. Катаев, Ю. С. Саркисов

Отв. редактор – Е. В. Прокопчук

Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири
П77 (СИБРЕСУРС-29-2023) : доклады (материалы конференции)
29-й международной научно-практической конференции,
Томск, 15 ноября 2023 г. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та
систем упр. и радиоэлектроники, 2023. – 122 с.

ISBN 978-5-6050216-5-0

Представлены материалы, отражающие результаты научной деятельности вузов Сибирского региона по эффективному использованию и развитию территориальных ресурсов в интересах экономики России.

Для ученых, специалистов, преподавателей, инженеров, аспирантов и студентов вузов и научных учреждений как в России, так и за рубежом.

УДК 553.3/.9+316.344.3[(571.1/.5)(063)

ББК 20.1+65.04+72(253)

ISBN 978-5-6050216-5-0

© Сибирская академия наук
высшей школы, 2023

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 004.622

Е. В. ВИКТОРЕНКО, аспирант кафедры экономики,
ТУСУР, Томск

А. А. МИЦЕЛЬ, д-р техн. наук, профессор кафедры АСУ,
ТУСУР, Томск

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Рассмотрены методы глубокого обучения для анализа текстовой информации. Выбран метод преобразования текстовой информации в векторные представления для прогнозирования цен на финансовые активы.

Последние технологические достижения и развитие Интернета позволяют хранить и обрабатывать большие объемы информации. Появились многочисленные модели глубокого обучения, развитию которых ранее мешали технологические ограничения.

Гипотезы эффективного рынка и случайного блуждания утверждают, что текущая стоимость активов прямо зависит от прошлой информации. Анализ текстовой информации, подразумевающий обработку естественного языка и интеллектуальный анализ текста для извлечения данных из исходного материала, может способствовать пониманию причин волатильности рынка ценных бумаг, а также влияния информации на цены выборочных активов.

Методы анализа основываются на опыте лингвистов, которые определяют значения слов, а также отношения между подобными словами (синонимами) и схожими значениями. Таким образом создается тезаурус, куда помещаются синонимы или родственные слова, объединенные в одну группу подобно тому, как составляются словари. Далее определяются отношения гиперонимов и релевантность этих связей. Отношения между словами можно визуализировать с помощью графиков или деревьев знаний.

С ростом популярности нейронных сетей появилось множество моделей, предназначенных для решения задач, связанных с последовательными данными, включая данные анализа стоимости ценных бумаг, обработку естественного языка и интеллектуальный анализ текста. Модели на основе рекуррентных нейронных сетей являются, на наш взгляд, наиболее подходящими для таких задач.

Некоторые авторы преобразуют слова, собранные с платформ социальных сетей, в цепочки слов, которые затем передаются в модель для классификации настроений инвесторов. Мы рассматриваем влияние новостных событий на тенденции движения цен на активы и используем извлечение открытой информации и структурирование событий из новостей. Для этого используем векторы в качестве линейной модели и модель глубокой нейронной сети, чтобы определить, имеют ли новостные события тесную связь с динамикой цен на активы. Эксперименты показывают, что модель глубоких нейронов лучше улавливает информацию о динамике цен на активы, чем другие модели.

Для кодирования текстовых данных можно использовать такой метод, как `Word2vec`. Другие инструменты, например `Doc2vec`, напрямую кодируют весь абзац или документ в вектор. Мы используем этот метод для преобразования новостных статей в векторные представления и далее измеряем движение цен на активы с помощью модели долгой краткосрочной памяти LSTM (Long short-term memory), которая является особой архитектурой рекуррентных нейронных сетей и способна к обучению долговременным зависимостям. Распределенное представление превосходит методы, основанные на числовых данных и наборе слов. Кроме того, легко показать, что модель долгой краткосрочной памяти LSTM эффективна при сборе информации из данных временных рядов.

Преыдущие модели, использующие встраивание слов, не содержат контекстную информацию. Контекстное представление слов важно, поскольку оно позволяет лексемам иметь разные представления в разных контекстах.

Считаем, что данные, передаваемые на естественном языке, предоставляет большой пласт информации для прогнозирования волатильности активов.

В дальнейшем планируется рассмотреть использование методов глубокого обучения, а именно рекуррентные нейронные сети, модель долгой краткосрочной памяти LSTM и управляемые рекуррентные нейроны (GRU) для анализа текстовой информации с целью прогнозирования цен на финансовые активы. Все эти модели имеют одни и те же слои и параметры, доступные в пакете Python, поэтому просты в программировании.

E.V. Viktorenko, A.A. Mitsel

Application of deep learning methods to analyze text information

Deep learning methods for analyzing text information are considered. A method has been selected for converting textual information into vector representations to predict prices for financial assets.

elena.v.viktorenko@tusur.ru

О. Н. ИГНА, д-р пед. наук, доц., проф., ТГПУ, Томск
М. А. ЧЕРВОННЫЙ, д-р пед. наук, доц.,
проф. ТГПУ, Томск

СОВРЕМЕННАЯ ПОДГОТОВКА УЧИТЕЛЯ: АЛГОРИТМИЗАЦИЯ VS РАЗВИТИЕ ИНИЦИАТИВНОСТИ?

Уточнена суть параллельно существующих тенденций современного педагогического образования, одинаково ценных и актуальных: алгоритмизация в подготовке учителей (развитие алгоритмических умений, алгоритмической культуры) и развитие инициативности. Названы основные условия их гармонизации.

Алгоритмизация как проявление прогрессирующей в современном образовании тенденции технологизации обозначилась ростом научно-практического интереса к развитию алгоритмических умений и алгоритмической культуры не только будущих программистов, инженеров, но и учителей, и не только по предметам, которые традиционно относят к точным. Алгоритмические умения учителя – это осознанно упорядоченная контролируемая последовательность действий «для формализации правил решения учебных задач и переноса освоенных алгоритмов в профессионально-педагогическую деятельность» [1, с. 12], а его алгоритмическая культура – компонент профессионально-педагогической культуры, отражающий способ самоорганизации деятельности в информационном обществе, системное образование, характеризующееся «определенным уровнем развития алгоритмических ценностей, знаний и умений, позволяющих овладеть основами алгоритмизации педагогической деятельности» [2, с. 8].

Алгоритмизация постепенно меняет содержание и организацию подготовки учителей. Если раньше она прослеживалась преимущественно в требованиях придерживаться при планировании уроков определенных образцов, шаблонов тематических и поурочных планов, то сегодня ее возможности существенно возросли. Так, предусматривается разработка не только планов,

но и технологических карт уроков, существенно детализирующих алгоритм их проведения. В целом появилось немало шаблонов как технологических карт, так и схем (алгоритмов) анализов урока. В перечне типов практик согласно современным ФГОС ВО по направлению подготовки «Педагогическое образование» появилась технологическая (проектно-технологическая) практика. Существуют цифровые симуляторы образовательного процесса, позволяющие будущим учителям отработать алгоритмы обучающей деятельности (например, simSchool). Конструкторы планов уроков, в том числе онлайн-конструкторы (например, <https://lessonwriter.com/>), способствуют развитию алгоритмических умений. Появились возможности отбирать цифровые ресурсы, инструменты для обучения (сгенерировать их пул) автоматически на сайте (например, <https://www.ecml.at/>) посредством определенного фильтра. Такие технологии подготовки учителей, как задачная, проектная и пр. в значительной степени направлены на изучение алгоритмов обучающих действий.

Алгоритмизация деятельности будущих педагогов воспринимается в высшем образовании как благо, поскольку позволяет успешнее реализовывать программное проектирование, разрабатывать модели педагогических процессов и систем, развивать интеллектуальную культуру, избежать неверных действий, оптимальнее достичь результатов обучения. Она противопоставляется бессистемности, неопределенности, низкой результативности, опоре только на интуицию.

Однако нельзя не учитывать, что педагогическая профессия характеризуется творчеством, где большую роль играет личность учителя, его педагогическое кредо, развитие которых начинается еще в вузе и во многом обусловлено уровнем инициативности студентов. Инициативность является интегративным качеством личности, проявляющимся в готовности и способности к новому, к преобразовательной деятельности, реализации инициатив.

Очевидна потребность в подготовке инициативных учителей, способных и восприимчивых к инновациям в педагогической деятельности. В связи с этим активно изучаются перспективные виды студенческих инициатив и способы приобщения к инициативной деятельности [3]. Отсюда возникают закономерные вопросы о том, насколько алгоритмизация в подготовке учителей снижает потенциал развития их инициативности и

возможна ли здесь гармонизация? Отвечая на данные вопросы, необходимо отметить, что если названные тенденции однозначно характеризуют суть современного педагогического образования, то отказаться от одной из них в пользу другой неприемлемо и, скорее всего, даже невозможно. Более того, они не должны противоречить друг другу.

Обозначим основные условия, обеспечивающие гармонизацию алгоритмизации и развития инициативности студентов в современном педагогическом образовании.

- Развитие инициативности будущих учителей стоит рассматривать как одну из значимых целей их подготовки, а алгоритмизацию – как средство.

- Изначально важно использовать алгоритмы педагогической деятельности во всем их многообразии для овладения базовыми приемами данной деятельности, предусматривая при этом наличие обратной связи со стороны студентов (оценка полезности, актуальности и т.д.) и усложнение предлагаемых профессиональных задач, выводящих на уровень самостоятельного индивидуального педагогического творчества и инициативности.

- Следует поощрять инициативы студентов по разработке собственных шаблонов, схем, алгоритмов и прочей педагогической (обучающей) деятельности.

- Необходимо обучать студентов критическому осмыслению существующих симуляторов педагогической деятельности, конструкторов планов, схем и шаблонов разработки уроков и их анализа, в том числе в сравнении с индивидуальными (авторскими) разработками разного уровня качества.

- Важно определять оптимальный процентный компонент (долю) алгоритмизации в рабочих программах учебных дисциплин и практик и следовать ему при реализации программ.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского
научного фонда № 23-28-00577,
<https://rscf.ru/project/23-28-00577/>*

ЛИТЕРАТУРА

1. Телепова Т.П. Педагогический контроль как средство формирования алгоритмических умений самостоятельной работы будущих педагогов профессионального обучения : дис. ... канд. пед. наук. Екатеринбург, 2019. 242 с.

2. Остапенко С.И. Формирование алгоритмической культуры будущих учителей в процессе дистанционного обучения : автореф. дис. ... канд. пед. наук. Белгород, 2013. 25 с.

3. Червонный М.А., Игна О.Н., Яковлев Н.И. Профессионально-педагогическая инициатива будущего учителя и её роль в трансфере результатов исследований и разработок в образовательную практику // Вестник ТГУ. 2023. № 488. С. 60–70.

O. N. Igna, M. A. Chervonnyy

Title: Modern teachers' training: algorithmization vs development of initiative?

The essence of parallel existing trends in modern teacher education, which are equally valid and relevant for this education, is clarified: algorithmization in the training of future teachers (development of their algorithmic skills, algorithmic culture) and development of their initiative. The basic conditions for their harmonization are named.

onigna@tspu.edu.ru; mach@tspu.edu.ru

А. М. КОРИКОВ, действ. чл. МАН ВШ,
д-р техн. наук, проф. каф. АСУ, ТУСУР, Томск
В. Т. ТРАН, аспирант каф. АСУ, ТУСУР, Томск

СТАБИЛИЗАЦИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Рассмотрены проблемы и задачи, возникающие при создании систем автоматической стабилизации (САС) мобильных объектов. Представлена классификация САС, отмечены достоинства и недостатки известных типов САС. Обоснован выбор скользящих режимов управления при реализации САС и предложена адаптация этих режимов на основе нейронных сетей.

Проблемы стабилизации положения объектов управления (ОУ) в пространстве при их движении в любой среде (по суше, в частности при движении ОУ по дорогам или пересеченной местности, в воздухе, воде) актуальны для многих отраслей науки, техники, сельского хозяйства, промышленности и обороны страны. Множество рассматриваемых ОУ является разнообразным и многочисленным, в нем представлены и различные транспортные средства (ТС). На всех ТС (автомобилях, кораблях, летательных аппаратах (ЛА), беспилотных аппаратах и т. п.) имеется различное оборудование и в процессе функционирования это оборудование должно иметь заданную ориентацию в пространстве, которую нарушают различные возмущения из внешней среды и/или изменяющиеся параметры самого ТС. Например, при установке навигационного оборудования, радиолокационных антенн и антенн систем связи на палубе корабля значительное влияние на эффективность их работы оказывают волновые возмущения водной среды.

Для уменьшения влияния таких возмущений навигационное оборудование размещают на специальной стабилизируемой платформе [1]. Использование системы автоматической стабилизации (САС) платформы на корабле позволяет компенсировать влияние волновых возмущений на оборудование [1].

С развитием транспортных средств (в частности, появлением беспилотных ЛА – БПЛА) возникают новые сложные задачи автоматической и автоматизированной стабилизации, результаты решения некоторых из них представлены в наших работах [2–5]. САС являются частным случаем систем автоматического управления (САУ). Классификация САУ и принципы управления изложены в многочисленных учебниках по теории автоматического управления, см., например, [6]. Задачей САС как частного случая САУ является поддержание на заданном уровне регулируемого параметра системы. САС обеспечивают успешное решение задач управления любыми объектами на суше, на воде и в воздухе. Отметим, что САС успешно применяются во многих направлениях человеческой деятельности, в нашем докладе основное внимание уделяется задачам стабилизации ОУ. Суть таких задач состоит в поддержании заданных параметров углового положения платформы с установленными на ней специальными приборами и выработке управляющих (корректирующих) сигналов, обеспечивающих заданное положение платформы в выбранной системе координат.

Параметры положения платформы и управляющие сигналы САС могут определяться и поддерживаться различными приборами и устройствами: электромеханическими измерителями угловых ускорений и скоростей, лазерными датчиками угловых скоростей, гидравлическими стабилизаторами, гироскопическими стабилизаторами (ГС), САС карданного типа и т. п. Для решения задач стабилизации ОУ наибольшее распространение получили САС, базирующиеся на последних трех типах приборов и устройств, а среди них популярностью пользуются ГС.

Теория, расчет и проектирование ГС изложены во многих монографиях и учебниках. Классификация ГС представлена в [7]. Отметим достоинства и недостатки ГС.

Достоинства ГС: система имеет высокую точность работы, широко применяется в авиации, космонавтике и мореплавании, обеспечивает процесс навигации и управления средними и большими ЛА, надводными кораблями и специальными ТС, оснащенными радиолокационными системами, оптическими системами и системами вооружения.

Недостатки ГС: система громоздкая, дорогостоящая, имеет сложную технологию производства, не рассчитана для установки

на малых ЛА. Система может работать неточно при эксплуатации на больших расстояниях и территориях вследствие кривизны земной поверхности.

Принципы построения ГС используются в САС карданного типа. Благодаря компактной конструкции, модель САС этого типа является одной из самых популярных в настоящее время. САС используется для установки различного оборудования: небольших радаров, оптических систем, систем видеонаблюдения и т. п. САС этого типа устанавливаются на ЛА, кораблях, наземных ТС. Наиболее распространенным является применение САС карданного типа для установки камер на БПЛА. Портативные видеокамеры с этим типом САС применяются при видеосъемке и фотографировании, а также при навигации ОУ по изображениям местности.

Использование САС карданного типа осложняют две группы проблем: стабилизация подвесной аппаратуры БПЛА и компенсация ошибок системы навигации и управления (СНУ) БПЛА. Проблемы первой группы могут быть решены на основе кинематической модели [4]. В [4] представлены кинематические уравнения, решение которых обеспечивает стабилизацию подвесной аппаратуры БПЛА и управление видеокамерой при слежении за подвижными объектами (движущимися целями) в пространстве.

Проблемы второй группы успешно разрешаются выбором скользящих режимов управления при реализации САС и их адаптацией на основе нейронных сетей [2, 3, 5]. В [5] разработана и исследована программная система (ПС) для вычисления корректирующих поправок (КП), компенсирующих ошибки СНУ, которые накапливаются в ней как при работе, так и вследствие влияния воздушной среды. Расчет КП выполняется ПС по данным, поступающим из видеокамеры БПЛА при детектировании ориентиров на земле, имеющих известные координаты: столбов, объектов дорожной сети, общественной и жилой инфраструктуры.

В заключение отметим, что управление в скользящем режиме (скольжении) отличается многими достоинствами:

- высокой надёжностью, так как это управление является вынуждающим и заставляющим процесс протекать по траектории, заданной разработчиком САС;

- высокой стабильностью, так как скользящее управление может поддерживать стабильность системы лучше, чем традиционные методы управления;
- простотой реализации, так как алгоритмы просты в разработке и реализации для многих ОУ;
- регулируемостью, а именно скользящее управление позволяет регулировать и настраивать параметры САС в соответствии с особенностями ОУ;
- высокой помехоустойчивостью, так как этот метод устойчив к внутренним и внешним возмущениям САС, шумам и ошибкам во входных данных САС.

Для управления с использованием скользящего режима до настоящего времени был присущ один главный недостаток – необходимость в идеальном дифференцировании, что является большой проблемой для аналоговой техники управления. Данный недостаток не имеет существенного значения в настоящее время – время интенсивного развития цифровой техники управления.

Применение цифровой техники управления усиливает указанные выше достоинства скользящего режима управления в комбинации с другими методами: ПИ-управлением [6], нечетким управлением, искусственными нейронными сетями [3, 5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Буй В.Т., Юркевич В.Д. Резонансный ПИ-регулятор для судовой электрогидравлической стабилизированной платформы // Доклады ТУСУР. 2023. Т. 26, № 2. С. 81–87.
2. Тран В.Т., Кориков А.М., Нгуен Т.Т. Выбор регулятора, работающего в скользящем режиме, для автоматизированной транспортной системы // Доклады ТУСУР. 2021. Т. 24, № 4. С. 79–84.
3. Тран В.Т., Кориков А.М. Синтез адаптивного скользящего режима управления полетом квадрокоптера в условиях переменной нагрузки и помех // Доклады ТУСУР. 2022. Т. 25, № 2. С. 37–44.
4. Кориков А.М., Тран В.Т. Кинематическая модель стабилизации и управления ориентацией подвесной аппаратуры беспилотного летательного аппарата // Мехатроника, автоматизация, управление. 2023. Т. 24, № 7. С. 382–390.
5. Кориков А.М., Тран В.Т. Нейросетевой анализ видеопотока, поступающего с камеры беспилотного летательного аппарата, для компенсации ошибок системы навигации и управления БПЛА // Телекоммуникации. 2023. № 7. С. 13–23.

6. Ерофеев А.А. Теория автоматического управления: учеб. для вузов. СПб.: Политехника, 1998. 295 с.

7. Серегин В. В. Прикладная теория и принципы построения гироскопических систем: учеб. пособие. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. 78 с.

A.M. Korikov, V.T. Tran

Stabilization of the position of mobile control objects in space: current state

The problems and tasks that arise when creating automatic stabilization systems (ASS) by mobile objects are considered. The classification of ASS is presented, the advantages and disadvantages of known types of ASS are noted. The choice of sliding control modes in the implementation of ASS and the adaptation of these modes based on neural networks are justified.

anatolii.m.korikov@tusur.ru
att82glass@gmail.com

СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 666.9.015.7

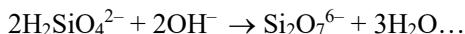
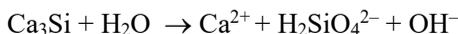
Д. А. АФАНАСЬЕВ, ген. директор НИОСТ СИБУР, Томск
Н. П. ГОРЛЕНКО, чл.-кор. САН ВШ, д-р техн. наук,
проф. ТГАСУ, Томск
Ю. С. САРКИСОВ, чл.-кор. САН ВШ, д-р техн. наук,
проф. ТГАСУ, Томск

ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ ОЛЯЦИИ-ОКСОЛЯЦИИ С УЧАСТИЕМ ИОНОВ КРЕМНИЯ И ЖЕЛЕЗА

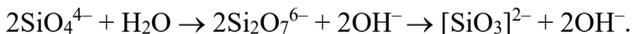
Роль ионов кремния и железа в процессе твердения и эволюции цементного камня имеет не меньшее значение, чем роль алюминатов кальция. При твердении цемента силикаты и алюмоферриты кальция подвергаются гидратации и гидролизу. Однако, помимо этих процессов, могут протекать и реакции оляции-оксоляции, изучению которых и посвящена настоящая работа.

Химические реакции с участием ионов кремния

При смешивании цемента с водой в индукционном периоде наблюдаются реакции гидратации минералов цемента с образованием соединений кремния наряду с ионами кальция [1]:

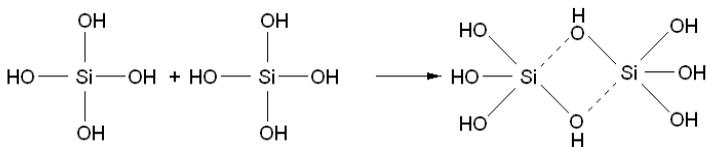


В конце индукционного периода анионы кремния преобразуются в структуры с изменением степени окисления:

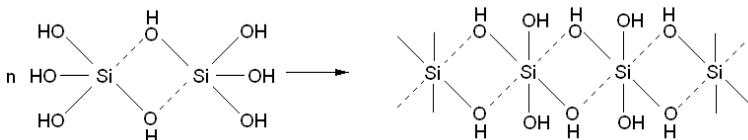


Накопление протонированных за счет гидролиза воды силикат-ионов приводит к протеканию химических реакций по типу оляции-оксоляции.

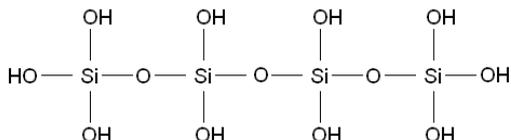
Вначале тетраэдрические ионы SiO_4^{4-} , объединяясь, преобразуются в промежуточные пятикоординационные комплексы за счет того, что кремний может увеличивать координационное число сверх четырех, используя $3d$ -орбитали (процесс оляции):



Затем частицы укрупняются и КЧ кремния становится равным шести:



Результат процесса оксоляции можно изобразить следующей схемой:



При дальнейшем формировании неразветвлённой цепи наблюдается образование ряда полимеров, имеющих в качестве элементарного звена группировку $[-\text{Si}(\text{OH})_2\text{O}-]$ и две концевые группы $[-\text{Si}(\text{OH})_3]$, т. е. общая формула этого ряда имеет вид



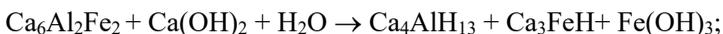
В связи с тем что у каждого атома кремния, входящего в состав фаз данного ряда, остаётся минимум по две функциональные группы OH, процесс полимеризации может развиваться ещё по нескольким направлениям. При этом с ростом длины цепи число направлений роста полимера будет увеличиваться. В результате со временем происходит дальнейшее удлинение цепей, которые могут связываться в двухмерную сетку, а затем и в трехмерное образование.

Можно предположить, что кристаллизационные контакты в разреженном первичном цементном каркасе с участием полимерных структур кремния не образуются, так как в щелочной среде

они заряжены отрицательно, но происходит обрастание уже имеющегося каркаса. Из-за того что полимерные блоки имеют конечные размеры, скелет структуры не является сплошным, а вследствие способности этих блоков как адсорбировать молекулы воды, так и выделять ее при развитии процесса оксоляции в пределах объема каркаса протекают процессы усадки или расширения без нарушения целостности цементного камня и уменьшения прочности.

Химические реакции с участием ионов железа

Ионы железа могут образовываться при гидратации различных форм алюмоферритов кальция, отдельные возможные реакции которых, имеющие отрицательное значение энергии Гиббса, приведены ниже:



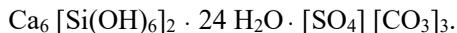
Следует отметить, что гидроксид железа (III) является слабым основанием и проявляет амфотерные свойства, вследствие чего возможно протекание реакции оляции-оксоляции. Известно, что ионы железа (III) склонны к полимерному гидролизу при концентрации ионов металла 10^{-3} моль/л и выше. Однако $\text{Fe}(\text{OH})_3$ имеет очень низкое значение произведения растворимости (ПР $6,3 \cdot 10^{-38}$) и при комнатной температуре и $\text{pH} = 12$ концентрация ионов железа в период интенсивного растворения и гидратации минералов цемента будет равна $6,3 \cdot 10^{-38}$ г-ион/л. Следовательно, гидроксид железа может входить в разреженный каркас в виде рыхлого осадка, не способного приводить к упрочнению системы за счет реакции оляции-оксоляции.

Заключение

Полиморфные превращения, происходящие в цементном камне с участием ионов алюминия и железа, приводят к образованию этtringита



и его аналога таумасита



Внедрение ионов железа в решетку этtringита и таумасита предотвращает экспансию указанных фаз даже при позднем их образовании в процессе твердения цементного камня [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Черкинский Ю.С. Химия полимерных неорганических вяжущих веществ // Химия. Ленинград: Ленингр. отд-ние, 1967. 244 с.
2. Федосов С.В., Базанов С.М. Сульфатная коррозия бетона. М.: Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2003. 191 с.

D.A. Afanasyev, N.P. Gorlenko, Yu.S. Sarkisov

Chemical reactions of olation-oxolation with the participation of silicon and iron ions

The role of silicon and iron ions in the process of hardening and evolution of cement stone is no less important than the role of calcium aluminates. During cement hardening, calcium silicates and aluminoferrites undergo hydration and hydrolysis. However, in addition to these processes, olation-oxolation reactions can also occur, the study of which is the subject of this work.

sarkisov@tsuab.ru

Д. А. АФАНАСЬЕВ, ген. директор НИОСТ СИБУР, Томск
Н. П. ГОРЛЕНКО, чл.-кор. САН ВШ, д-р техн. наук,
проф. ТГАСУ, Томск
Ю. С. САРКИСОВ, чл.-кор. САН ВШ, д-р техн. наук,
проф. ТГАСУ, Томск

ПРОЦЕССЫ ОЛЯЦИИ-ОКСОЛЯЦИИ АЛЮМИНАТОВ В ЦЕМЕНТНОМ КАМНЕ

Алюминаты кальция – одни их самых активных клинкерных минералов. Согласно современным данным они представляют собой в подавляющем большинстве двойные соли. При гидролизе трехкальциевого алюмината выделяется более 200 Дж/г энергии. Однако в теории твердения цемента учитываются в основном реакции гидратации и гидролиза минерала и практически не уделяется внимание другим возможным типам реакций, например оляции-оксоляции.

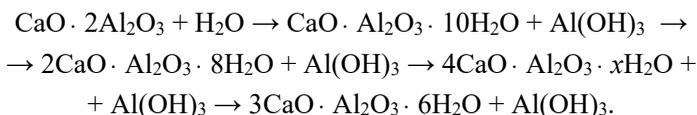
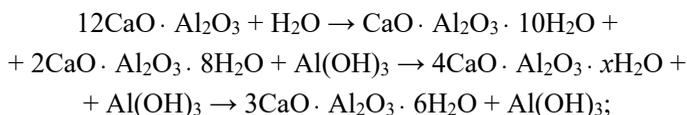
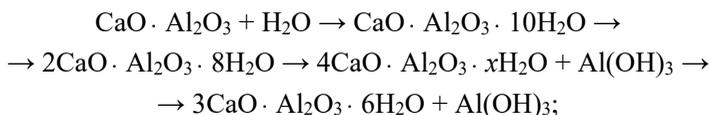
Твердение цементного камня представляет собой сложный процесс, включающий образование кристаллических, гелеобразных, изоморфно замещенных структур, в основе которого лежит протекание многообразных химических реакций. В литературе наиболее полно рассмотрены реакции гидратации, гидролиза минералов цемента, химического взаимодействия отдельных компонентов, образующихся в различные сроки твердения цементного камня. Большое внимание уделяется процессам растворения, кристаллизации, диффузии, фазовым превращениям и другим явлениям, определяющим формирование конечной структуры. Однако, на наш взгляд, недостаточно изучены процессы и механизмы протекания возможных химических реакций в твердеющих системах на основе цемента, зависящих не только от минерального состава и промежуточных продуктов реакций, но и от условий их протекания.

Одним из таких возможных химических процессов является реакция оляции-оксоляции, суть которой заключается в образовании неустойчивой мостиковой ОН-группы между двумя молекулами гидроксида металла (процесс оляции), которая переходит

в устойчивую структуру с мостиковым атомом кислорода (процесс оксоляции). Процессы ояции-оксоляции, как правило, протекают в результате гидролиза какого-либо компонента и характерны для амфотерных гидроксидов, слабых кислот и оснований. При этом свежеполученные гидроксиды алюминия, кремния и железа являются химически весьма активными и способны образовывать полимерные структуры [1]. Полиморфные замещения ионов алюминия на ионы переходных металлов (Cr^{3+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} и др.) позволяют управлять эволюцией экспансивных фаз в цементном камне и предотвращать его коррозию [2].

Цель работы заключалась в изучении протекания возможных химических реакций с участием продуктов гидролиза минералов цемента.

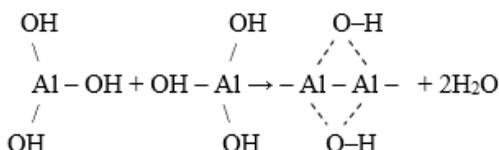
Процессы ояции-оксоляции обусловлены участием гидроксида алюминия, образующегося в результате взаимодействия Ca_3Al с водой, и различных по составу кристаллогидратов гидроалюминатов кальция. Примеры химических реакций гидратации различных минералов алюминатов кальция приведены ниже:



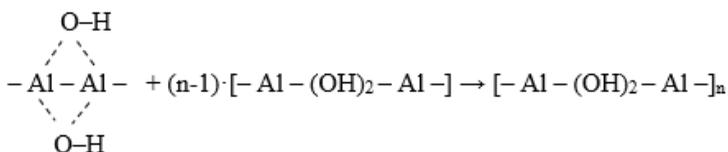
Как видим, при гидратации всех алюминатов кальция образуется гидроксид алюминия и различные по составу кристаллогидраты гидроалюминатов кальция. Приведенные выше реакции протекают очень быстро и сопровождаются выделением значительного количества тепла с энтальпией в диапазоне 865–1100 кДж/кг. Это означает, что процессы полимеризации кристаллических образований по механизму ояции-оксоляции с участием ионов алюминия должны происходить в ранние сроки твердения цементного камня и в конкурентной борьбе с ионами

кремния, образование которых также характеризуются высокой скоростью. Косвенно эти выводы подтверждаются данными кристаллографических исследований цементного камня, которые указывают на самостоятельное и преимущественное существование двух видов кристаллических образований, а именно гидросиликатной и гидроалюминатной фаз цементного камня.

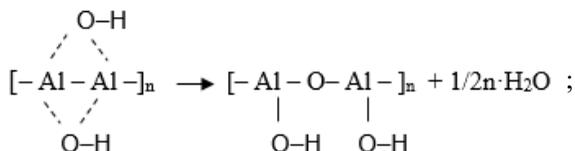
Гидроксид алюминия плохо растворим в воде и представляет собой продукт полимеризации тригидрата гидроксида алюминия $[Al(OH)_3(H_2O)_3]_n$. При этом катионы Al^{3+} связываются между собой за счет образования мостиковых связей через гидроксид-ионы (OH^-):

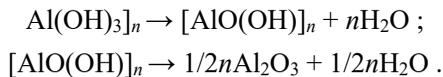


При участии в химическом взаимодействии n молекул гидроксида алюминия образуются полимерные кристаллические структуры за счет формирования новых фазовых контактов и полимерных структур типа $[-Al-(OH)_2-Al-]_n$, которые по прочности при сжатии намного превосходят мономерные кристаллы $Al(OH)_3$. Полимерные структуры с участием ионов алюминия способны заполнять пустоты кристаллического каркаса, образовывать точечные и фазовые контакты, что приводит к упрочнению цементного камня во времени:



Со временем развивается и процесс оксоляции с протеканием следующих возможных химических реакций:

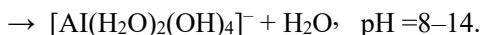
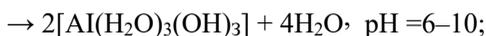




При этом выделение воды служит дополнительным фактором упрочнения цементного камня в результате ее взаимодействия с непрореагировавшими зернами цемента, количество которых даже в поздние сроки твердения достигает 30 %.

Следует отметить, что наличие во внутренней сфере гидроксокомплексов алюминия гидроксидных групп предполагает формирование двух- и трехмерных пространственных полимеризационных кристаллических структур.

Так как при гидролизе минералов цемента очень быстро устанавливается щелочная среда, то необходимо учитывать гидролиз алюминатов (AlO_2^-). При этом в зависимости от pH среды образуются устойчивые комплексы следующих составов:



Заключение

Учитывая особую роль алюминатов в образовании экспансивных фаз этtringита и таумасита, можно сделать вывод, что управление реакциями оляции-оксоляции позволяет снизить риск развития процессов разрушения тела бетона за счет неконтролируемого действия внутренних напряжений в цементном камне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черкинский Ю.С. Химия полимерных неорганических вяжущих веществ // Химия. Ленинград: Ленингр. отд-ние, 1967. 244 с.
2. Федосов С.В., Базанов С.М. Сульфатная коррозия бетона. М.: Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2003. 191 с.

D.A. Afanasyev, N.P. Gorlenko, Yu.S. Sarkisov

Processes of olation-oxolation of aluminates in cement stone

Calcium aluminates are one of the most active clinker minerals. According to modern data, they are in the vast majority of cases double salts. During hydrolysis of tricalcium aluminate, more than 200 J/g of energy is released. However, the theory of cement hardening mainly takes into account the reactions of hydration and hydrolysis of the mineral and practically does not pay attention to other possible types of reaction, for example, the processes of olation – oxolation.

sarkisov@tsuab.ru

В. И. БАКАЙТИС, чл.-кор. САН ВШ, д-р техн. наук,
проф., зав. каф. товароведения и экспертизы товаров,
СибУПК, Новосибирск

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПЛОДОВООВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Приведен анализ факторов управления качеством плодово-овощной продукции, обозначена роль оптовых продовольственных рынков в организации ее хранения и реализации.

На современном этапе развития государства большое значение придается обеспечению продовольственной безопасности. Комплексный подход к решению данной задачи направлен на объединение разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех стадиях жизненного цикла продукции. В полной мере это относится к плодовоовощной продукции, качество которой особенно актуально, так как плоды и овощи занимают в питании людей значительное место [1].

К основным этапам жизненного цикла плодов и овощей как товара при доведении до потребителя относят выращивание, уборку, хранение и реализацию. Рассматривая плоды и овощи как пищевой продукт, выделяют несколько последовательных стадий развития, среди которых необходимо выделить созревание.

Известно, что созревшие плоды и овощи имеют наилучшие потребительские свойства, поэтому все последующие приемы управления качеством направлены на максимальное продление данного периода. Созревание является процессом, связанным с ростом и формированием. Под ростом понимается увеличение массы, размеров, образование формы плодов и овощей [2].

Рост происходит неравномерно: сразу после образования плодов – быстро, затем замедляется, перед созреванием снова ускоряется. Причем на последнем этапе за счет притока воды и питательных веществ масса плодов увеличивается в большей степени, чем размер.

В период роста в плодах преобладают процессы образования и накопления сложных органических веществ. По мере созревания плодов наряду с накоплением происходят различные превращения органических веществ. Изменения углеводов в основном связаны с гидролизом сложных соединений, таких как крахмал, гемицеллюлоза, клетчатка, сахароза. Нерастворимые белковые вещества переходят в растворимые, сложные – в более простые. Протопектин переходит в пектин и далее в пектовую кислоту [3].

При созревании плодов в семенах идут синтетические, а в мякоти – гидролитические процессы, так как вещества мякоти должны питать созревающие семена. Аналогичные процессы протекают у большинства вегетативных овощей, однако у некоторых, например у картофеля, процесс созревания связан с синтезом сложных веществ: образованием крахмала из сахаров, из простых белков более сложных высокомолекулярных. В результате биохимических процессов при росте и созревании формируется консистенция, вкус, аромат плодов и овощей.

Некоторые видовые и сортовые особенности плодов и овощей определяют продолжительность сохранения уровня качества, достигнутого при созревании. В связи с этим их можно разделить на три группы:

- с коротким сроком хранения – овощная зелень, бобовые овощи, ягоды (малина, клубника и др.);
- со средним сроком хранения – томаты, баклажаны, огурцы, тыква, арбузы, вишня, сливы, абрикосы, персики и др.;
- с длительным сроком хранения – картофель, корнеплоды, капуста, лук, яблоки, груши, цитрусовые и др. [4].

В пределах каждого вида продолжительность сохранения зависит от срока созревания (ранние, средние, поздние) и лежкоспособности. Лежкоспособность считается свойством помологических, ампелографических, хозяйственно-ботанических сортов сохранять в течение определенного периода высокие товарные показатели (общие потери от микробиологических и физиологических заболеваний не превышают 10%) [2].

Например, на устойчивость в хранении влияет содержание клетчатки, лигнина, пектина. Высокое содержание дубильных и красящих веществ (полифенолов) определяет устойчивость к патогенным микроорганизмам. Это отмечено у яблок, у которых интенсивно окрашенные плоды (в пределах одного сорта) меньше поражаются болезнями. Лучше сохраняется красно-

кочанная капуста, чем белокочанная; окрашенные сорта лука по сравнению с неокрашенными. Лежкоспособность большинства сортов плодов и овощей хорошо изучена. Она зависит от целого ряда факторов: химического состава, особенностей анатомического строения, устойчивости к микроорганизмам, условий выращивания, транспортирования и хранения. Удлиняет сохранность плодов покровная ткань, толстые стенки клеток, наличие воскового налета. В пределах каждого ботанического сорта более высокой лежкоспособностью отличаются экземпляры среднего размера.

Увеличить срок хранения плодов и овощей позволяет способность к дозреванию, то есть способность созревать после снятия с растения. Этим свойством обладают отдельные виды плодов и овощей (яблоки, томаты, дыни и др.), а внутри вида – сорта позднего срока созревания. Можно выделить несколько общих процессов при дозревании плодов и овощей. В плодах, содержащих крахмал, происходит его гидролиз до глюкозы; содержащих сахарозу – ее гидролиз и образование кислот, дубильных веществ; происходит разложение нерастворимого пектина и переход его в растворимую форму. В связи с этим снижается плотность тканей, формируется характерный вкус и аромат. С дозреванием у одних плодов увеличивается, а у других – уменьшается содержание витамина С. У некоторых увеличивается содержание пигментов.

Дозревание вегетативных овощей происходит по-разному. В картофеле продолжается синтез крахмала, образование из простых белков сложных, высокомолекулярных. Продолжает укрепляться кожица отложением в ней пробки, усиливается прирастание кожицы к мякоти. В корнеплодах за счет распада крахмала увеличивается содержание сахара и продолжается отложение пробки в кожице. В луке за счет высыхания наружных чешуй образуются сухие крошащиеся чешуи. У всех плодов и овощей при дозревании отмечается высокая интенсивность дыхания. Таким образом, направленность многих процессов при дозревании во многом совпадает с процессами созревания плодов и овощей. Чем продолжительнее период дозревания, тем больше их способность сохраняться. Например, плоды летних сортов яблок, которые успевают сформироваться до уборки и не нуждаются в послеуборочном дозревании, можно сохранять очень короткий

срок. Плоды зимних сортов окончательно формируются после уборки при хранении [2].

По данным Росстата РФ в настоящее время уровень самообеспеченности по многим видам плодов и овощей пока не достаточен для продовольственной безопасности страны. Современный подход к управлению качеством плодоовощной продукции позволит снизить потери при ее хранении и реализации. Одним из таких решений является создание оптовых продовольственных рынков, которые обеспечат применение современных технологий хранения с учетом индивидуальных особенностей каждого вида плодов и овощей [5]. Это поможет решить экономические и социальные задачи оптимизации отечественного продовольственного рынка, обеспечения доступности продуктов питания для населения и укрепить продовольственную безопасность страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации: указ Президента Российской Федерации от 21 января 2020 года № 20. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564161398> (дата обращения: 18.10.2022).

2. Управление качеством плодоовощной продукции / В.И. Бакайтис, О.В. Голуб, Т.В. Плотникова [и др.]. Новосибирск: СибУПК, 2015. 148 с.

3. Продукты растительного происхождения. Атлас аннотированный / О.А. Рязанова, В.И. Бакайтис, М.А. Николаева [и др.]. СПб.: Лань, 2020. 556 с.

4. Экспертиза свежих плодов и овощей. Качество и безопасность / под ред. В.М. Позняковского. СПб.: Гиорд, 2022. 560 с.

5. Концепция развития оптовых продовольственных рынков в Российской Федерации: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 сентября 2021 г. № 2689-р. URL: <http://government.ru/docs/all/136730/> (дата обращения: 21.10.2022).

V.I. Bakaytis

Quality management of fruits and vegetables to ensure food security
An analysis of the factors for managing the quality of fruits and vegetables is given, and the role of wholesale food markets in organizing storage and sales is outlined.

ch_expert@sibupk.nsk.su

А. В. ГРЕБЕНЮК, аспирант каф. ТУ, ТУСУР, Томск

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОТЫ ТРЕВОЖНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ ПРИ ПОМОЩИ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ

Рассматривается повышение достоверности обнаружения несанкционированных действий с помощью устройства контроля тревожной сигнализации.

Тревожная сигнализация – это одна из наиболее примитивных и бюджетных разновидностей систем безопасности. Система тревожной сигнализации представляет собой совокупность технических средств, обеспечивающих формирование извещения о тревоге, его передачу и прием.

В отличие от охранной сигнализации, активация тревожной сигнализации осуществляется вручную ответственными лицами, к которым относят некоторых работников организации или штатных охранников. Чаще всего тревожная сигнализация используется в финансовых структурах, где необходим постоянный открытый доступ работника к материальным ценностям и денежным средствам, но при этом существуют довольно ограниченные возможности контроля посетителей [1, 2].

Кнопка активации тревожной сигнализации должна быть размещена в месте, скрытом от посетителей, но оставаться в пределах быстрого доступа для работников учреждения, чтобы ее использование было незаметным для криминальных элементов. Как работает тревожная кнопка? После ее нажатия сигнал о противоправных действиях на подконтрольной территории поступает на пульт службы охраны. На охраняемый объект направляется группа быстрого реагирования. Как показывает статистика, есть вероятность несрабатывания системы в момент нападения на объект – сигнал тревоги не доходит до пульта центрального наблюдения. Это происходит из-за множества факторов, которые могут влиять на ежедневную ручную проверку работоспособности системы тревожной сигнализации.

Для повышения достоверности работы тревожной сигнализации создано устройство ее контроля. Устройство контролирует

своевременность проверки тревожной сигнализации с учетом графика работы учреждения, а также установленного времени проверки и проверяемого элемента. В случае неисправности или игнорирования процесса проверки человеком устройство подает команду на подачу звукового сигнала, которым может быть речевое напоминание или условная мелодия. Устройство после снятия с охраны проверяет текущее время. Если оно удовлетворяет условиям заданного диапазона, то в течение 45 мин начинает выдавать звуковое оповещение о необходимости проверки тревожной кнопки, если она не была проверена.

В программном обеспечении предусмотрен тестовый режим работы, в котором временной период равен 24 ч благодаря установлению тестовой переключки, что сокращает время проверки до 2 мин.

Данное устройство установлено в 70 отделениях банков г. Томска. Собирается статистика работы устройства и системы тревожной сигнализации. С установкой разработанного устройства достигнута 100% проверка тревожных кнопок во всех отделениях с выявлением на ранней стадии неисправностей в системе тревожной сигнализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технический регламент о требованиях безопасности: Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 29.07.2017).

2. ГОСТ Р 50775-95. Системы тревожной сигнализации. М.: Госстандарт России.

A.V. Grebenyuk

Improving alarm operation using a monitoring device

This article discusses monitoring the operation of an alarm system and increasing the reliability of detecting unauthorized actions using an alarm monitoring device.

Grebenuk1994@mail.ru

Т. Ф. ДАНГ, аспирант каф. ТУ, ТУСУР, Томск

**ВОЗМОЖНОСТЬ УЛУЧШЕНИЯ
ХАРАКТЕРИСТИК НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ
В УСЛОВИЯХ ВОЗРАСТАЮЩЕЙ
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ**

Рассматривается применение методов математического моделирования с использованием пакета Mathcad для расчета диаграммы направленности антенны радиолокатора. Ключевые слова: фазированная антенная решетка, диаграмма направленности, боковые лепестки.

Настоящее время требует постоянного повышения эффективности использования радиолокационных систем, реализации их потенциально достижимых возможностей по обнаружению любых воздушных объектов. В этой связи в данной статье рассматривается возможность улучшения характеристик направленности антенны в условиях возрастающей радиоэлектронной борьбы (РЭБ).

Конструкция фазированной антенной решетки (ФАР) канала визирования состоит из блока фазированной антенной решетки и блока облучателей, который в свою очередь состоит из поляризаторного фильтра, поляризатора и облучателей двух каналов приема/передачи (рисунок 1). При моделировании использовались следующие конструктивные характеристики и параметры антенны: форма раскрыва ФАР прямоугольная, размер $2,34 \times 2,06$ м; передающий облучатель – пирамидальный рупор с осесимметричной диаграммой направленности; приемный облучатель моноимпульсный, реализует суммарно-разностную обработку; размер основного рупора $8,5 \times 6,5$ см; исходное значение рабочей длины волны 3,2 см ($\lambda_p = 1,4a$, где a – размер широкой стенки питающего волновода).

Направленные свойства антенной системы на излучение/прием определяются в основном ФАР и её облучателем.

Разработана математическая модель для расчета диаграммы направленности (ДН) антенны [1]. Определены значения параметров главного лепестка, уровней боковых лепестков в окрест-

ности, прилегающей к главному, получены графики диаграмм на излучение и прием, в частности графики парциальных лучей антенной решетки [2] (рисунок 2).

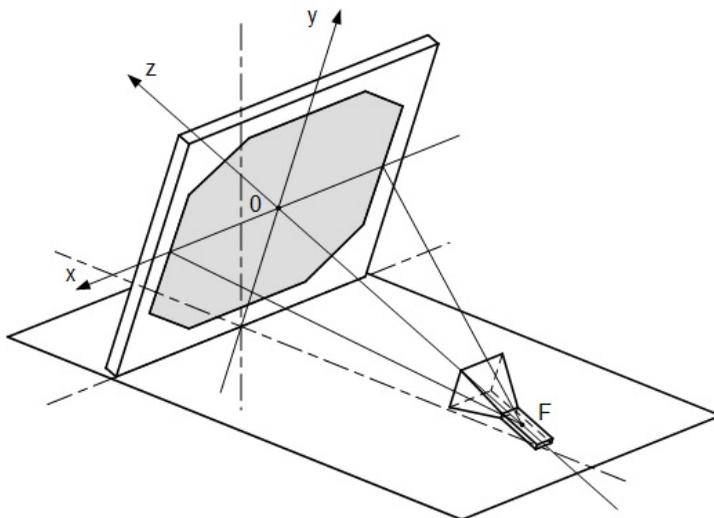


Рисунок 1 – Конструкция фазированной антенной решетки

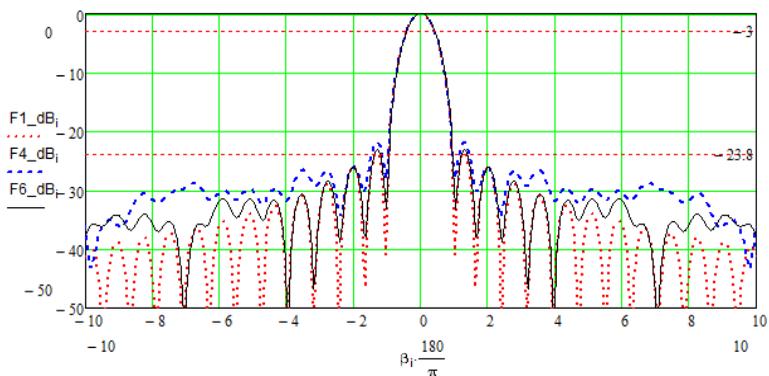


Рисунок 2 – Графики множителя системы фазированной антенной решетки в логарифмическом масштабе: сплошной соответствует дискретному режиму фазовращателей при $\Delta\phi = 22,5^\circ$; пунктирный – при $\Delta\phi = 45^\circ$; точечный – аналоговому режиму фазовращателей

Исследовано влияние на направленные свойства решетки рабочей длины волны, способа управления фазовым распределением в «косых» плоскостях, оценено снижение среднего уровня боковых лепестков (что важно в условиях РЭБ) за счет изменения дискретности фазовращателей (ФВ) решетки с $\pi/4$ на $\pi/8$.

В секторе углов $\pm 10^\circ$ относительно максимума главного лепестка средний уровень боковых лепестков $F_{\text{блср}}$ снижается примерно на 5 дБ. В пределах зоны прямой видимости это позволяет уменьшить дальность проведения радиотехнической разведки параметров сигналов на 43,8%.

Разработана модель расчета амплитудно-фазового распределения (АФР) поля на раскрыве рупорного облучателя в плоскостях E и H поля основной волны с учетом имеющих место фазовых ошибок. Разработана модель расчета ДН облучателя, соответствующих ей параметров закона распределения поля на раскрыве решетки для режимов излучения и приема сигналов. Исследовано выполнение условия единственности главного максимума ДН решетки при отклонении луча антенны в режиме сканирования на максимальный требуемый угол для управления фазовым распределением в «косых» плоскостях. Оценена эффективность снижения уровня боковых лепестков ДН антенны за счет уменьшения фазовых ошибок на раскрыве [3], вызванных дискретностью управления фазовым распределением. Путем расчета установлена возможность снижения дальности проведения радиотехнической разведки противником за счет использования им излучения антенны через боковые лепестки ДН.

Выводы

Разработанная математическая модель расчета параметров антенны позволила получить результаты, характеризующие направленные свойства канала визирования, а также провести оценку параметров ДН: ширина главного лепестка на уровне половинной мощности $0,84^\circ$ при дискретности ФВ $\pi/4$ $F_{\text{бл1}} \leq -22$ дБ, в секторе $\pm 10^\circ$ средний уровень $F_{\text{бл}} \leq -30$ дБ, коэффициент использования площади антенны 0,82, коэффициент усиления 43 дБ. Основным фактором, существенно влияющим на уровень боковых лепестков ДН ($F_{\text{бл}}$), является дискретный характер управления АФР поля на раскрыве решетки [4]. Как вариант решения предлагается уменьшить дискретность до $\pi/8$.

Результаты исследования могут использоваться для радиолокаторов с целью совершенствования характеристик направленности их антенн, в частности оптимизации параметров ФАР, а также поиска рационального варианта размещения ее элементов для расширения возможностей радиолокаторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Филиппов В.С. Пономарев Л.И. Гринев А.Ю. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток: учеб. пособие. М.: Радио и связь, 1994. 593 с.

2. Хансен Р.С. Фазированные антенные решетки. М.: Техносфера, 2012. 560 с.

3. Скобелев С.П. Фазированные антенные решетки с секторными парциальными диаграммами направленности: дис. ... д-ра физ.-мат наук. М., 2014. 320 с.

4. Диаграммообразование в антенных решетках / И.Б. Вендик [и др.]. М.: Физматлит, 2020. 112 с.

T.F. Dang

Possibility to improve antenna directive characteristics in conditions of developing requirements of electronic warfare

The work uses mathematical modeling methods using the Mathcad package to calculate the radiation pattern of the radar antenna.

Keywords: phased array antenna, radiation pattern, side lobes.

dangtuanphuong01111998@gmail.com

УДК:625.745.12:378:371.214

В. М. КАРТОПОЛЬЦЕВ, д-р техн. наук, профессор,
действ. чл. МАН ВШ

А. В. КАРТОПОЛЬЦЕВ, канд. техн. наук, доцент,
ООО «ДИАМОС», Томск

Д. Н. ЧЕРЕПАНОВ, канд. физ.-мат. наук, доцент,
Томский государственный архитектурно-строительный
университет, Томск

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УЧЕБНЫХ ПРОГРАММ УГЛУБЛЕННОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА РАСШИРЕНИЕМ УРОВНЕЙ КОМПЕТЕНЦИЙ

Развитие компетенций будущих специалистов профиля подготовки 08.03.01.16 «Автомобильные мосты и тоннели» в рамках реализации национального проекта совершенствования высшего образования в России должно реализовываться в направлении углубленного изучения базовых дисциплин, связанных с проектированием, строительством и эксплуатацией мостовых сооружений. В настоящее время модули рабочих дисциплин Б1.В.13, Б1.В.08 обеднены учебным и научным материалом, связанным с изучением динамики пролетных строений мостов, а также их вибродиагностики. Компетенции специалистов транспортного строительства в рамках выполнения нацпроектов должны включать не только строительство качественных сооружений, проектно-технологические, организационно-управленческие аспекты, но и научно-образовательные циклы. При возрастающем воздействии разнообразного типа временных подвижных нагрузок в виде случайного транспортного потока требуется пересмотр существующих компетенций в подготовке специалистов транспортного строительства, а также архиважно углубление знаний на основе значительного количества научных направлений в области гармонических колебаний. Одним из разделов совершенствования учебных программ является внедрение курса по регулированию динамических характеристик.

Ключевые слова: пролетное строение, мост, деформации, статические параметры, динамика, система, упругопластическое состояние, бистальные балки.

Введение

В мировой практике мостостроения ведущее место отводится проблеме исследования динамики пролетных строений, имеющей почти вековую историю. Рабочие программы по специальности 08.03.01.16 в части дисциплин, связанных с проектированием мостов, в частности автодорожных, не обеспечивают уровень компетенций, достаточный для оценки динамического состояния пролетных строений мостов при возрастающем воздействии временных подвижных нагрузок. Подтверждением этого служит сравнение теоретических и экспериментальных значений динамических характеристик, полученных в процессе вибродиагностики мостов на протяжении более 50 лет [1–5]. Другим фактором повышения уровня и роли компетенций специалистов мостовой индустрии является участие в разработке нормативной базы регламентирующих документов для проектирования, строительства и эксплуатации мостов в условиях перспективного развития транспортной инфраструктуры Российской Федерации совместно с реализацией национальных государственных проектов. Для этого назрела необходимость совершенствовать и разработать новые научно обоснованные нормативные параметры, отражающие достижения в области динамики мостов.

Общеизвестно, что нормативные динамические характеристики пролетных строений мостов в России строже и обоснованнее, чем в других странах. Тем не менее компетенции специалистов, полученные по существующим учебным программам, зачастую не позволяют своевременно мотивированно отреагировать, а также оперативно и обоснованно отвечать на вызовы со стороны воздействия зарубежных подвижных нагрузок (рисунки 1, 2) [6, 7].

Значение усилий от зарубежных нагрузок проектирования значительно превышают усилия от нагрузок по отечественным нормам (рисунок 3).

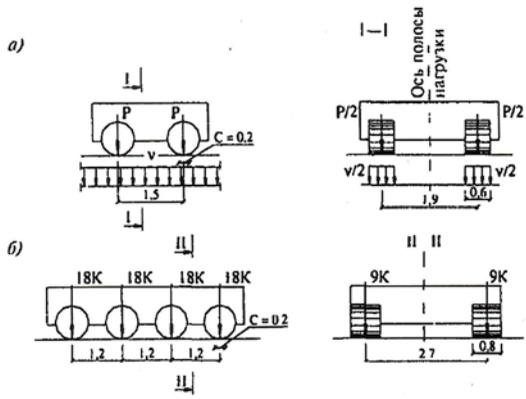


Рисунок 1 – Схемы нагрузок от подвижного состава для расчета автодорожных и городских мостов:
 а – автомобильная нагрузка АК в виде полосы равномерно распределенной нагрузки интенсивностью v и одиночной тележки; б – тяжелая одиночная нагрузка НК

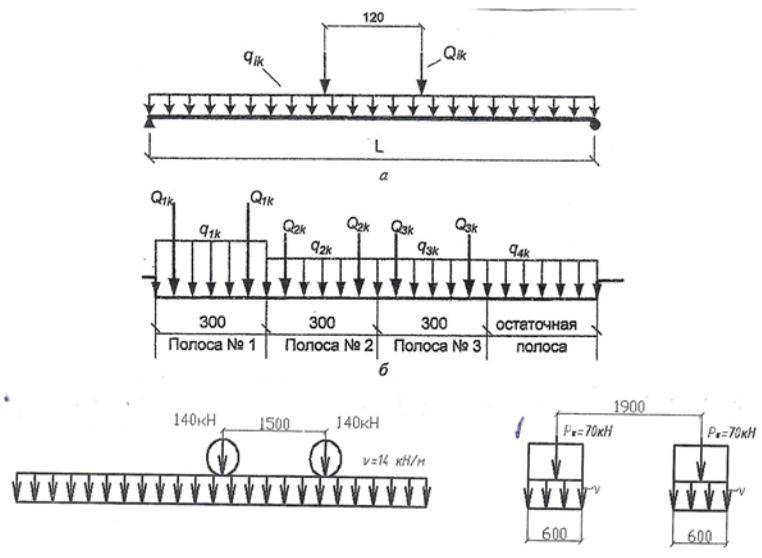


Рисунок 2 – Схема загрузки LM1: а – продольная установка нагрузки на пролетном строении; б – поперечная установка нагрузки на пролетном строении; в – схема временной автомобильной нагрузки

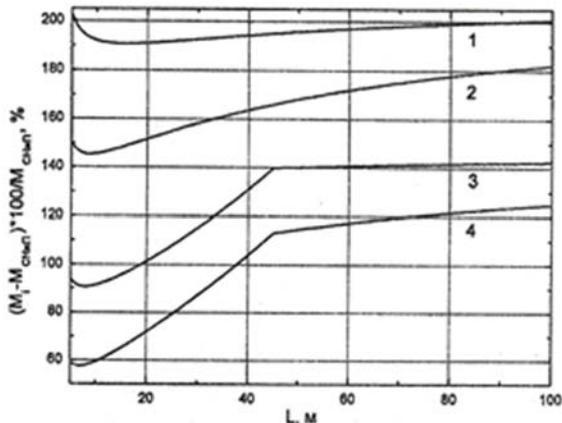


Рисунок 3 – График соотношений изгибающих моментов: 1, 2 – при одной полосе движения; 3, 4 – при двух полосах движения

У 120 диагностируемых автодорожных мостов в различных регионах Российской Федерации частоты собственных колебаний от воздействия отечественной и зарубежной нагрузки не соответствуют нормативным значениям (рисунок 4).

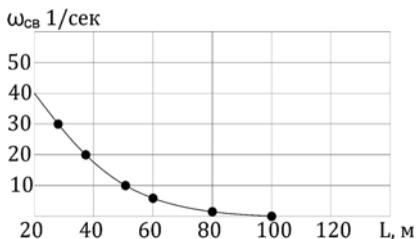


Рисунок 4 – Зависимость собственной частоты от длины пролета стальных мостов

Это связано прежде всего с тем, что существующие динамические расчеты не отражают реальное динамическое напряженно-деформированное состояние при воздействии возрастающей временной подвижной нагрузки в виде случайного потока и не соответствуют условиям, когда приращение возмущающей силы $P_{вр}$ за реальный промежуток времени $t_0 - t$ считается фак-

тором и параметром усиления колебания ΔP_{\max} , которое определяется выражением

$$\Delta P_{\max} = \frac{P_{\text{вр}} T}{2t_0}, \quad (1)$$

где T – период колебания, с.

Белым пятном в существующем образовательном процессе подготовки специалистов в области мостостроения является отсутствие информации о динамике процесса изгиба балок пролетных строений, включая сведения о процессе ускорения динамических колебаний, приводящего к увеличению динамических характеристик, а также о влиянии динамической добавки μ [8, 9].

Необходимость расширения уровня компетенций при подготовке современных специалистов транспортного строительства была обоснована в решениях всесоюзных симпозиумов по влиянию вибрации на организм человека и проблеме виброзащиты сооружений, проводимых под эгидой АН СССР в период 1977–1984 гг., где рассматривались воздействия неконтролируемой вибрации пролетных строений на режим движения автотранспорта по мосту и уровень комфорта для пассажиров в транспорте, их безопасность с учетом особенностей воздействия колебаний многоосных автомобилей и неровностей на проезжей части мостов [10–12].

Таким образом, углубленное изучение специальных дисциплин динамики мостов в учебных программах подготовки специалистов мостостроения способствует повышению уровня компетенций в исследовании механизма динамических колебаний, теоретической и практической реализации при проектировании, строительстве и эксплуатации, а также совершенствованию современной и перспективной вибродиагностики мостов [13, 14]. В обоснование данного тезиса отметим, что отечественные нормы ориентированы на динамическое воздействие преимущественно трехосных и четырехосных автомобилей, что не соответствует современному парку автотранспорта. В этом случае при динамическом воздействии многоосных автомобилей в случайном транспортном потоке спектр реакций, измеренный в конкретном сечении балки пролетного строения, достигает максимума на частотах, на которых находится максимум воздействия

от временной нагрузки в виде собственных и вынужденных частот. Совершенствование методики определения динамических характеристик в данном случае заключается в разделении этих максимумов на спектр собственных и вынужденных частот, причем для собственных частот условием является сдвиг по фазе $\varphi = 0$, тогда как для вынужденных колебаний в противофазе $\varphi \pm 180^\circ$ такая синхронизация колебательного процесса невозможна на промежуточных значениях $\varphi = 0-180^\circ$. Несовершенство в определении частотных характеристик пролетных строений мостов отражают динамические испытания сталежелезобетонного неразрезного восьмипролетного автодорожного моста через р. Томь в г. Кемерово длиной 546,6 м на динамическое воздействие случайного транспортного потока (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты вибродиагностики автодорожного моста

Марка автомобиля	Спектр частот вынужденных колебаний, Гц	
	Нижний диапазон	Верхний диапазон
КАМАЗ 54115	2,66–7,26	10,7–15,73
Volvo FH12	2,43–4,90	6,77–8,17
Татра 815-2051	2,30–3,50	6,25–8,10
КАМАЗ 4310	2,80–3,40	7,20–10,0

Диапазон вынужденных колебаний пролетных строений из-за большого разброса значений не входит ни в один из параметров сравнения с нормативными значениями.

Из таблицы 1 видно, что несоответствующая отечественным нормативным документам нижняя спектральная область колебаний с периодом $T_c = 0,3-0,5$ с и частотой $P_o = 2-3$ Гц соответствует диапазону сосредоточения параметров не собственных колебаний, а частотам наддресорной части автотранспорта, тогда как верхняя спектральная область колебаний с периодом $T_c = 0,1-0,16$ с и частотой $P_o = 6,25-10$ Гц относится не к балкам, а к собственным колебаниям подрессорной части автомобиля. В то же время в нижней спектральной области значения вынужденных колебаний сосредоточены в диапазоне 2,7–5,8 Гц с промежуточными пиками виброграмм 2,9–0,02 Гц, 4,4–0,02 Гц и 5,7–0,002 Гц и характеризуют не частоту балок пролетных строений, а частоту собственных колебаний транспорта 3,2–3,6 Гц.

Верхний диапазон вынужденных колебаний также отличается от нормативных значений и находится в пределах 8,6–9,2 Гц.

Было установлено, что при скорости движения транспорта в потоке $V = 20,8$ м/с после схода с пролетного строения амплитуда собственных колебаний балки пролетного строения увеличивается на 7,6% по сравнению с расчетом, а величина динамического прогиба $y_{\text{дин}}^{\text{max}}$ в 25% случаев не совпадает с теоретическим значением. Когда временная подвижная нагрузка проходит через середину пролета, чем меньше пролет балки, тем больше несоответствие отношения $\frac{y_{\text{дин}}^{\text{max}}}{y_{\text{ст}}}$ (рисунок 5).

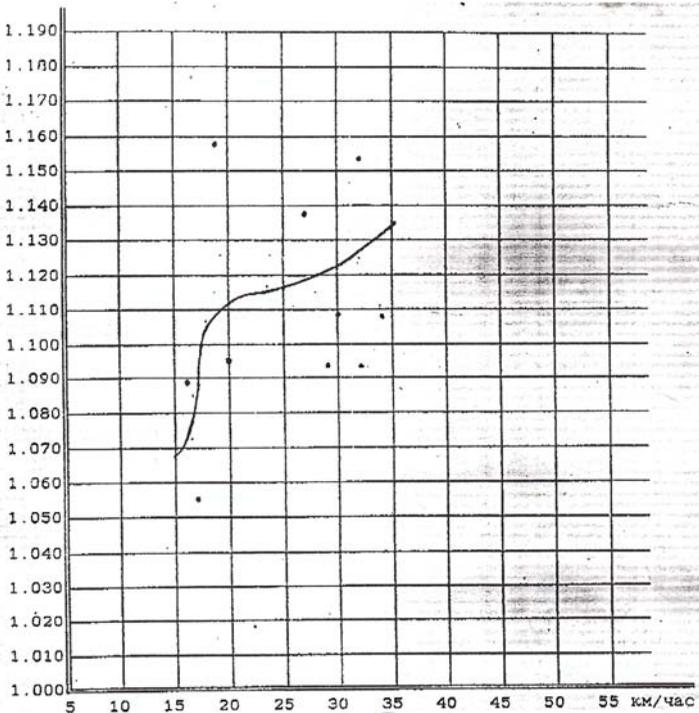


Рисунок 5 – График зависимости динамического коэффициента пролетного строения от скорости движения многоосной нагрузки

Таким образом, внедрение и совершенствование предлагаемых компетенций позволит специалисту не только определять, но и контролировать динамические характеристики, а также оптимизировать сценарии расчета при проектировании и эксплуатации пролетных строений мостов, потому что современные нормативные документы не предусматривают универсальных характеристик жесткости, инерционности и динамической добавки при условии учета неровностей проезжей части.

Литературный обзор

В настоящее время компетенции в рабочих программах дисциплин, связанных с проектированием мостов, при подготовке специалистов в области транспортной индустрии отражают нормативные материалы и расчеты пролетных строений на основе бездефектности элементов. Данное обстоятельство не только показывает очевидную фиктивность напряженно-деформированного и предельного состояния несущих конструкций, но и является серьезным препятствием для развития и совершенствования оценки реальной несущей способности и долговечности пролетных строений. В связи с этим требуется разработка образовательных учебных программ и компетенций, основанных на получении и анализе дополнительной информации на каждом этапе от проектирования до эксплуатации [15]. Одним из элементов таких компетенций является расширение знаний о воздействиях временных подвижных нагрузок, имеющихся в настоящее время, а также с учетом перспективы на автомобильных дорогах и мостах Российской Федерации (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнение подвижных нагрузок в разных странах

L, м	Эквивалентная нагрузка q_e , кН/м (т · с/м)					
	Россия	Германия	Нидерланды	Норвегия	Швейцария	Франция
40	53	83	108	108	94	101
50	46	70	91	94	86	89
60	42	65	79	84	81	80
70	39	62	70	77	77	74
80	37	59	64	71	73	68
90	35	57	58	66	71	64
100	34	56	54	63	69	61
120	33	55	52	61	68	59

Из таблицы 2 видно, что, несмотря на некоторые послабления нагруженности, в Российской Федерации по отношению к другим странам, транзитные перевозки с использованием иностранных фургонов уже сегодня изменяют режим нагруженности отечественных мостов, запроектированных и построенных по различным нормам в разное время. В соответствии с этим современные компетенции специалистов должны включать элементы глубокого анализа отступлений реальных эксплуатационных показателей технического состояния мостов от их нормативных значений. Так, максимальный изгибающий момент от подвижной нагрузки M_{\max}^q необходимо определять с учетом этих обстоятельств, используя гипотезу Монте-Карло и метод распределения Гумбеля:

$$M_{\max}^q = \sum_{j=1}^n \cdot \sum_{i=1}^K \cdot P_{ij} \cdot \eta_{ij} \left[V_j \cdot (t_n - t_j) - d_{ij} \right], \quad (2)$$

где n – количество грузов на поверхности влияния длиной L ; K – количество осей в j -м грузе (2, 3, 5, 7, 9); P_{ij} – вес транспортного средства; V_{ij} – средняя или максимальная (регламентируемая) скорость движения i -го транспортного средства; t – время прохода пролета длиной L ; d_{ij} – расстояние между осями транспортного средства (среднее).

Использование формулы (2) в рамках компетенции позволяет прогнозировать динамические нагрузки и реальные деформационные характеристики при динамическом нагружении.

Углубленное изучение процесса динамического нагружения пролета (поезд или случайный транспортный поток), когда движение происходит по неровной проезжей части моста, раскрывает перед специалистом возможность обосновать колебания от периодически повторяющихся ударов.

Совпадение частоты колебаний балок от ударов с частотой собственных колебаний усугубляется выявлением эффекта ускорения или усиления колебаний и их амплитудно-частотных характеристик. Разделы учебных программ дисциплин по проектированию мостов в рамках существующей компетенции обеднены инструментами изучения данного процесса, который характеризуется показателем комплексной жесткости современных

конструкций пролетных строений мостов [16]. Новые сведения из результатов вибродиагностики мостов объясняют зависимость ускорения колебаний от скорости деформирования балки пролетного строения и частоты собственных колебаний.

В режиме поличастотных колебаний, какими рассматриваются гармонические случайные колебания мостов под действием временной подвижной нагрузки, справедлива зависимость

$$P = \pi \frac{V}{\ell}. \quad (3)$$

Рассматривая неровность на проезжей части как фактор усиления колебаний, скорость V в формуле (3) следует заменить на скорость

$$V_{\text{кр}} = \frac{PL\ell_n}{\pi(2L + \ell_n)}, \quad (4)$$

где P – собственная круговая частота колебаний балки; ℓ_n – расстояние между неровностями на проезжей части; L – длина пролета.

Представляя неровности на поверхности проезжей части детерминированной гармонической функцией, скорости захода на мост V_0 и скорости схода с моста V_1 можно считать равноускоренными или равнозамедленными, характеризуемыми коэффициентом неравномерности движения

$$\gamma = \frac{2}{\left(\frac{V_0}{V_1}\right)^2 - 1}, \quad (5)$$

где $-\gamma$ соответствует равнозамедленному движению; $+\gamma$ – равноускоренному.

Коэффициент ускорения a при этом определяется из выражения

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{a}{\gamma}. \quad (6)$$

Ускорение функционально зависит от воздействия постоянной и временной нагрузки системы. Используя в обоих случаях параметр комплексной жесткости k , при статическом нагружении получим

$$k_c = 48 \frac{EJ}{\ell^3}. \quad (7)$$

Динамическая характеристика комплексной жесткости

$$k_d = 4\pi^2 \frac{M^D}{T^2}, \quad (8)$$

где $T = 2\pi \sqrt{\frac{P^{(1+\Pi)n}}{q} \frac{\ell^3}{48EJ}}$.

Связь комплексной жесткости с амплитудно-частотными характеристиками балки при гармонических колебаниях носит универсальный характер и имеет вид

$$k_{(w)} = \frac{-\sin \varphi_{(w)}}{PA_{(w)}}, \quad (9)$$

где $A_{(w)}$ – амплитудная характеристика ускорения частоты колебаний.

Для определения параметра $A_{(w)}$ запишем уровень потенциальной энергии колебания:

$$W_n = 0,5k_{(w)}A_{(w)}^2. \quad (10)$$

Зная, что угол $\varphi_{(w)}$ в формуле (9) является фазовой характеристикой (сдвиг фаз, равный $90-180^\circ$), получим отношение $\frac{\Delta W}{W_n} = \Psi$, где $\Delta W = -\pi A_{(w)} \sin \varphi_{(w)}$ – потеря энергии за цикл;

Ψ – коэффициент поглощения энергии, составляющий $\approx 0,17$, или $\Psi = 2\pi\nu$, где $\nu = -\operatorname{tg} \varphi_{(w)} = \frac{-\sin \varphi_{(w)}}{\cos \varphi_{(w)}}$. Таким образом, па-

раметр $A_{(w)}$ является амплитудно-фазовой характеристикой, отображающей показатель комплексной жесткости, а его фазовая часть $\varphi_{(w)}$ является, как и ускорение, составляющей в гармоническом колебании [17] (рисунок 6).

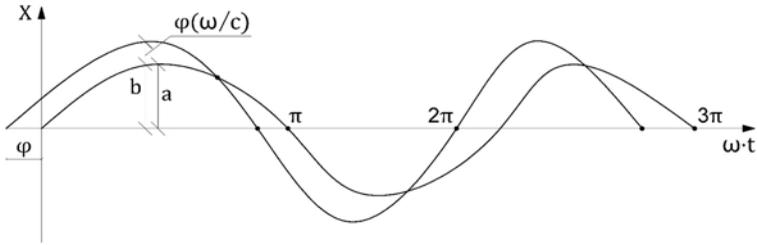


Рисунок 6 – График смещения фаз колебаний

В этом случае значение φ определено Дж. П. Гартгомом:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{V_0 P^2}{V_0 + nV_0}, \quad n = 1. \quad (11)$$

Современная концепция упругопластичного расчета балок пролетных строений мостов требует разностороннего понимания динамической работы, а значит, и новых компетенций. Прежде всего это связано с изучением эффекта раскачивания балок либо от сил индукции при свободных колебаниях, либо от возмущающей силы при вынужденных колебаниях.

Рассматривая в качестве основной мотивации проявление внутренней силы упругости, способствующей возврату в исходное положение и равной силе упругопластического деформирования, полагаем, что эффект затухания колебания при возврате в исходное состояние связан с диссипацией (рассеянием энергии). В свою очередь энергия диссипации является энергией, затрачиваемой на гашение свободных и вынужденных колебаний с учетом ускорения деформаций. Дополнительные знания обучающихся по программам специалитета в области транспортного строительства повысят мотивированное обоснование при определении скорости деформаций V_s изгибных гармонических колебаний с учетом диссипации при условии $\varepsilon_{(t)} = V_s t$. Зададим начальные условия в виде $\frac{\sigma T}{E} = \varepsilon_{\text{упр}}$, $\varepsilon_s = \varepsilon_{\text{упр}} + \Delta\varepsilon$, тогда $\Delta\varepsilon$ – прирост деформаций со скоростью V_s , будет определяться из зависимости « σ – ε » (рисунок 7).

При $\sigma_s = \frac{\sigma T}{E} \exp\left(\frac{-E_t}{k}\right)$ для определения скорости деформации V_s справедливо равенство из [18]. Тогда скорость нарастания деформации при изгибных колебаниях с учетом ускорения составит

$$\Delta V_s = V_s k, \quad (12)$$

где $k = \frac{E}{\varepsilon}$; E – модуль упругости материала; ε – коэффициент затухания, равный 1,15; $E_t = 0,02E$ – тангенциальный модуль.

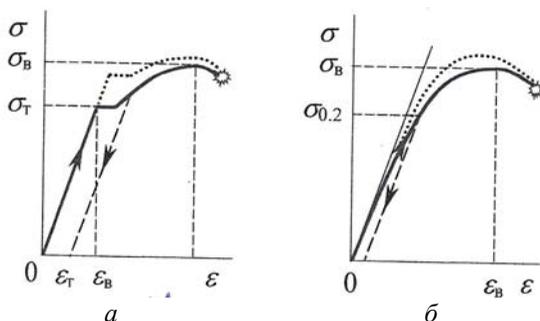


Рисунок 7 – Типы диаграмм деформирования материалов:
 а – с физическим пределом текучести; б – с условным
 пределом текучести (..... быстрое нагружение;
 — медленное нагружение)

Принимая энергию W_n из выражения (10) при одноосном нагружении равной соотношению некоторых величин σ_a и ε_a , вычисленных по площади на диаграмме « $\sigma_a - \varepsilon_a$ » (рисунок 8,а), запишем

$$W_n = S_0^{\varepsilon_a} \sigma_{(\varepsilon)} d\varepsilon. \quad (13)$$

Тогда ΔW – это величина необратимой энергии, равная площади рассеяния энергии на диаграмме рисунка 8,б за один цикл времени t :

$$\Delta W = W - \frac{\sigma_0^2}{E} = S_0^{\varepsilon_0} \sigma_{(\varepsilon)} d\varepsilon. \quad (14)$$

Принимая форму петли гистерезиса эллиптической (см. рисунок 8,б), можно записать выражение

$$\Delta W = \pi \varepsilon_0 \sigma_0. \quad (15)$$

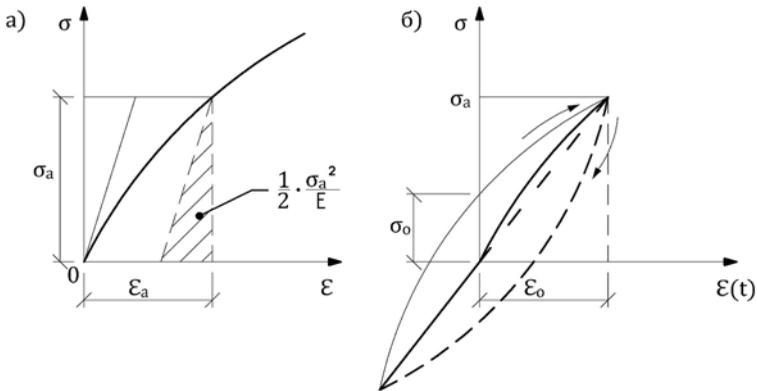


Рисунок 8 – Диаграмма « σ – ε_a » одноосного нагружения (а); форма петли гистерезиса диаграммы « σ_0 – ε_0 » (б)

Отдельное толкование дополнительного воздействия динамической нагрузки на пролетные строения мостов отечественными и зарубежными нормативными документами не отражает реальную картину причин воздействия и изменения динамических характеристик. Существующие эмпирические зависимости, оценивающие динамический эффект, создаваемый движущимся транспортом в балках пролетных строений, выражаются динамическим коэффициентом, традиционно отображающимся через зависимость от длины пролета, а не от его энергетической составляющей [19]. Деструктивные процессы, происходящие в материале и конструкциях балок пролетных строений, а также дополнительные инерционные нагрузки, способствующие ускорению колебаний, в том числе с учетом изменения воздействия и скорости движения транспорта, дают основания мотивированному объяснению явлений на основе внедрения новых компетенций в процесс изучения в специальных программах и исследованиях [20, 21].

Одним из направлений, рассматривающих уточняющие обстоятельства, включая дополнительное динамическое воздействие на несущие балки пролетных строений мостов, авторами

предлагается расширить действия по вовлечению параметра жесткости в оценку динамического эффекта. Целесообразность предложения подтверждается известными зависимостями динамической жесткости и ускорения пролетного строения за счет инерции и действия временной подвижной нагрузки за счет ускорения. Предполагая первую форму колебания в виде синусоиды (рисунок 9) и равенство $\delta_{св}$ динамической податливости $\frac{1}{C}$, определим дополнительные прогибы в сечении балки от движущейся нагрузки.

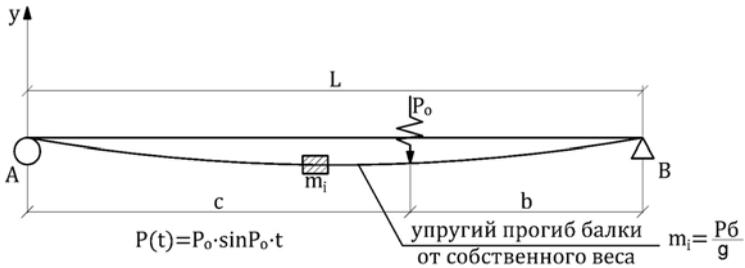


Рисунок 9 – Схема динамического расчета балки

Амплитуда динамического прогиба $A\left(\frac{1}{C}\right)$ вследствие динамической податливости выражается формулой

$$A\left(\frac{1}{C}\right) = -\frac{1}{2k} \left[\frac{\sin k \cdot c \cdot \sin k \cdot b}{\sin U} - \frac{\sin k \cdot c \cdot x \cdot \sin k \cdot b}{\sin U} \right], \quad (16)$$

где $U = k_1 = n_1 = 1$ – первая (основная) гармоника колебания балки; $k_1 = \frac{\pi}{\ell}$. Для второй и третьей форм колебания соответственно $k_2 = \frac{2\pi}{\ell}$; $k_3 = \frac{3\pi}{\ell}$.

В свою очередь дополнительные прогибы являются результатом действия импульса, создающего мгновенное увеличение скорости колебания. В этом случае сила инерции и собственные

колебания $P_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$ находятся в одной фазе $\varphi = 0$, тогда как вынужденные колебания и нагрузка $P \cdot \sin \varphi t$ находятся в разных фазах со сдвигом 90° .

Полагая динамический коэффициент и динамическую добавку загужающей периодической функцией $e^{-\frac{\gamma \cdot \pi}{m}}$, усиление колебаний для поддержания ускорения без и с учетом потерь в виде коэффициентов потерь $y_{(P_0, w)} = -\text{tg } \varphi_{(P_0, w)} = -\frac{\sin \varphi_{(P_0, w)}}{\cos \varphi_{(P_0, w)}}$, соотношение масс автотранспорта и пролетного строения $\beta = \frac{m_a}{m_{\text{пр}}} \approx 0,5-0,7$ [21], запишем выражение эмпирической зависимости для амплитуды ускорения собственных колебаний:

$$A_C = \frac{2P_{\text{вр}}\beta}{P_0(K - n\rho^2)}, \quad (17)$$

где $K = P_0^2 n$; $n = 1$.

Совместные исследования ООО НПФ «Мостовик», ООО ПИК, ООО НПФ «Диамос» динамической работы стальных и сталежелезобетонных пролетных строений ряда мостов разрезной и неразрезной систем с расчетным пролетом 42,6 м и 63,0 м посредством новейшего вибродиагностического комплекса «Диамос», функционирующего в режиме виброскорости и записи виброграмм продолжительностью от 42 до 110 с, показали достаточно убедительные зависимости, связывающие податливость балок пролетных строений и увеличение амплитуды колебаний по мере роста скорости движения транспорта от 5 до 10 м/с с увеличением динамического коэффициента, и достаточную сходимость результатов, полученных теоретически с помощью формулы (17) при $\beta = 0,47$.

Мотивированный специалист транспортного строительства, обладающий соответствующей компетенцией в динамике мостов, способен оценивать и анализировать процесс движения вре-

менной нагрузки по балке с неровностями на проезжей части моста в зависимости от соотношения массы транспорта m_a и балки m_b как основного аргумента определения динамических характеристик и факторов, ускоряющих процесс колебания [22]. Данное обстоятельство является основой для изменения подходов в теоретических и экспериментальных методах определения динамических характеристик балок пролетных строений мостов в условиях воздействия одиночных нагрузок и случайного транспортного потока. Рассматривая воздействие подвижной нагрузки в виде $P(t) = P_{вр} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$, необходимо рассчитывать характеристики собственных и вынужденных колебаний, базируясь на современных подходах. Для собственных колебаний необходимо иметь теоретические и экспериментальные подходы, основанные на вовлечении в колебательный процесс дополнительных фиктивных сил, вызывающих ускорение, в том числе инерционного импульса воздействия, используя анализ эффекта соударения по методу Герца или упругого и неупругого удара.

В зависимости от скорости удара колеса автотранспорта о боковую поверхность неровности $V_y = \frac{P_{вр}}{2A} \sqrt{\frac{K}{G\rho}}$, а сила удара P в зависимости от формы соприкосновения колеса с поверхностью и свойств материала соударяемых тел будет определяться выражением

$$P = P_{вр} + \sqrt{P_{вр}^2 + \frac{V_0^2}{\rho^2 y_{ст}^2}}, \quad (18)$$

где A – площадь поверхности удара колеса о неровность; $G = \frac{E}{3}$;

ρ – удельная плотность материала неровности; K – коэффициент, зависящий от формы соприкосновения колеса с плоскостью неровности, принимаемый для формы «овал» – 1,1; частично плоской – 1,2; плоской – 1,2; $y_{ст}$ – начальный прогиб балки от собственного веса; $P_{вр}$ – вес транспортного средства, приходящийся на ось.

Таким образом, внесение корректив в методики динамических расчетов, методы вибродиагностики и нормативно-регулируемые и определяющие документы требуют от специалистов повышения уровня знаний нормативно-технических стандартов, глубоких специальных знаний колебательных процессов и динамики в условиях изменяющегося воздействия временной подвижной нагрузки. Компетенция специалиста должна быть подкреплена мотивированными знаниями динамики пролетных строений мостов, основанными на ударных воздействиях транспорта в условиях различных режимов нагружения и скорости [23].

Результаты

Подготовка мотивированного специалиста, обладающего компетенцией реальной оценки динамического состояния конструкций пролетных строений мостов в условиях изменяющегося воздействия транспортного потока и наличия дефектов на проезжей части и в балках, включает дополнительные знания для оценки динамического напряженно-деформированного состояния и амплитудно-частотных характеристик поличастотных гармонических колебаний инерционно-импульсного воздействия ударной нагрузки от движущегося транспорта, а также эффектов внезапной разгрузки, ускорения и сдвига.

Новые знания в области оценки динамических характеристик, в частности собственных колебаний, будут избавлены от упрощений, которые вводились в динамику мостов для объяснения эффекта от удара по балке. При воздействии подвижной нагрузки $P(t)$ [24] имеет место ударный импульс $S = P(t)t_c$, где $t_c \approx 0,1-1$ с – продолжительность ударного воздействия за счет неровности на проезжей части, и инерционный импульс, который в процессе удара груза по балке возникает за счет сил инерции груза и балки и обладает параметрами, зависящими от ускорения q . В этих процессах практически не рассматривалась история нагружения с учетом внезапной разгрузки (момента схода нагрузки с балки). При динамических расчетах несущих балок пролетных строений мостов на основе бездефектности и отсутствия неровности на проезжей части, считая систему идеально упругой, а усилия предельными, их результаты необоснованно упрощаются, как и экспериментальные исследования. К примеру,

частоту и амплитуду собственных колебаний рекомендовано определять по формулам

$$\left. \begin{aligned} A_k &= \frac{1}{2} \sum_{i=1} \frac{P_{(i)}^2 k^2}{P_0^2 k} \\ P_0 &= \frac{\pi^2}{\ell^2} k^2 \sqrt{\frac{EJ}{m}} \end{aligned} \right\}, \quad (19)$$

где $k = 1$; EJ – динамическая жесткость балки пролетного строения; m – приведенная масса системы «пролетное строение + автомобиль».

Недостаток механизма вычисления свободных колебаний при ударе груза о балку отражен в технических условиях, но не определен параметрами процесса сбрасывания груза P на балку. Как правило, груз сбрасывается с высоты 0,5 м на песчаную подушку в реальных условиях со скоростью $V_r = 10$ м/с, продолжительностью действия груза на балку 3–5 с, тогда как в лабораторных условиях $V_r = 10–38$ м/с, продолжительность удара – 5 мс [25].

Отмеченные обстоятельства отражаются в процессе определения не только форм поличастотных колебаний, но и проявления эффекта ударного воздействия. Инерционность и ускорение, в частности, свободных колебаний следует рассматривать в лабораторных условиях при скорости ударной нагрузки 10–38 м/с с продолжительностью удара 0,5–5 мс. В этом случае динамическое нагружение классифицируется как ударное и теория расчета допускает синусоидальную или косинусоидальную форму колебаний [26]

$$U_\Phi = \frac{A_\alpha R}{8\pi^2 T}, \quad (20)$$

где A_α – амплитуда ускорения, см/с²; R – размах колебания, см; T – период собственных колебаний, с.

Для собственных колебаний $A_0 = 4\pi^2 A R_0^2$, где A – амплитуда смещения формы собственных колебаний, равная $R/2$.

Мотивированной необходимостью расширения компетенций специалиста в области динамики мостов является знание всех видов нагружения и колебаний, а именно:

1) гармонических динамических колебаний с поличастотной формой времени воздействия более 1 с;

2) импульсного воздействия с отсутствием поличастотной формы колебания, в качестве приближения за первую форму колебания принимается форма статического прогиба от нагрузки с временем воздействия менее 1 с;

3) вибрационного воздействия с поличастотной формой колебания и временем воздействия 1 с и более;

4) ударного воздействия, где возможно использовать при определенных условиях поличастотную форму колебания по аналогии с импульсным нагружением с продолжительностью действия 0,01 с.

В качестве подтверждения представленных положений рассмотрим динамические испытания мостов в Томской области на основе расчетных схем (рисунок 10).

В стадии статического приложения нагрузки амплитуда свободных колебаний в балке рассчитывается по формуле

$$A_{c.к} = y(t) \frac{y_{ст} P_0}{q}, \quad (21)$$

где P_0 – частота собственных колебаний; $q = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Свободные колебания, вызванные ударом колеса по балке, следует сложить с частотой колебания за счет импульса S , переданного колесом на балку в процессе удара:

$$S = P_{вр} \sqrt{2qh_b}, \quad (22)$$

где h_b – высота неровности на проезжей части, создающая ударное воздействие.

При $y(t) = y_{ст} + y_{ст} \left(\frac{P_0}{2} \right) \sqrt{2qh_b} \sin P_0 \cdot t - \cos P_0 \cdot t$ инерционная добавка свободных колебаний $\mu_{ст}$ примет вид

$$\mu_{ст} = \sqrt{1 + \frac{2h_b}{\left(q + \frac{P_{вр}}{m} \right) / P_0^2}}. \quad (23)$$

Таким образом, дополнительный инерционный импульс отражает не что иное, как инерционную добавку $\mu_{ст}$ при определении ускорения свободных колебаний балки пролетного строения с частотой P_0 .

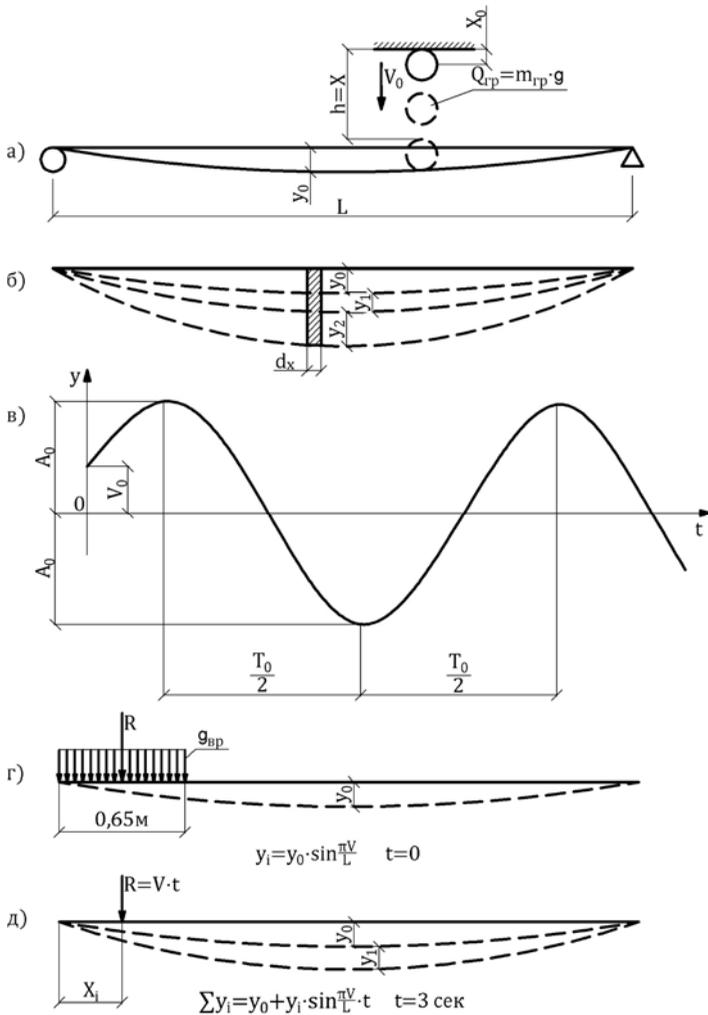


Рисунок 10 – Схема динамического нагружения и деформирования в стадии свободных колебаний:
а – сбрасывание груза; *б* – деформирование балки с учетом ускорения; *в* – начальная фаза смещения колебания; *г* – действие оси временной нагрузки при въезде на мост; *д* – деформации балки в начальной стадии с ускорением (y_0 – прогиб балки от собственного веса (начальная стадия); y_1 – прогиб балки от груза $Q_{гр}$; Σy_i – суммарный прогиб в стадии ускорения)

Рассматривая параметр $\mu_{ст}$ как дополнительную фиктивную силу, которая выражается в виде ускорения A_a , формулу (23) целесообразно представить в виде

$$\mu_{ст} = \frac{P_0}{\pi T_{с.к}} \sin \frac{\pi T_{с.к}}{P_0}, \quad (24)$$

где $T_{с.к} = \frac{2\pi}{P_0}$ – период собственных колебаний, с.

В этом случае ускорение колебания за счет инерционности нагрузки происходит вследствие воздействия массы транспортного средства $\frac{P_{вр}}{q}$ и ускорения свободного падения q системы «пролетное строение + автомобиль». Дополнительное ускорение амплитуды прогибов балки A_y соответствует суммарной нагрузке

$$\sum P = (m_б + m_a)(q + A_a), \quad (25)$$

где $m_б$, m_a – приведенные массы балки пролетного строения и автомобиля; A_a (m/c^2) – амплитуда ускорения при колебаниях приведенной массы за счет сил инерции и инерционного импульса от $P_{вр}$, который соответствует амплитуде ускорения i -й формы колебания с прогибом $[f]$ и $\mu_{ст}$.

Если рассматривать свободные колебания с одной степенью свободы (см. рисунок 10) в линейно-упругой системе линейного осциллятора, то очевидны зависимости, определяющие пропорциональность скоростей сил инерции и ускорения по Фойгту–Кельвину, которые описываются дифференциальным уравнением вида

$$m\ddot{x} + \varepsilon\dot{x} + kx = 0, \quad (26)$$

где m – приведенная масса балки; ε – коэффициент затухания, равный 0,15 1/с; k – динамическая жесткость; \ddot{x} , \dot{x} , x – ускорение, скорость и перемещение балки.

Поделив выражение (26) на m , получим

$$\ddot{x} + 2\zeta P_0 \dot{x} + P_0^2 x = 0, \quad (27)$$

где $P_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$.

Принимая $x \rightarrow f(\ell)$, имеем $P_0 = \frac{\pi^2 n^2}{\ell^2} \sqrt{\frac{EJ}{m}}$; $n = 1$; $\varepsilon = 0,15$

1/с.

Используя дифференциальное уравнение (26), рассмотрим свободные колебания, которые регистрируются, когда транспорт, производивший удар в начале моста, убран с пролетного строения. В этом случае инерционный импульс S пропорционален произведению перемещения y_i на массу:

$$S = -m_i \frac{d^2 y_i}{dt^2}. \quad (28)$$

Когда балка находится в состоянии свободных колебаний только от собственной массы m , уравнение (27) принимает вид

$$m y_{\ell/2,x} + C_1 y_{\ell/2,x} = 0, \quad (29)$$

где C_1 – коэффициент, зависящий от упругих свойств материала балки, он равен силе, действующей в сечении $\ell/2$ на балку и вызывающей прогиб, равный 1: $C_1 = P_{\ell/2} \rightarrow y = 1$.

При воздействии на балку дополнительной временной нагрузки $P_{\text{вр}}(t)$ уравнение движения при $P_0 = \sqrt{\frac{C_{\text{ж}}}{m}}$ имеет вид

$$m \ddot{y} + C_{\text{ж}} y = P_{\text{вр}}(t). \quad (30)$$

Уравнение прогиба представляется следующим образом:

$$y(t) = y_{\text{ст},x} \cos(y,t) + y_{\text{ст}} \frac{1}{P_0} \sin y(t) + \frac{1}{m y_1} \int_0^t P_{\text{вр}}(t) \sin y_1(t + t_0) dt_0. \quad (31)$$

При воздействии нагрузки $P_{\text{вр}}(t)$ в виде внезапного нагружения и снятия нагрузки с пролета ($t = 0$) максимальное значение прогиба будет

$$y_{\text{max}}(t) = \frac{2R}{C_1} - 2y_{\text{ст}}, \quad (32)$$

где $y_{\text{ст}}$ – статический прогиб от силы R ; $R = -C_1 \cdot y_{\ell/2,x}$ – отпорность балки на нагрузку, вызывающую свободные колебания, сила $R = R(t)$ и пропорциональна прогибу.

В стадии колебаний определение динамических характеристик основано на ряде допущений, необходимых для решения задач статического воздействия нагрузки, продолжительность динамического воздействия которой не превышает 3 с, причем перемещение от поперечной силы Q не учитывается, определяющим является параметр M . Применяя закон плоских сечений Бернулли в упругой и упругопластической области при ударном воздействии нагрузки со скоростью $V = 5 \pm 12$ м/с, последовательно определяем деформацию балки, а именно [27]:

1) начальный прогиб балки от собственного веса

$$y_0 = \frac{5}{384} \frac{g_n \ell^4}{EJ};$$

2) прогиб от веса ударяемого груза $y_1 = \frac{P_0 \ell^3}{48EJ}$ – начало от-

счета;

3) прогиб от силы тяжести в виде инерционного импульса

$$y_1' = \frac{2\sqrt{t p_0}}{\sqrt{\rho F E J m p_0^2 (p_0 t + \varphi)}} - \frac{P_{вр} \ell^3}{48EJ}, \quad \text{где } p_0 = \frac{i^2 \pi^2}{\ell^2} \sqrt{\frac{EJ}{m}}; \quad i = 1;$$

$$\varphi = \arctg \frac{y_0 p_0}{y_0 + n y_0}; \quad n^2 = \frac{k}{m}; \quad k = \sqrt{\frac{48EJ}{m \ell^3}}; \quad m = \frac{P_0}{g} \quad \text{– кривизна}$$

балки;

4) прогиб от ускорения за счет инерционного импульса

$$y_1'' = \frac{y_1'}{k} A_\alpha e^{\left(\frac{-1}{2}\right) \Psi (p_0^{дис})^2 t} \cos(p_0^{дис} t + \varphi).$$

За счет диссипации во временной области увеличивается частота p_0 , которая становится равной $p_0^{дис}$ и соответствует выражению

$$(p_0 t + \varphi) = P_0^2 \left(1 - \frac{\Psi^2}{4} \right), \quad (33)$$

где $\varphi \approx 0,00025 \approx \frac{4\Psi}{25}$; $\Psi = 0,015$ – коэффициент диссипации.

Разница между прогибом y_1'' с учетом ускорения y_1' равна Δy – величине дополнительного прогиба за счет ускорения. Тогда максимальный прогиб y_{\max} с учетом приращения от ускорения будет определяться выражением

$$y_{\max} = \frac{1}{2\sqrt{\frac{EJ}{\rho F}}} \left[(y_0 + y_1 + y_1') + 2\psi y_1'' \right] \quad (34)$$

или

$$y_{\max}(A_\alpha) = \frac{1}{2\sqrt{\frac{EJ}{\rho F}}} \left[(y_0 + y_1 + y_1') + 2\psi \left(\frac{d^2 y}{dx^2} / \frac{\psi^2}{t} \right) \right]. \quad (35)$$

Выражение для инерционного импульса будет иметь вид

$$S = m \left(\sqrt{\frac{C_{\text{ж}}}{m}} \right)^2 (y_0 + y_1 + y_1'') A_\alpha \sin \pi C_{\text{ж}}, \quad (36)$$

где $C_{\text{ж}} = \frac{12EJ}{\ell^3}$ – показатель динамической жесткости, т/м.

Приравнивая значения импульса из [21] и импульса (36), определим силу инерции

$$Q_S = \frac{1}{a\sqrt{t}} \sqrt{\eta - \frac{dm}{d\eta}}, \quad (37)$$

где $t = 3$ с; $a^2 = \sqrt{\frac{EJ}{\rho F}}$; $\eta = \frac{1}{4a^2} \frac{x^2}{t}$; $x \neq \ell/2$; $m = \frac{P_6}{g}$ – масса балки.

Выражение для определения инерционного импульса будет иметь вид

$$\frac{2a^2}{EJ} \sqrt{t} Q_S = \frac{2a^2}{EJ} \sqrt{t \frac{1}{a\sqrt{t}} \sqrt{\eta - \frac{dm}{d\eta}}} =$$

$$= \frac{2a^2}{EJ} \sqrt{t \frac{1}{a\sqrt{t}} \sqrt{\left(\frac{1}{na^2} \frac{x^2}{t}\right)} - \frac{dm}{d\eta}}. \quad (38)$$

После несложных преобразований получим

$$S = \frac{2}{EJ} \sqrt{\frac{x}{2}}. \quad (39)$$

Подставив выражение (39) в формулу с функцией Ван-дер-Поля, получим максимальную амплитуду ускорения A_{\max} при $x = \ell/2$:

$$A_{\max} = \frac{\sqrt{k}}{EJ} \frac{1}{C_{\text{ж}} (y_0 + y_1 + y_1' + y_1'') \sin \pi C_{\text{ж}}}, \quad k = \frac{48EJ}{\ell^3}. \quad (40)$$

Найдем первую производную:

$$\frac{dy_1'}{dt} = \sum \frac{y_1}{k} \cdot \sin \frac{i\pi x}{\ell} \cdot p_0 \cos(p_0 t + \varphi).$$

$$\text{Вторая производная } \frac{d^2 y_1'}{dt^2} = -\sum \frac{y_1}{k} \cdot \sin \frac{i\pi x}{\ell} \cdot p_0^2 \cos x.$$

Выражение $x(p_0 t + \varphi)$ является не чем иным, как ускорением, амплитуда которого равна

$$A(t) = -\sum \frac{y_1}{k} p_0 \sin(p_0 t + \varphi). \quad (41)$$

$$\text{При } t = 1 \text{ с получим } A^1(t) = -\sum \frac{y_1}{k} \sin \frac{i\pi x}{\ell} p_0^2 \frac{i\pi x}{\sin(p_0 + \varphi)}.$$

$$\text{При } t = 2 \text{ с получим } A^2(t) = -\sum \frac{y_1}{k} p_0^2 \sin(2p_0 t + \varphi).$$

Определение амплитуды собственных колебаний зависит от диссипативных свойств колебательного процесса и скорости распространения деформаций, что требует компетенции в динамике сооружений и знаний, связанных с изучением движения балки в зависимости от скорости и продолжительности воздействия груза на нее с учетом влияния сдвиговых деформаций. Это позволяет определить изменение угла сдвига фаз φ (рисунок 11).

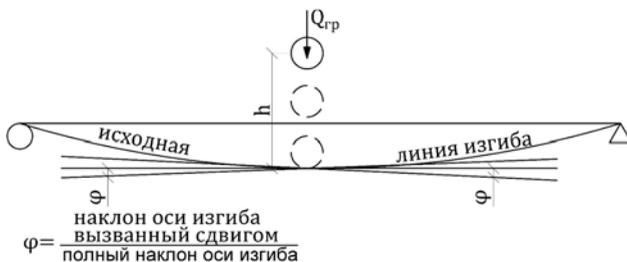


Рисунок 11 – Схема определения угла сдвига фаз

Эмпирическая зависимость для определения угла сдвига фаз имеет вид

$$\varphi = \frac{\rho p_0^2 \ell^2}{\eta^* G i^2 \pi^2}; \quad i = 1, \quad (42)$$

где $\eta^* = \frac{2}{3}$ – средняя деформация сдвига оси; $G = \frac{E}{3}$; $p_0 = \frac{2V_1 \ell^2}{a^2}$;

$a = \sqrt{\frac{EJ}{\rho F}}$ – коэффициент частоты свободных колебаний [28].

Учитывать влияние сдвиговых деформаций на колебания балок удобно с использованием коэффициента

$$\beta_0 = \frac{1}{G} \left[\frac{P_{гр}}{2J} (b^2 - Z^2) \right], \quad (43)$$

где b – ширина сечения балки; Z – расстояние от сечения до крайней фибры, где фиксируется влияние сдвиговых деформаций; J – момент инерции сечения.

Зависимость между давлением от приложенного к балке груза $P_{гр}$ и инерционным импульсом S имеет вид $P_{гр} = \frac{EJ}{a^3} \frac{S}{\sqrt{t}}$,

где $t = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m}{2\pi R p_0}}$; $R = \frac{2m}{\rho F \ell}$; m – масса балки; R – радиус кривизны балки. Известна также зависимость между кривизной балки ν и η^* [29]:

$$v = \frac{1}{2a^2} \left(y(t) - \frac{S}{\sqrt{\eta^*}} \right). \quad (44)$$

Тогда ордината x_i и $\operatorname{tg} \varphi_i$ участка кривой изгиба балки с проявлением эффекта сдвига, характеризуемого коэффициентом η^* , определяются из формулы

$$\eta^* = \frac{1}{4a^2} \frac{x_i^2}{D}. \quad (45)$$

Вибродиагностика железобетонного балочно-консольного моста в Томской области со схемой 6,6 + 21,68 + 6,6 м (рисунок 12) показала, что при сосредоточенном ударе колесами автомобиля балка деформируется в виде волнистой кривой.

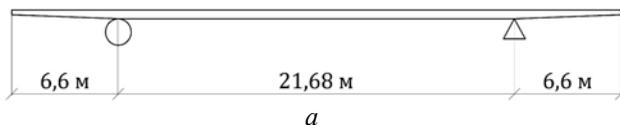
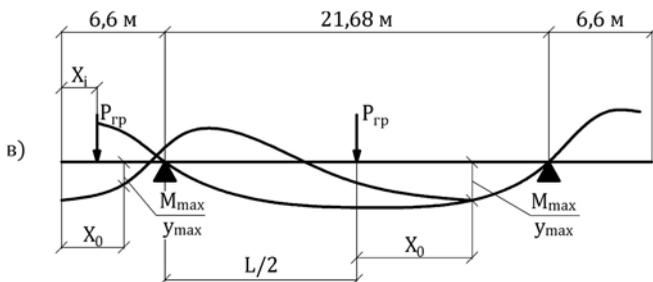
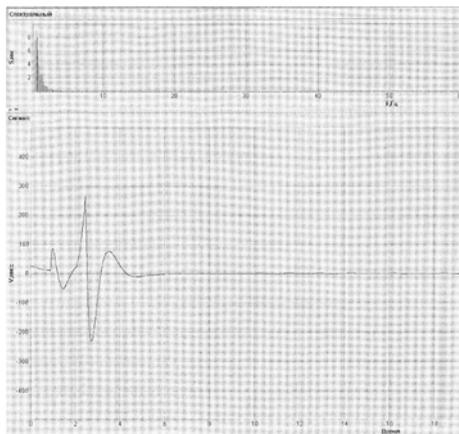
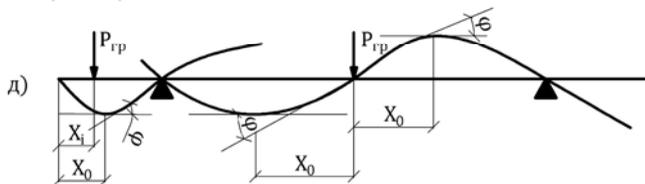


Рисунок 12 – Вибродиагностика моста: *а* – общий вид пролетного строения; *б* – фиксация момента удара осью временной нагрузки; *в* – линии динамического прогиба консоли и среднего пролета; *г*, *д* – теоретические и экспериментальные линии колебаний при сдвиге фаз; *е* – общий вид виброграммы свободных колебаний от воздействия удара груза и временной нагрузки (окончание см. на с. 62)



$V_1=5\text{м/сек}; V_0=2,9\text{м/сек}; t=0,34\text{сек};$
 $X_0=0,47\pm 0,57\text{м}; X_1=0,65\text{м}.$



e

Окончание (начало см. на с. 61)

Волны распространяются от точки удара в обе стороны пролета. В сечениях, где в точке удара меняется значение и знак кривизны, $M_{\text{изг}}$ достигает своего максимального значения при $X_i = X_0$. Значение X_0 определяется выражением

$$X_0 = 2,134 \sqrt{\frac{J}{F}} \sqrt{V_0 t}, \quad (46)$$

где V_0 – скорость звука в железобетоне, равная 3230 м/с.

Обсуждение

Изменение уровня и содержания компетенций, направленное на углубленное изучение дисциплин, связанных с динамикой пролетных строений мостов, должно учитывать ориентацию специалиста на практическую деятельность, которая будет тесно связана с работой в рамках «динамической расчетной схемы», отсутствующей в настоящее время в отечественных нормативно-правовых документах [30]. Основным элементом «динамической расчетной схемы» является взаимодействие груза или подвижной нагрузки и балки, аналогичное действию контактной силы $P(t)$ в теории соударяемых тел. Вследствие влияния формы транспортного потока, скорости и дефектов на проезжей части динамический прогиб в конечном итоге следует рассматривать с учетом подскока или вторичного соударения при свободных и вынужденных колебаниях. Сохраненная во время подскока масса системы на некотором промежутке времени dt_i вызывает импульсное воздействие до следующего воздействия груза после очередного подскока. Закон сохранения инерционного импульса в этом случае записывается в виде [31]

$$\rho \frac{d^2 U_i}{dt^2} = \frac{d\sigma_{ij}}{dx_{ij}} + \rho (P_6 + P_{\text{гр}}), \quad (47)$$

где $i, j = 1, 2, 3$; ρ – удельная плотность материала балки; U – вектор времени; σ_{ij} – скорость напряжения; P_6 ; $P_{\text{гр}}$ – вес балки и груза соответственно.

Инерционный импульс от воздействия груза с подскоком или без него вызывает ускорение как свободных, так и вынужденных колебаний, и в условиях динамического равновесия выражение (47) принимает вид

$$\rho \frac{dV_i}{dt} = \frac{d\sigma_{ij}}{dx_i} + \rho q_i, \quad (48)$$

где q_i – проекция ускорения, м/с²; V_i – скорость ускорения в направлении X_i ; σ_{ij} – напряжение, соответствующее ε_{ij} , которое определяется через параметры E , σ_T , μ , t в зависимости от соотношения $\frac{E}{\sigma_T}$; μ – коэффициент, выполняющий роль оператора при линеаризации процесса определения сил инерции.

Всесторонние и многоформатные исследования Болотина В.В. в совокупности с результатами, полученными с использованием зависимостей (47), (48), дают основания для определения ускорения амплитуды свободных колебаний балок при динамическом равновесии [32]. Свободные колебания в рамках динамического равновесия отражают связь между начальным нулевым прогибом балки (см. рисунок 10,б) и положением балки в условиях воздействия инерционного импульса. Волновой эффект от воздействия груза и жесткость балки вносят коррективы в колебательный процесс, вызывающий ускорение. Использование волновых чисел, связанных детерминистически с коэффициентом жесткости $C_{ж}$ динамической системы и амплитудой (прогибом), отображается в уравнении

$$EJ \frac{d^2V}{dx^4} + C_{ж}V(x) = y(x), \quad (49)$$

где $V(x) = \frac{1}{\sqrt{8k_0^3E}} e^{-k_0(x)} \frac{x}{\sqrt{2}} \cos \frac{k_0x}{\sqrt{2}} + \sin \frac{k_0(x)}{\sqrt{2}}$; $k_0 = \left(\frac{C_{ж}}{EJ} \right)^{\frac{1}{4}}$ – собственное волновое число; $\frac{1}{k_0}$ – длина волны прогиба основной формы колебания.

Для вынужденных колебаний динамическое равновесие отображается количественной формой зависимостей инерционных сил от ускорения амплитуд прогибов, так как вынужденные вертикальные поперечные колебания в балках являются источником дополнительных продольных усилий N_i , способствующих в

большей степени усилению, а не ускорению поперечных колебаний, действующих через нелинейные инерционные члены [33]. Представляя возбуждение ускорения гармонически изменяющейся амплитудой ускорения $A_{\text{уск}}$ и фазой возбуждения φ , закон ускорения запишем в виде

$$A(t) = A_{\text{уск}}(t) \cos(\omega t + \varphi). \quad (50)$$

Тогда вариация частот $\alpha_{\omega_1 p_0}$, при которых ускорение имеет фиксированное значение, будет выражаться следующим образом:

$$\alpha_{\omega_1 p_0} = 1 - \frac{\omega_0^2}{(p_0 \omega)^2}, \quad (51)$$

где ω_0 – круговая частота собственных колебаний.

Выражение для определения амплитуды ускорения вынужденных колебаний $A_{\text{уск}(\omega)}$ имеет вид

$$GA_{\text{уск}(\omega)}^2 = q \left(\alpha - \frac{2\beta}{\omega^2} \right) - \left(C\alpha - \frac{b\beta}{\omega^2} \right) x \left(\alpha^2 + \frac{\beta^2}{\omega^2} \right) = \frac{1}{\omega^2} \sqrt{R}, \quad (52)$$

где G, R – подкоренные выражения релеевского распределения [34]; $\alpha \cong 0,05-0,1$; $q = 9,81 \text{ м/с}^2$; $b = 10$; $C = 1$; β – параметр гауссовской плотности распределения случайных величин [35].

При поличастотной форме колебаний увеличение амплитуды ускорения $\alpha_y = A_{\text{уск}}$ выражается нарастанием прогиба f с одновременным увеличением размаха колебания R , рассчитываемого по формуле

$$R = \sin \frac{n\pi x}{\ell}; \quad n = 1, \quad (53)$$

где x – длина полуволны синусоиды; $x = Vt$.

В упрощенном виде $\alpha(A_{\text{уск}}) = 4\pi/w^2$, где $w^2 = \frac{48EJ}{m\ell^3}$, тогда $R = 2\alpha(A_{\text{уск}})$, а величина статического прогиба будет

$$f = A_{\text{с.к.}} = \frac{S\ell^3}{48EJ}, \quad (54)$$

где $A_{\text{с.к.}}$ – амплитуда собственных колебаний балки; $S = -mw^2 f \sin(wt + \varphi)$ – инерционный импульс; m – масса балки.

Для получения максимальной амплитуды ускорения необходимо сложить в промежутке времени $t_0 - t_1$ колебания балки от груза и инерционной силы.

Уникальность теории Герца состоит в том, что контактные силы, известные как инерционные импульсы, одинаково точно отражают физическую природу колебания. Применение элементов теории Герца для определения параметров свободных и вынужденных колебаний пролетных строений мостов с линеаризацией закона изменения контактной силы в отличие от сил инерционного импульса сохраняет простую структуру математического выражения и гипотетически только отражает зависимость между жесткостными характеристиками балок и их податливостью [28, 36, 37]. Определение же динамических характеристик вынужденных колебаний от действия временной подвижной нагрузки органически укладывается в рамки теории контактных деформаций (теории соударения тел), где смежные и неоправданные методы описания функциональных зависимостей обоснованно упрощаются и заменяются аппроксимированными уравнениями соударения колеса автомобиля, движущегося со скоростью V , с неровностями различного типа [39]. В этом случае контактная сила находится в зависимости не только от скорости движения V , но и от продолжительности контакта (удара) t . За начало отсчета времени появления свободных колебаний принимается момент соприкосновения груза $P_{\text{гр}}$ с балкой [40]:

$$y_1 + y_2 + \alpha = Vt, \quad (55)$$

где y_1 – начальное перемещение балки от собственного веса; y_2 – перемещение балки от груза, $y_2 = 0$ при $t = 0$; α – коэффициент

сближения груза с балкой, равный $\delta P_{гр}$; $\delta = \frac{4}{5} k^{-\frac{2}{3}} \frac{1}{C_{ж}}$ – коэффициент контактной податливости; $C_{ж} = \frac{48EJ}{\ell^3}$; k – коэффициент, который определяется из выражения $P_{гр} = k\alpha^{\frac{3}{2}}$.

Тогда скорость движения балки после удара грузом $P_{гр}$ будет рассчитываться следующим образом:

$$V = k_1 \alpha p_0 \sqrt{1 - \left(\frac{q}{\alpha p_0^2} \right)^2}, \quad (56)$$

где $k_1 = 0,7-1,0$ – поправочный коэффициент; $p_0 = p \sqrt{\frac{m}{C_{ж}}}$ – частота собственных колебаний балки; $q = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Одним из показателей профессионального уровня мотивированного специалиста в области транспортного строительства, несомненно, является владение компетенциями в области регулирования динамических характеристик. Регулирование динамических характеристик относится к новейшим методам управления колебанием несущих балок пролетных строений, способствует изучению действительной работы конструкций моста в различных режимах и условиях воздействия временной подвижной нагрузки, приближает динамические расчеты к реальным условиям эксплуатации, прогнозирования надежности и долговечности мостовых сооружений. Новизна и практическая ценность развития компетенций направлена на решение государственной задачи совершенствования высшего образования в Российской Федерации при подготовке специалистов по дисциплине «Проектирование и эксплуатация мостов». Регулирование динамических характеристик является важнейшим фактором в проектировании и эксплуатации мостов, при выборе и обсуждении других принципов определения динамической прочности и деформативности. Высокий уровень компетенций специалиста открывает возможности анализа работы не только прямолинейных конструкций, но и криволинейных. Как известно, сложность динамической работы криволинейных балок пролетных строений

мостов отражается в дополнительных динамических воздействиях колебаний, сведений о которых нет ни в регламентах на проектирование, ни в расчетах динамического напряженно-деформированного состояния, ни в вибродиагностике.

В качестве практических примеров проявления крутящего момента в колебаниях криволинейных или косых пролетных строений приводятся результаты специальных многолетних испытаний пролетных строений мостов с несанкционированными и нетрадиционными способами возбуждения колебаний [41].

Изучение возникновения аperiodических колебаний в криволинейных мостовых балках трансформирует традиционное понятие динамического коэффициента, переосмысление которого в рамках реального процесса колебаний позволит будущим специалистам с новыми компетенциями реально оценивать эксплуатационную динамическую работу и долговечность пролетных строений мостов.

Таким образом, совершенствование разделов учебных программ по проектированию и расчету криволинейных мостов при динамическом нагружении обновит и значительно повысит уровень знаний, а также научное мировоззрение мотивированных специалистов транспортного строительства.

Неоспоримый факт частичного или полного отказа от использования в мостостроении железобетонных плит на проезжей части с заменой их на ортотропные открывает новое направление, требующее нетрадиционных решений. Восполнить существующий пробел в рабочих программах дисциплины «Проектирование мостов» необходимо посредством введения новых разделов:

- расчет динамических характеристик для мостов с пониженной жесткостью;
- влияние фактора кручения в криволинейных и косых пролетных строениях на общую динамическую устойчивость;
- специальные методы регулирования динамических характеристик и напряженно-деформированного состояния балок пролетных строений на основе современных концепций упругой и упругопластической работы;
- изучение динамики пролетных строений мостов на основе торцевых колебаний.

Выводы

Подготовка мотивированных специалистов транспортного строительства, обладающих достаточными высокотехнологическими компетенциями, направлена на реализацию государственных программ качественного проектирования, строительства и эксплуатации мостов, выдерживающих сверхнормативные и сверхрасчетные динамические нагрузки. Современный уровень проектирования мостов требует повышенного внимания к задачам обеспечения требуемой жесткости, комфортности, надежности и долговечности, особенно для мостов с пролетами более 500 м, обладающих высокой чувствительностью к динамическим воздействиям. Таким образом, решение задач динамического взаимодействия системы «пролетное строение + автомобиль» сводится к последовательному расчету движения системы, состоящей из неизвестной группы нагрузок в виде случайного транспортного потока. Существующие нормы и правила не всегда адекватно отражают динамическое поведение конструкций пролетного строения в условиях длительной эксплуатации, в том числе с учетом дефектов на проезжей части и несущих элементах. Причиной является неадекватная связь между уравнением динамических колебаний балки пролетного строения и уравнением колебаний подрессорных грузов, движущихся с различными скоростями [42]. Обновление компетенций при подготовке специалистов транспортного строительства необходимо для сокращения разрыва между теорией и практикой при проектировании и эксплуатации мостов в условиях возрастающего воздействия временных подвижных нагрузок.

Авторы выражают благодарность Бубновой О.В. и Тиханкиной Н.Г. за оказанную помощь в подготовке статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочкарев Н.Н., Картопольцев А.В. Техническая вибродиагностика пролетных строений мостов // Акустика речи. Медицинская и биологическая акустика. Архитектурная и строительная акустика. Шумы и вибрации. Аэроакустика: Сб. тр. XX сессии Российского акустического общества, 27–31 октября 2008 г.. М.: ГЕОС, 2008. Т. 3. С. 228–233.
2. Петреня Е.Н., Петранин А.Л. Расчёт колебаний балочного пролётного строения автодорожного моста при кратковременном импульсном воздействии // Современные методы статического и

динамического расчета сооружений и конструкций: межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: ВИСИ, 1993. Вып. 2. С. 39–47.

3. Динамические испытания сталежелезобетонных мостов с учетом влияния дефектов проезжей части / В.М. Картопольцев, К. Димо, А.В. Картопольцев, Б.Д. Колмаков // Вестн. Том. гос. архитектурно-строит. ун-та. 2016. № 5. С. 178–193.

4. Бочкарев Н.Н., Картопольцев А.В. Исследование динамической работы сталежелезобетонных мостов по торцевым колебаниям пролетных строений // Вестн. Том. гос. архитектурно-строит. ун-та. 2001. № 2. С. 145–156.

5. Kartopolev A., Safronov V. Анализ на результаты от испытыване на стоманен пътен мост // Пътища. 2007. – № 2. С. 11–16.

6. ГОСТ 32960–2014. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки. Расчетные схемы нагружения. М.: Стандартинформ, 2015. 5 с.

7. Роль Европейских стандартов в развитии технической диагностики искусственных сооружений на дорогах России / В.М. Картопольцев, А.Г. Боровиков, А.В. Картопольцев, Н.Н. Бочкарев, В.М. Сафронов (Болгария) // Вестник СОАН ВШ. 2005. № 1(9). С. 74–80.

8. Бондарович Б.А., Звягинцев А.Н., Миронов Л.А. Учет параметров колебаний пролетных строений автодорожных мостов // Транспортное строительство. 2001. № 2. С. 12–15.

9. Цернант А.А., Звягинцев А.Н., Павлов Е.И. Жесткость мостовых конструкций // Транспортное строительство. 2004. № 1. С. 5–7.

10. Ротенберг Р.В., Бурлаченко Н.И. О физиологических критериях плавности хода автомобиля // Автомобильная промышленность. 1966. № 2. С. 27–30.

11. Ротенберг Р.В. Особенности колебаний многоосных автомобилей // Автомобильная промышленность. 1963. № 2. С. 30–35.

12. Пархилковский И.Г. Об определении эксплуатационных требований к плавности хода автомобиля // Автомобильная промышленность. 1966. № 1. С. 1–3.

13. Бочкарев Н.Н., Картопольцев А.В. Техническая диагностика динамической работы пролетных строений при возникновении и развитии дефектов в автодорожных мостах // Архитектура. Строительство. Транспорт. Технологии. Инновации: материалы междунар. конгр. Омск: СибАДИ, 2013. Кн. 2. С. 178–183.

14. Картопольцев В.М., Картопольцев А.В., Работаев А.О. Развитие теории регулирования динамических характеристик пролетных строений мостов в условиях воздействий случайного транс-

портного потока // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС–27–2021): 27-я междунар. науч.-практ. конф., 16 ноября 2021 г., Томск, Россия. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2021. С. 5–19.

15. Крамер Е.Л. О работе пролетных строений мостов в упруго-пластической стадии // Наука и техника в дорожной отрасли. 2001. № 4. С. 15–17.

16. Цейтлин А.И., Гусева Н.И. Статистические методы расчета сооружений на групповые динамические воздействия. М.: Стройиздат, 1979. 176 с.

17. Ден-Гартог Дж.П. Механические колебания / пер. с 4-го америк. изд. А.Н. Обморшева. М.: Физматгиз, 1960. 580 с.

18. Aspden R.J., Campble J.D. Proceedings Royal Society. London, Serious A, 1966. Vol. 278. 266 p.

19. Картопольцев А.В., Картопольцев В.М., Кухаренко С.А. К вопросу о динамическом коэффициенте // Вестн. Том. гос. архитектурно-строительного ун-та. 2021. № 5. С. 127–141.

20. Ананьин А.М., Барченков А.Г., Сафронов В.С. Динамика автодорожных мостов. Справочник проектировщика. Динамический расчет специальных инженерных сооружений и конструкций. М.: Стройиздат, 1986. 327 с.

21. Звягинцев А.И., Миронов Л.А. Обоснование необходимости непосредственного учета параметров колебаний пролетных строений автодорожных мостов // Динамические испытания строительных материалов, конструкций и сооружений: тр. ЦНИИС. М., 2000. Вып. 202. С. 67–82.

22. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний. М.: Высшая школа, 1972. 416 с.

23. Гольдсмит В. Удар. Теория и физические свойства соударяемых тел. М.: Изд-во литературы по строительству, 1965. 430 с.

24. Козьмин Ю.Г. К динамическому расчету многопролетных неразрезных упруго опертых балок на действие ударной нагрузки. Ленинград, 1957. 27 с.

25. Дюве П., Кларк Д., Бонеблуст Х. Поведение длинных балок при ударной нагрузке // Механика: III. М.: Изд-во иностр. литературы, 1950. С. 53–63.

26. Шмигальский В.Н., Коротков В.С., Ксенофонтов Г.В. Подсчет и измерение интенсивности вибрации // Труды НИИЖТ. Вып. 66: Исследование работы искусственных сооружений. Новосибирск, 1967. С. 140–152.

27. Крэндалл С. Роль демпфирования в теории колебаний // Механика. Периодический сборник переводов иностранных статей. М.: Мир, 1971. Т. 5, № 129. С. 3–22.
28. Новоторцев В.И. Теория колебания сооружений в применении к сейсмостойкому строительству. Ленинград: Гос. академия наук СССР, 1934. 104 с.
29. Рахматулин Х.А., Демьянов Ю.А. Прочность при интенсивных кратковременных нагрузках. М.: Гос. изд-во физ.-мат. литературы, 1961. 399 с.
30. ГОСТ Р 52748-2007. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения. Национальный стандарт Российской Федерации. М.: Стандартинформ, 2008. 8 с.
31. Ильюшин А.А. Пластичность. Основы общей математической теории. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1963. 271 с.
32. Картопольцев В.М., Картопольцев А.В., Колмаков Б.Д. Ретроспективный анализ исследований динамической работы пролетных строений автодорожных мостов // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС–28–2022): 28-я междунар. науч.-практ. конф., 16 ноября 2022 г., Томск, Россия. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2022. С. 5–28.
33. Шмидт Г. Колебания механических систем при случайном параметрическом возбуждении // Теоретическая и прикладная механика: тр. XIV междунар. конгресса IUTAM. М.: Мир, 1979. С. 684–694.
34. Ibrahim R., Barr A. Autoparametric resonance in a structure containing a liquid // -j. Sound. Vib. 1975. Vol. 42, N 159. 181 p.
35. Model R. Kombinationstremonen eines stonnastisch erregten Schwingungs-systems. ZAMM, 1978. 377 p.
36. Снитко Н.К. Методы расчета сооружений на вибрацию и удар. Ленинград – Москва, 1953. 287 с.
37. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний / перераб. и доп. Н.А. Железцова. 2-е изд. М.: Физматгиз, 1959. 915 с.
38. Филиппов А.П. Колебания деформируемых систем. М.: Машиностроение, 1970. 718 с.
39. Ефимов П.П. Исследование некоторых свойств динамической системы «пролетное строение + нагрузка» для случая движения нагрузки по неровной проезжей части пролетных строений малой длины // Теоретические и экспериментальные исследования мостов и строительных конструкций : сб. науч. тр. / СибАДИ. Омск: Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1971. № 4. С. 5–10.

40. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. М.: Физматгиз, 1959. 439 с.

41. Попов В.И. Динамика криволинейных балок пролетных строений // Надежность конструкций мостов и тоннелей: сб. науч. тр. М.: МАДИ, 1986. С. 27–34.

42. Вынужденные колебания автодорожных мостов как случайный процесс / А.Г. Барчёнков, Р.И. Мальцев, А.Н. Котуков, В.С. Сафронов // Прикладная механика. Отделение математики, механики и кибернетики АН УССР. 1971. Т. VII, вып. 3. С. 92–98.

V.M. Kartopoltsev, A.V. Kartopoltsev, D.N. Cherepanov

Improvement of curriculum programs for in-depth training of specialists of transport construction by expanding competence levels

Expansion and deepening of the competencies of future specialists of the training profile 08.03.01.16 Road bridges and tunnels within the framework of the national project for improving higher education in Russia should be implemented in the direction of a more in-depth study of the basic disciplines related to the design, construction and operation of bridge structures. At present, the modules of working disciplines B1.V.13, B1.V.08 are depleted in educational and scientific material related to the study of the dynamics of bridge spans, as well as their vibration diagnostics. Future competencies of the direction of training transport construction specialists within the framework of the implementation of national projects should include not only the construction of high-quality structures, design, technological, organizational and managerial aspects, but also scientific and educational cycles. With the increasing impact of various types of temporary moving loads in the form of a random traffic flow, it is necessary to revise not only the existing competencies in the training of transport construction specialists, but also the deepening of knowledge based on a significant number of scientific areas in the field of harmonic oscillations is paramount. One of the sections of improving the training programs is also the introduction of a course on the regulation of dynamic characteristics. Key words: span structure, bridge, deformations, static parameters, dynamics, system, elastoplastic state, bistal beams.

diamos@mail.ru

d_n_ch@mail.ru

В. М. КАРТОПОЛЬЦЕВ, действ. чл. МАН ВШ, д-р техн. наук,
профессор, директор ООО «ДИАМОС», Томск
А. В. КАРТОПОЛЬЦЕВ, канд. техн. наук, доцент,
вед. специалист ООО «ДИАМОС», Томск

РАСШИРЕНИЕ ПРОГРАММЫ КОНЦЕПЦИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

На основании исходных предпосылок Концепции совершенствования высшего образования до 2035 года по поручению Президента Российской Федерации от 02.06.2022 № Пр-1231, предлагается ряд мероприятий, направленных на решение ключевой задачи повышения уровня профессиональной подготовки специалистов профиля 08.03.01.16 «Автомобильные мосты и тоннели». Главным направлением развития образования в сфере транспортного строительства следует считать подготовку специалистов, обладающих новыми компетенциями в проектировании, строительстве, ремонте и содержании мостов и других искусственных сооружений на автомобильных дорогах Российской Федерации. Отсутствие профильного специалиста «Автомобильные мосты и тоннели» не способствовало формированию системного представления о мостостроительной индустрии. Для достижения уровня, соответствующего компетенции подготовки специалистов эксплуатации транспортных сооружений, рекомендуется внедрять в учебный процесс авторские курсы, такие как «Управление проектами», «Стройконтроль», «Цифровое строительство». Образовательная программа должна включать современные требования к специалистам, способным осваивать и внедрять инновационные подходы в практическую деятельность.

Компетенции направлений подготовки специалистов транспортного строительства должны отражать не только уровень будущей практической деятельности, но и научно-образовательные циклы [1, 2]. В связи с возрастанием воздействия динамических

нагрузок на пролетные строения мостов в виде случайного транспортного потока требуется пересмотр существующих компетенций в подготовке специалистов и углубление знаний по исследованию работы несущих элементов конструкций мостов. Решение таких задач отводится кадровому составу кафедр специальных и общетехнических направлений. Сегодня профессиональный и научный потенциал педагогического состава многих кафедр «растворился» в общем направлении «Строительство», что снизило уровень квалификации специалистов. Отсутствие практико-ориентированности в подготовке кадров на кафедрах, интеграции образовательных и производственных процессов, недостаточная научная база и инженерная школа отрицательно сказываются на подготовке специалистов. Мосты и другие искусственные сооружения транспортной инфраструктуры относятся к стратегическим объектам, поэтому необходимы разработка и внедрение новых, обоснованных глобальными вызовами в проектной и строительной областях федеральных государственных образовательных стандартов и программ, отражающих инновационные и перспективные методы расчета, проектирования конструкций, технологии возведения и применения новейшего оборудования в строительстве [3–6].

Для формирования новых компетенций и уровней специальных знаний целесообразно существующие специалитеты «Автомобильные дороги и аэродромы» и «Строительство и эксплуатация автодорожных мостов и тоннелей» переформировать в один специалитет и назвать «Автодорожные мосты и тоннели». Это необходимо по следующим причинам: в первом специалитете рассматриваются вопросы изысканий, расчета, проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов; во втором специалитете – вопросы строительства и эксплуатации автодорожных мостов и тоннелей. Оба специалитета не содержат разделов изысканий мостовых переходов при расчете и проектировании мостов и тоннелей, указанный недостаток в подготовке специалистов устраняется введением специалитета «Автодорожные мосты и тоннели».

Современная трансформация высшего образования в области транспортного строительства является не только необходимым фактором развития конкурентоспособности кадров, но и условием совершенствования уровня компетенций в отрасли.

Наряду с дефицитом квалифицированных кадров в мостостроительной отрасли, отставанием профессионального уровня трудового ресурса от требований в части проектирования, расчета, внедрения новых технологий наблюдается системная неготовность выпускников к трудоустройству, особенно квалификации бакалавра и магистра. Нестабильность качества подготовки в регионах связана прежде всего с недостаточным уровнем образовательных программ (ФГОС) высшего образования, отсутствием системы последовательной подготовки кадров и единого образовательного пространства в рамках инженерных школ и научных организаций [7–11].

В настоящее время компетенции в рабочих программах дисциплин, связанных с проектированием мостов при подготовке специалистов в области транспортной индустрии, отражают, как правило, нормативные материалы и расчеты пролетных строений на основе бездефектности элементов. Данное обстоятельство обуславливает очевидную фиктивность напряженно-деформированного и предельного состояния несущих конструкций и является серьезным препятствием для развития и совершенствования оценки реальной несущей способности и долговечности пролетных строений. Решение этой важной государственной задачи нуждается в повышении уровня образовательных учебных программ и компетенций, основанных на получении и анализе дополнительной информации на каждом этапе от проектирования до эксплуатации [12].

Подготовка мотивированных специалистов транспортного строительства требует внесения изменений в нормативно-регулируемые и определяющие документы на проектирование, строительство и эксплуатацию сооружений. Изменение уровня и содержания компетенций направлено на углубленное изучение специальных дисциплин с учетом ориентации на практическую деятельность.

Научное мировоззрение специалистов мостостроительной индустрии должно основываться на применении нетрадиционных решений в проектировании, строительстве и эксплуатации. Для этого необходимо в рабочие программы дисциплин «Проектирование мостов», «Строительство и содержание мостов» ввести новые разделы: расчет мостов с пониженной жесткостью; кручение и динамическая устойчивость криволинейных и косых

в плане пролетных строений; специальные методы регулирования динамических характеристик.

Специалисты транспортного строительства должны обладать высокотехнологическим уровнем компетенций, чтобы решать задачи по проектированию мостов и других сооружений транспортной инфраструктуры с обеспечением требуемой жесткости, комфортности, надежности, долговечности, особенно мостов с пролетами более 500 м. Это является приоритетом новых универсальных компетенций в подготовке специалистов, которые могут составить дальнейший механизм «карьерных лифтов».

Таким образом, подготовка специалистов в сфере транспортного строительства (мосты, тоннели и т. д.) требует современных инновационных подходов с использованием достижений науки, техники, а также в управленческой и организационной сфере. Образовательная структура должна включать корпоративный учебный центр, базовую кафедру, программу целевой подготовки, согласованную с ведущими вузами страны, подготовительные классы в школах.

Для расчета преподавательского состава кафедры должны быть сформированы корпоративные программы. Необходимы такие мероприятия, как стажировка – совместная работа «практиков» и «научных деятелей» транспортной отрасли, мастер-классы с ведущими отечественными специалистами, технические экскурсии на действующие и строящиеся уникальные мостовые сооружения и объекты транспортной инфраструктуры, практика студентов в мостостроительных подразделениях в перерывах между учебными модулями, например:

1) строительство мостовых объектов регионального значения, Новосибирск, Кемерово;

2) строительство объектов местного значения, Томск, Кемерово;

3) строительство развязки в г. Тюмени на пересечении ул. Дружбы – Мельникайте;

4) строительство второй очереди транспортной развязки в г. Новосибирске;

5) строительство моста через р. Обь в г. Новосибирске;

6) строительство моста через р. Яя в с. Большедорохово и другие объекты.

Следует организовать практику в структурных подразделениях организаций (от 1 недели до 1 месяца). Это могут быть:

- 1) технический отдел;
- 2) производственный отдел;
- 3) отдел управления проектами;
- 4) планово-экономический отдел;
- 5) отдел подготовки исполнительной документации;
- 6) строительно-монтажные участки;
- 7) стапелы для сборки пролетных строений.

Подготовка грамотных инженеров в области мостостроения должна проходить при участии в учебном процессе докторов наук инженерного направления на базе факультета инженерии и инженерной школы. Эти структуры должны вести научные исследования и проектные разработки, определяющие уровень перспективности мостостроительной индустрии. Необходима «технологическая магистратура», организация стажировки магистрантов, которая должна раскрывать горизонты будущей деятельности выпускника. Для этой цели могут служить следующие подразделения:

- 1) отдел технической подготовки;
- 2) участки укрупненной сборки пролетных строений;
- 3) отдел строительного сопровождения;
- 4) отдел подготовки исполнительной документации;
- 5) отдел проектирования и согласования;
- 6) участок диагностики;
- 7) отдел авторского и строительного контроля;
- 8) отдел подготовки технологических регламентов.

Стажировку преподавательского состава следует проводить на базе компаний, занимающихся внедрением новейших технологий в реализацию задач по проектированию и строительству объектов транспортной инфраструктуры, необходимы также специальные образовательные программы «доктор наук – студент». Приоритетным направлением любой базовой кафедры должно стать «цифровое строительство». Неотъемлемой частью инженерной школы кафедры должна быть работа с классами профильной подготовки в школах, где ученики, начиная с 8-го класса, привлекаются к изучению курсов специальной физики, механики, динамики и т. д. Для специалистов мостовой отрасли, а

также школьников профессиональных классов должны проводиться тренинги, программы повышения и расширения квалификации, самопрезентации. Все это является мотивацией в направлении подготовки современных специалистов-мостовиков.

Таким образом, совершенствование механизма развития высшего образования и подготовки квалифицированных кадров для мостоиндустрии обеспечивает соответствие и устойчивость транспортной инфраструктуры Российской Федерации глобальным вызовам, укрепление лидерских позиций экономики, а также расширяет горизонты «профессии будущего». Необходимо пересмотреть образовательные программы подготовки специалистов-мостовиков в сторону увеличения доли специальных (профильных) и инновационных дисциплин, развивать сетевые форматы подготовки кадров, формировать программы подготовки научных кадров высшей квалификации и воссоздать инженерные школы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Картопольцев В.М., Сипкин В.В., Картопольцев А.В. Строительный контроль – залог обеспечения надежности и долговечности сварных мостовых конструкций // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС–26–2020). 26-я междунар. науч.-практ. конф., 24 ноября 2020 г. Томск, Россия. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиотехники, 2020. С. 30–34.

2. Крамер Е.Л. О работе пролетных строений автодорожных мостов в упругопластической стадии // Наука и техника в дорожной отрасли. 2001. № 4. С. 15–17.

3. Быстров Н.В. Совершенствование системы высшего образования в сфере дорожного хозяйства Российской Федерации // Дороги и мосты. 2022. С. 11–22.

4. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Мальцева Т.В. Поиск новых технологий и решений в транспортном строительстве. Патентный поиск : учеб. пособие. Тюмень: ТИУ, 2020. –104 с.

5. Гошовец С.В. Перспективные направления в области мостостроения // Мостовые сооружения XXI век. 2022. Т. 4, № 56. Спецвыпуск. С. 16–20.

6. Инновационные технологии устройства мостового полотна на современных мостовых сооружениях (дорожная одежда и щебеночно-мастичные деформационные швы) / И.Г. Овчинников, В.Н. Макаров, В.А. Илюшкин, И.И. Овчинников, С.В. Овсянников. Саратов: Рата, 2008. 204 с.

7. Концепция развития Российской Федерации «О национальных целях развития на период до 2030 года» – указ Президента Российской Федерации от 21.06.2020 № 474. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 – распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.11.2021 № 3363-р.

8. Об утверждении концепции подготовки кадров для транспортного комплекса до 2035 г. : Положение Правительства Российской Федерации от 06.02.2021 № 255-р.

9. Перечень поручений Президента Российской Федерации по итогам совещания по вопросам дорожного строительства (от 02.06.2022 № 1231). Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25.07.2022 № 2036-р «Об утверждении плана проведения в Российской Федерации десятилетия науки и технологий».

10. Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации до 2030 г. : Распоряжение Правительства Российской Федерации от 21.12.2021 № 3744-р.

11. Об утверждении стратегии развития инновационной деятельности в области дорожного хозяйства на период 2021–2025 годов : Распоряжение Федерального дорожного агентства от 03.03.2021 №771-р.

12. Звягинцев А.И., Миронов Л.А. Обоснование необходимости непосредственного учета параметров колебаний пролетных строений автодорожных мостов // Динамические испытания строительных материалов, конструкций и сооружений: тр. ЦНИИС. М., 2000. Вып. 202. С. 67–82.

V.M. Kartopoltsev, A.V. Kartopoltsev

Expansion of the program of the concept of improving higher education training for transport construction

Considering the initial prerequisites for the Concept of Improving Higher Education until 2035, on behalf of the President of the Russian Federation No. Pr-I231 dated 02.06.2022, a number of measures are proposed aimed at solving the key task of improving the level of professional training of specialists in the training profile 08.03.01.16 Road bridges and tunnels. The main direction of the development of education in the field of transport construction should be considered the training of specialists with new competencies in the design, construction, repair and maintenance of bridges and other artificial structures on the roads of the Russian Federation. The lack of a specialized specialty «Road bridges and

tunnels» did not contribute to the formation of a systematic understanding of the bridge construction industry. To achieve a level corresponding to the competence of training specialists in the operation of transport facilities, it is recommended to introduce proprietary courses into the educational process, such as Project Management, Construction Control, Digital Construction. The educational program should include modern requirements for specialists who are able to master and implement innovative approaches in practice.

diamos@mail.ru

М. Ю. КАТАЕВ, чл.-кор. МАН ВШ, д-р техн. наук,
профессор, ТУСУР, Томск
А. Е. BULYSHEV, чл.-кор. МАН ВШ,
Dr.Sci., ODU, Norfolk, USA

ВЫДЕЛЕНИЕ ЛЕСНОГО МАССИВА НА ИЗОБРАЖЕНИИ, ПОЛУЧЕННОМ ЦИФРОВОЙ КАМЕРОЙ БПЛА, С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Представлен метод сегментации RGB-изображений лесных массивов, полученных с помощью беспилотного летательного аппарата, путем выделения на них отдельных крон деревьев. Классические методы выделения крон деревьев на изображении в данном случае предоставляют лишь ограниченный набор информации (яркость и текстура), которой не всегда достаточно для решения практических задач. Поэтому рассматривается метод нейронных сетей (модель Mask RCNN) как альтернатива классическому подходу.

Лесное хозяйство нуждается в получении своевременной, точной и актуальной информации о видах деревьев, их состоянии и характеристиках (высота, диаметр и др.). Получение такой информации с помощью традиционных методов, которые выполняются чаще всего наземным визуальным способом, – очень трудоемкая задача. Несмотря на получаемую точность изучаемых характеристик, такой подход очень длительный и сотни гектаров лесов могут рассматриваться неделями. Именно поэтому необходимо использовать современные инструменты для мониторинга лесных массивов. Такими инструментами являются беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и установленные на них приборы, например цифровые камеры разного типа. Благодаря этому скорость получения необходимых данных (изображений) значительно повышается. Однако также появляются иные задачи, такие как задачи обнаружения и оценки характеристик деревьев на изображениях, полученных с помощью БПЛА, по их кронам (вид сверху, рисунок 1).

Обнаружение и оценка характеристик различных объектов на изображении составляют основу методов компьютерного зрения. Эти методы приобретают некоторую особенность при обработке изображений, полученных с помощью БПЛА. Она заключается в том, что в этом случае видны только кроны деревьев. Классические методы определения деревьев на таких изображениях предоставляют лишь ограниченный набор информации, которого явно недостаточно для выполнения многих практических задач.



Рисунок 1 – Изображение лесного массива, полученное с помощью БПЛА

Мониторинг лесных хозяйств крайне важен для рационального использования лесных ресурсов, поэтому необходимо получать актуальную и точную информацию о текущем состоянии леса. Решение задачи оценки лесных ресурсов традиционными методами является невероятно сложным процессом из-за больших территорий, занимаемых лесными массивами, различий в

рельефе местности леса (есть горные участки, где человеку очень непросто проводить обследование леса). Именно по этой причине для мониторинга лесных хозяйств начинают использоваться беспилотные летательные аппараты. Сегодня БПЛА являются одним из самых эффективных инструментов для решения задач подобного рода, однако если полеты БПЛА стали рутинной задачей, то программное обеспечение для обработки полученных изображений практически не разработано, в чем и заключается актуальность данной работы.

Во время аэрофотосъемки с помощью БПЛА формируется набор перекрывающихся между собой изображений лесных массивов с лицевых и боковых сторон, обычно перекрытие составляет от 60 до 80%. Высота полета БПЛА подбирается в зависимости от выполняемой задачи. Параметр высоты полета определяет пространственное разрешение снимков.

Чтобы определить необходимые характеристики аэрофотосъемки и цифровой камеры, нужно применить следующие формулы:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}(A/2) &= S_x/2 * f, \\ W_x &= 2 * H \operatorname{tg}(A/2), \\ R_x &= W_x/N_x, \end{aligned} \quad (1)$$

где A – угол поля зрения камеры, градус; S_x – размер RGB-матрицы по большой стороне, мм; f – фокусное расстояние, мм; W_x – размер изображения на поверхности Земли, см; N_x – число пикселей матрицы по большой стороне; R_x – пространственное разрешение, см/рх.

Одним из классических методов сегментации изображений является K-means, суть которого заключается в разбиении элементов изображения на заранее заданное число кластеров. Алгоритм данного метода обработки изображений состоит в минимизации суммарного квадратичного отклонения точек кластеров от их центров. На каждой итерации алгоритма K-means центры масс каждого кластера, полученные на предыдущем шаге, пересчитываются, после чего векторы снова разбиваются на кластеры уже с ближайшими по выбранной метрике центрами масс. Как только расстояние между кластерами перестает изменяться после итерации, алгоритм завершается.

Недостатки данного метода обработки изображений:

- 1) вместо глобального минимума суммы квадратичного отклонения может быть достигнут один из локальных минимумов;
- 2) результат работы алгоритма сильно зависит от выбора оптимальных начальных центров кластеров;
- 3) необходимо заранее знать число кластеров.

Другой известный классический метод – метод пороговой сегментации. Он основан на делении изображения на несколько частей исходя из некоторых значений, называемых пороговыми. Суть метода заключается в выделении на гистограмме яркости изображения $H(i)$, $i = 0, 255$, некоторого порогового значения P , определяющего принадлежность всех точек двум областям относительно этого порога. Если точки $H(i) < P$, то они принадлежат области, где расположен искомый объект, в противном случае в оставшейся области объект отсутствует. Число порогов может быть произвольным, а число областей деления гистограммы, следовательно, – множественным.

Помимо методов, описанных выше, для сегментации изображения можно применить подходы на основе искусственных нейронных сетей. Сегментация изображений нейронными сетями состоит из двух этапов. Первый этап – обучение, когда некоторой системе на вход подается изображение, где находится искомый объект, а на выход – некоторое значение, показывающее, что объект на изображении присутствует. Второй этап – обученная таким образом система в дальнейшем позволяет на произвольном изображении находить искомые объекты.

Для рассматриваемой в работе нейронной сети процесс обучения связан с применением функций энкодера и декодера. Энкодер извлекает характеристики из входного изображения с помощью заданных фильтров, а декодер отвечает за вывод, который обычно представляет собой маску искомого объекта. При разработке энкодера нейронной сети можно воспользоваться пороговыми или кластерными методами. В данной работе применяется метод K-means. На вход сети подаются в виде линейного вектора небольшие случайные части изображений размером 16×16 пикселей из специально подготовленной выборки изображений (обучающей выборки). Количество кластеров k задается достаточно большим, например 1000. Обученная сеть вырабатывает при этом центры кластеров, связанные в задаче поиска крон деревьев с центрами каждой кроны.

Надо отметить, что для обучения нейронных сетей нужно много изображений лесных массивов, снятых при разных условиях освещения и высотах полетов разными типами цифровых камер. Однако в открытом доступе можно найти лишь небольшое количество изображений лесных массивов и еще меньше баз данных, где выделены отдельные кроны деревьев (разметка) и дано описание каждой кроны и условий получения изображений.

Поэтому нами предпринята попытка решить задачу разметки, используя изображения лесного массива, которые были получены в лаборатории беспилотных систем ТУСУРа. Всего было взято 70 изображений лесного массива хвойных деревьев. Данный набор был разбит на три группы: 50 изображений, относящихся к обучающей выборке; 10 изображений, относящихся к валидационной выборке; 10 изображений, относящихся к тестовой выборке.

Выборки формировались в соответствии со следующими критериями.

1. Данные должны быть перемешаны. Это позволяет избежать предвзятости – возможности недостаточного пересечения классовых меток или полного отсутствия этого пересечения.

2. Данные должны быть равномерно распределены по классам. В случае равномерного распределения классов между выборками алгоритм получает более равные возможности для изучения признаков каждого класса, а также это позволяет провести тестирование на равном числе классов.

На изображениях, являющихся частью обучающей выборки, были размечены хвойные деревья. Разметка производилась с помощью инструментов сайта makesense.ai, работающего по стандартной общественной лицензии GNU (GPL). Данный сайт позволяет размечать объекты на изображении, необходимые для обучения, и сохранять разметку в различных форматах, среди которых был выбран формат *.json, так как в нем в удобном для чтения виде хранятся имена классов объектов, что позволяет значительно упростить работу. Файл, полученный с помощью этой процедуры, содержит данные о принадлежности выделенного объекта изображению, на котором он находится, классу объекта, а также о его местонахождении на изображении. Процесс разметки деревьев и присвоения им класса «Хвойные» показан на рисунке 2.

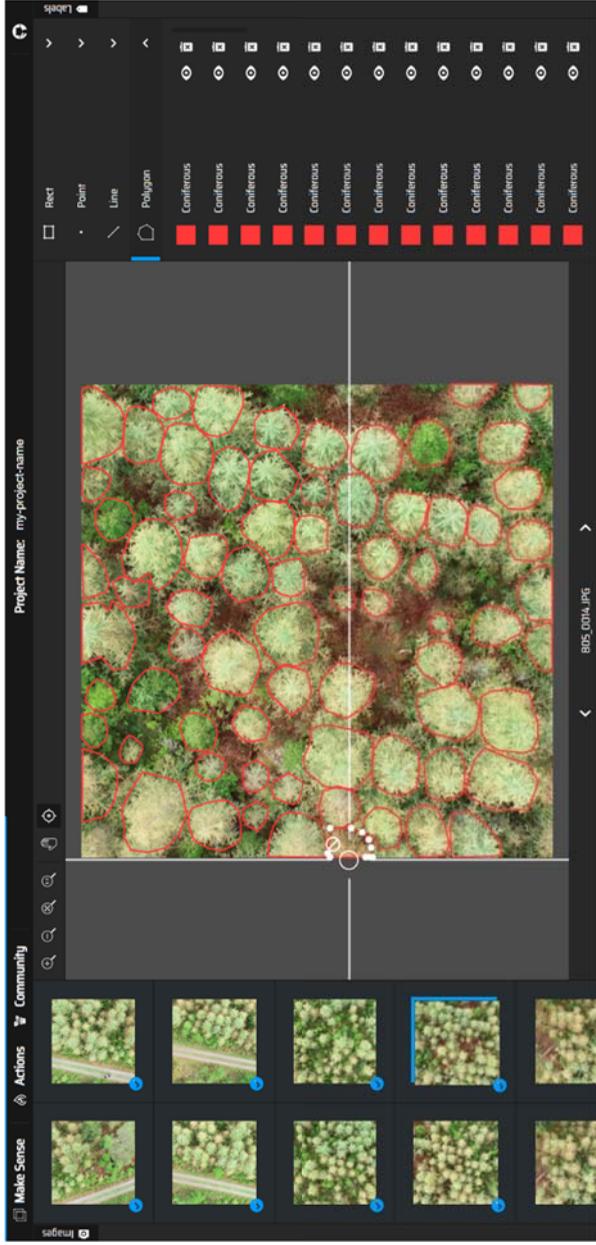


Рисунок 2 – Выделение объектов на изображении с помощью инструментов makesense.ai

На рисунке 2 показаны кроны деревьев, выделенные ручным способом, изображения которых занесены в файл с описанием характеристик полета и типа дерева (хвойные). Далее была выполнена разметка для 70 изображений и составлены обучающая, тестовая и верификационная выборки. После этого выполнялось обучение нейронной сети Mask RCNN (Mask Region Based Convolutional Neural Networks).

На вход программы, реализующей нейронную сеть, подается изображение лесного массива, полученное с помощью БПЛА (см. рисунок 1).

Заметим, что обучающая и остальные выборки готовились по другим изображениям БПЛА, откуда взято изображение 1. С помощью операций свертки создаются карты признаков, с помощью которых выбираются регионы интереса, где содержатся искомые объекты – кроны деревьев.

Карты признаков и регионы интереса объединяются в индивидуальные карты признаков региона интереса, после чего для региона интереса предсказывается, к какому классу относится объект внутри региона. Для объекта создается бинарная маска, которая накладывается на исходное изображение, чтобы создать результирующее изображение.

Результатом работы программы является рисунок 3, где отмечены кроны. На рисунке 1 пространственное разрешение составляет 7 см/рх. Визуальным способом подсчитали, что на изображении находится 60 деревьев, а также определили диаметры их крон.

Суммарные результаты обработки представлены в таблице 1.

Надо отметить, что на рисунке 1 представлен молодой хвойный лес и поэтому диаметры крон соответствуют действительности, особенно если их сравнить с размером дороги. Полученная точность является вполне достаточной, чтобы применять предлагаемый подход на практике таксационных измерений.

Заключение

В результате выполнения работы проанализированы методы сегментации изображений, среди которых был выбран метод на основе нейронных сетей. Рассмотрена модель сверточной нейронной сети Mask RCNN. Создан собственный набор размеченных изображений лесного массива и составлены массивы для обучения нейронной сети. Проведено обучение нейронной сети, посредством которой выполнен поиск крон деревьев и определен их диаметр.

В результате точность определения числа деревьев превышает 95%, а определение диаметров крон приближается к 90%. Надо отметить, что дальнейшая работа будет связана с увеличением базы данных изображений деревьев и дообучением нейронной сети. Программный продукт разрабатывается в центре космического мониторинга Земли ТУСУРа в рамках проекта ПРИОРИТЕТ-2030.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера, 2010. 560 с.
2. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Цифровая обработка аэрокосмических изображений: учеб. пособие. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2008. 278 с.
3. Automated image identification, detection and fruit counting of top-view pineapple crown using machine learning / W.N. Syazwani, M. Asraf, M.S. Amin, N. Dalila // Alex. Eng. J. 2022. Vol. 61. P. 1265–1276.
4. Kiwifruit detection in field images using Faster R-CNN with ZFNet / L. Fu, Y. Feng, Y. Majeed, X. Zhang, J. Zhang, M. Karkee, Q. Zhang // IFAC-PapersOnLine. 2018. Vol. 51. P. 45–50.

M.Yu. Kataev, A.E. Bulyshev

Identification of forest in an image obtained by a uav digital camera using neural networks

The goal of the work is to develop a method for segmenting RGB images of forests obtained using an unmanned aerial vehicle (UAV) by highlighting individual tree crowns on them. In this case, classical methods for identifying tree crowns in an image provide only a limited set of information (brightness and texture), which is not always sufficient to solve practical problems. Therefore, the neural network method (Mask RCNN model) is considered as an alternative to the classical approach.

This area of work is carried out at the TUSUR Center for Space Monitoring of the Earth.

mikhail.i.kataev@tusur.ru

М. Ю. КАТАЕВ, чл.-кор. МАН ВШ, д-р техн. наук,
профессор, ТУСУР, Томск
L. A. BULYSHEVA, чл.-кор. МАН ВШ,
Ph.D., ODU, Norfolk, USA

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ГОЛОВЫ ЧЕЛОВЕКА ОКОЛО МОНИТОРА

Приводится описание методики распознавания наклона и поворота головы человека, основанной на лицевых точках по данным обработки изображений цифровой камеры, которая установлена на мониторе. В предлагаемой методике используются нейронные сети. Реализована программа обучения нейронной сети для определения наклона и поворота лица человека на основе нормализованных расстояний между лицевыми точками. Корректность работы системы обоснована проведением тестов и экспериментов по оценке адекватности и оптимальности нейронной сети.

Когда человек работает за компьютером, правильное положение тела на рабочем месте является очень важным фактором. Обычно рабочее место включает стул, стол и компьютер с монитором. Но не все соблюдают правильное положение тела, что может иметь негативные последствия. Контроль движения головы может решить эту проблему и даже улучшить когнитивные способности работника, предотвратить заболевания и сделать рабочий процесс более эффективным. Современные технологии позволяют разрабатывать программы для контроля за движениями человека, используя алгоритмы компьютерного зрения и нейронные сети. Обучая эти алгоритмы, можно создать точную систему для оценки положения головы работника и дать рекомендации по улучшению его действий за компьютером. В данной работе также рассмотрены и исследованы другие методы и типы алгоритмов.

Сегодня ставится множество задач, связанных с определением характеристик человека. Эти данные можно использовать для улучшения работы систем, так или иначе взаимодейству-

ющих с пользователем. Такими системами являются приложения и программы, которые нуждаются в отслеживании головы человека, например используемые в организациях правопорядка и контроля, здравоохранения, виртуальная реальность или конференции с видеосвязью.

Такие задачи особенно актуальны и релевантны ввиду необходимости в поиске объектов (в нашем случае человеческой головы) при условиях прямой трансляции (поиск в реальном времени).

Данная тема не раз была рассмотрена различными исследователями. Однако проблему определения положения головы нельзя назвать полностью решенной. Большинство решений рассматривается при определенных условиях, а именно подразумевается, что для покрытия всех проблематичных сцен и кадров с присутствующим человеческим лицом необходима мультиметодичность алгоритмов и программных средств.

Данная проблема обусловлена рядом факторов, которые влияют на работу системы, таких как несистемное движение головы, сложное и неравномерное освещение, строение лица человека, меняющееся в зависимости от положения бровей, губ и т. п., что приводит к изменению формы головы. Целью данной работы является создание методики и реализация системы определения положения головы человека около монитора.

Существуют методы нахождения головы человека на изображении, опирающиеся на эмпирические признаки. Формируя ряд параметров, анализируя наличие и взаиморасположение данных, система определяет присутствие лица человека на изображении (кадре).

Например, группы признаков могут быть такими:

- 1) лицо в большинстве случаев симметрично относительно вертикали;
- 2) присутствуют отдельные черты лица;
- 3) черты лица отличаются по яркости от кожи;
- 4) черты лица имеют строгое взаимоположение и размеры (относительные).

Другие группы признаков могут содержать элементы/особенности, характерные для человеческого лица; форму черт лица; симметричность и т.д.

Однако не все признаки опираются на данные формализации. Многие методы основываются на закономерностях и свойствах изображений лица, а именно на цвете, форме и текстуре.

В сумме набор представленных признаков может использоваться как подходами компьютерного зрения, так и нейросетевыми подходами.

Распознавание лица и его выравнивание для более качественной работы алгоритмов и системы определения является сложной задачей для классических методов компьютерного зрения. Успешные результаты глубокого обучения нейронных сетей позволяют обеспечить высокую производительность и точность системы при решении задач определения лица человека.

Если имеется изображение, которое получено камерой, расположенной на мониторе, то на нем всегда присутствует голова человека (наличие плеч на изображении зависит от наклона камеры). На первом этапе обработки такого изображения создаются окна-кандидаты с претензией на наличие в них лица при помощи неглубокой нейронной сети (классический вариант CNN – сверточной нейронной сети). Затем при помощи более сложной сети (с добавлением разнообразных пространственных фильтров) запускается процесс переработки данных окон, в ходе которого окна без лиц отсеиваются. После этого на основе работы еще более мощной сети уточняется результат и выводятся положения ориентиров лица (т. е. лицевых точек). Благодаря такой многозадачной системе обучения производительность становится значительно выше.

Для распознавания лица и лицевых точек мы использовали нейронную сеть MTCNN (Multi-Task Cascaded Convolutional Neural Networks). Процедура обработки изображения представлена на рисунке 1.

Раскром каждый из этапов предлагаемого метода.

На первом этапе используется сверточная сеть – сеть предложений (P-Net). Ее задача заключается в получении окон-кандидатов и векторов регрессии ограничивающего прямоугольника (BBR). Оцененные векторы регрессии ограничивающего прямоугольника служат для калибровки кандидатов. После этого выполняется немаксимальное подавление (NMS), чтобы объединить сильно перекрывающихся кандидатов.

На втором этапе все кандидаты передаются в другую сверточную нейронную сеть, называемую усовершенствованной сетью (R-Net), которая дополнительно отклоняет большое количество ложных кандидатов и выполняет калибровку с помощью регрессии ограничивающего прямоугольника и NMS-слияние кандидатов.

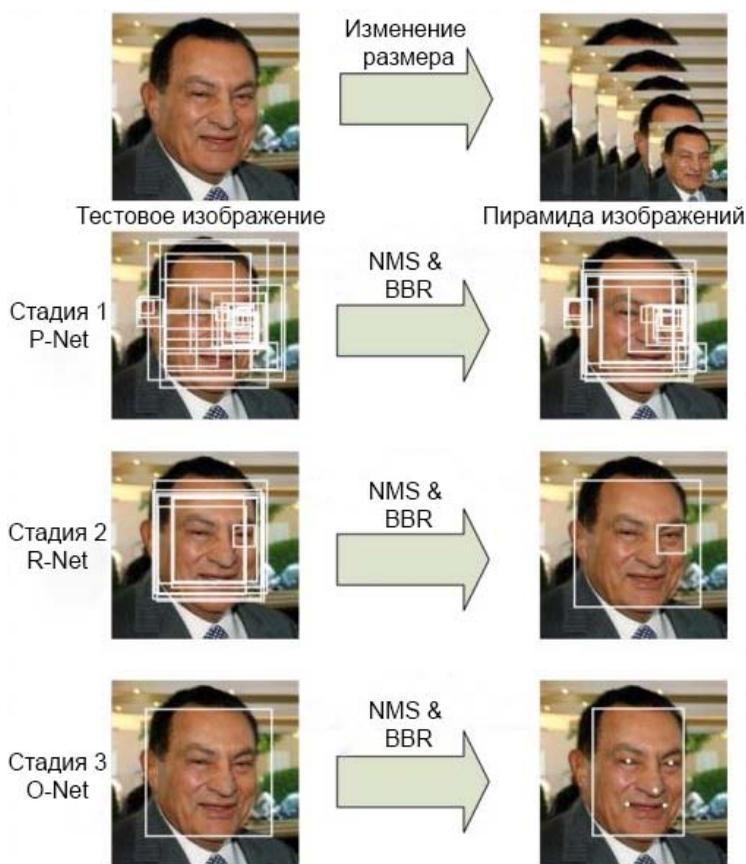


Рисунок 1 – Конвейер каскадов обработки

Третий этап похож на предыдущий, однако здесь мы пытаемся описать лицо более подробно, в частности выводим позиции пяти лицевых точек.

Результаты улучшения производительности системы выделения головы человека приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение скорости и точности сверточных нейронных сетей

Группа	Сверточная нейронная сеть	300 эпох обучения	Достигнутая точность, %
Первая	12-Net	0,038 с	94,4
Первая	P-Net	0,031 с	94,6
Вторая	24-Net	0,738 с	95,1
Вторая	R-Net	0,458 с	95,4
Третья	48-Net	3,577 с	93,2
Третья	O-Net	1,347 с	95,4

После выделения изображения лица выполняется выделение лицевых точек и расчет необходимых характеристик для дальнейшего определения наклона и поворота головы.

В рамках данной статьи для определения основных лицевых точек применяется маска, которая приведена на рисунке 2.

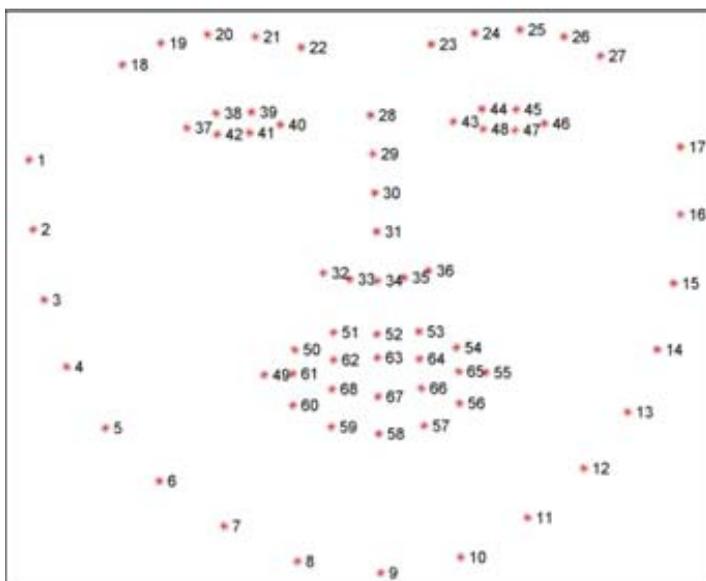


Рисунок 2 – Пронумерованные точки лицевой маски

После того как посредством маски найдены точки на лице человека, на выделенном изображении с помощью каскада Хаара определяются необходимые расстояния между точками. Среди точек есть важные для решения обсуждаемой задачи – это глаза, нос, рот. Между важными точками проводятся линии (рисунок 3).

Так получается, что точечная лицеза основа отображается по-разному в зависимости от многих факторов. Первая группа факторов связана с положением лица относительно камеры. Вторая группа факторов – с искажениями лица под действием мимики человека, вследствие неравномерности освещения, наличия бороды, очков и т. п.

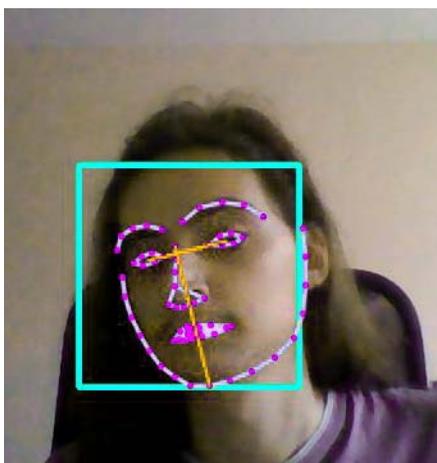


Рисунок 3 – Расположенные на лице человека антропометрические точки

Далее выделяются основные элементы лица: глаза, брови, нос, рот и подбородок (рисунок 4). Используя местную систему координат лица человека, можно найти линии горизонта и вертикали (см. рисунок 4).

При наклоне или повороте лица линии глаз и «нос-рот» будут отклоняться от местной системы координат. На рисунке 4 цифры 33 и 27 означают номера лицевых точек, используемых для определения осей.

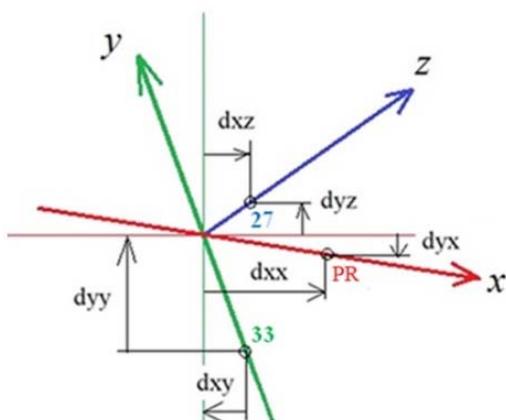
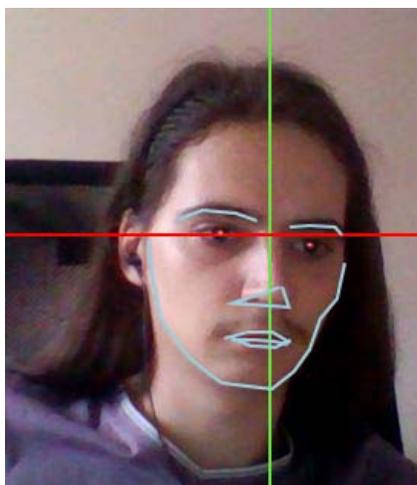


Рисунок 4 – Система координат с началом в середине отрезка между глаз

Запишем выражения, которые в дальнейшем будем использовать для нахождения точек пересечения проекций осей:

$$K_x = \frac{dyx}{dxx};$$

$$K_y = \frac{dyy}{dxy};$$

$$Kz = \frac{dyz}{dxz}.$$

Смещения d определены координатами точек:

$$dxx = XRight - XZero;$$

$$dyx = -YRight - YZero;$$

$$dxy = -X[Point33] - XZero;$$

$$dyy = Y[Point33] - YZero;$$

$$dxz = X[Point27] - XZero;$$

$$dyz = -Y[Point27] - YZero.$$

Необходимые нам смещения определяются в системе координат с центром в точке $(XZero, YZero)$ и осью Y , которая направляется вверх. Координаты данных точек

$$X = Xock - XZero;$$

$$Y = -Yock - YZero,$$

где $Xock$ и $Yock$ – это текущие координаты лицевых точек в местной системе координат.

Алгоритм поиска углов и наклонов реализован выражениями, представленными выше, и далее было выполнено тестирование. Человек на протяжении 10 мин работал перед монитором компьютера, естественным образом двигая головой. В определенные моменты он поднимал, опускал, поворачивал влево и вправо голову. График сигнальной функции как среднего и нормированного значения по всем углам относительно местной системы координат приведен на рисунке 5. По оси абсцисс указаны секунды, а по оси ординат – средние значения сигнальной функции.

На рисунке можно наблюдать всплески сигналов, когда человек отводит внимание от монитора и наклоняет либо поворачивает голову. Когда голова человека находится по центру, сигналы имеют среднее значение, не превышающее граничных условий.



Рисунок 5 – Перепады сигналов при вращении головы человека налево и направо

Заключение

В результате проведенной работы разработана методика на основе нейронных сетей. Суть методики в том, что на первом этапе находится лицо человека на изображении и далее выполняется поиск лицевых точек. По лицевым точкам строится система координат, связанная с лицом человека, которая сравнивается с местной системой координат. На основе полученных результатов разработаны алгоритмы и программа, которая протестирована. В итоге найдены условия, позволяющие четко отслеживать повороты и наклоны головы человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rosa J.L.G. Artificial Neural Networks – Models and Applications. IN-TECH, 2016. 412 p.
2. Huang Y., Huang T. Facial Tracking with Head Pose Estimation in Stereo Vision // Proc. Intl. Conf. Image Processing. 2002. Vol. 3. P. 833–836.
3. Kataev M.Yu., Kovalev N.V., Griboedov A.A. Reconstruction of the rotation angles of the human head from images // TUSUR Reports. 2012. No 2(26). Part 1. P. 238–242.

M.Yu. Kataev, L.A. Bulysheva

Neural network method for determining the position of a human head around the monitor

This article describes a method for recognizing the tilt and rotation of a person's head, based on facial points based on image processing data from a digital camera installed on the monitor. The proposed technique is based on the neural network method. A program has been implemented that uses neural network training to determine the tilt and rotation of a person's face

based on normalized distances between facial points. The correct operation of the system is justified by conducting tests and experiments to assess the adequacy and optimality of the neural network, as well as by correct and evaluated results.

mikhail.i.kataev@tusur.ru

Н. П. КИСЛЕНКО, канд. техн. наук, доц. каф. ПМ НГАСУ,
Сибстрин, Новосибирск

ПРИМЕНЕНИЕ КЛИЕНТСКИХ WEB-ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Рассмотрен подход к созданию виртуальных лабораторных работ по техническим дисциплинам в виде автономных Javascript-модулей.

Национальная программа «Цифровая экономика РФ» [1] ставит перед образовательной системой задачи подготовки граждан к условиям цифровой экономики и специалистов для неё. Согласно данной программе дистанционные образовательные технологии и электронное обучение используются образовательными организациями во всех видах и формах учебной деятельности.

Сложившиеся формы электронного обучения позволяют наглядно представить учащимся текстовый и мультимедийный материал и пройти контроль знаний, но чаще всего не дают возможности выполнять задания, реализуемые в лабораторных условиях. При этом имеющиеся учебные лабораторные комплексы в значительной степени устарели и практически не обновляются.

Для решения данной проблемы чаще всего используются виртуальные лабораторные практикумы, реализуемые либо в виде автономных программных комплексов, либо как подборки документов (приложений) для того или иного пакета программ (Mathcad, Microsoft Excel, ANSYS и т. д.).

Однако и здесь достаточно высокие трудоёмкость и длительность разработки программного обеспечения, дорогие лицензии на базовые программные продукты, как правило, не являющиеся open-source источниками, приводят к сложностям в создании недорогого и приемлемого по срокам внедрения программного обеспечения учебного процесса.

Ранее автором рассмотрено применение средств разработки клиентских web-приложений (HTML5, CSS3, Javascript) в ка-

честве актуального наполнения учебного курса информационных технологий с элементами программирования [2]. На основе имеющегося опыта можно утверждать, что данные технологии хорошо себя зарекомендовали и в решении задачи разработки виртуальных лабораторных работ.

Архитектура программного обеспечения для выполнения виртуальной лабораторной работы, как правило, содержит следующие основные компоненты:

- средства авторизации пользователя;
- выбор режима или настроек выполнения работы;
- средства непосредственного моделирования;
- формирование логов или протоколов выполнения работ;
- организация доступа, контроля и оценки работ со стороны преподавателя;
- ознакомление студента с результатами оценки.

Все эти возможности могут быть реализованы посредством клиентских web-технологий с привлечением элементов серверного программирования для авторизации, логирования результатов и формирования отчётов по сохранённым данным.

В простейшем случае модуль лабораторной работы технически представляет собой блочный элемент HTML с атрибутом-идентификатором плюс анонимную самовызывающуюся функцию-замыкание на Javascript, реализующую на стороне клиента наполнение элемента контентом, выполнение программного кода и связь с сервером для обмена данными:

```
<div id="lab1"></div>
<script>
  (function (id) { /* код модуля */ } ('lab1'));
</script>
```

Для связи с серверной стороной применяются Javascript – фреймворк JQuery, позволяющий легко организовать отправку данных серверному скрипту на PHP из клиентского приложения.

Серверный модуль может быть единым для всего комплекса лабораторных работ и поддерживать обмен данными с клиентскими скриптами в формате «ключ = значение».

Такой подход позволяет выполнять все расчёты на стороне клиента, обеспечивает кроссплатформенность и гибкую компоновку лабораторных модулей, а безопасность транзакций обеспечивается защитой от межсайтового скриптинга XSS на стороне

сервера. Модуль лабораторной работы встраивается в любой макет сайта или SMS, позволяющую выполнение Javascript, в том числе в популярную образовательную платформу Moodle.

Разработанное программное обеспечение функционирует во всех современных браузерах, его запуск выполняется по обычной гиперссылке в электронном курсе или на web-странице. Программное обеспечение не имеет технических ограничений по количеству одновременно работающих пользователей, а его производительность зависит только от характеристик используемых аппаратных средств и сетевого оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цифровая экономика РФ. URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/>
2. Кисленко Н.П. Курс информационных технологий на основе применения инструментов web-разработки // Сибресурс-2022: 28-я междунар. науч.-практ. конф., Россия Томск. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2022. С. 76–78.

N.P. Kislenco

Usage of client web applications for organizing virtual laboratory works

The article considers an approach to creating virtual laboratory works for technical disciplines in the form of autonomous Javascript modules.

kis@sibstrin.ru

А. А. МИЦЕЛЬ, действ. чл. МАН ВШ, д-р техн. наук,
проф. каф АСУ, ТУСУР, Томск

А. Н. АЛИМХАНОВА, ст. преподаватель каф. АСУ,
ТУСУР, Томск

СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ РЕШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВЫРУЧКОЙ МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рассматривается алгоритм на основе квадратичного программирования и пошаговый алгоритм решения динамической задачи на примере управления выручкой малых предприятий. Результаты показали, что пошаговый алгоритм решения динамической задачи позволяет сократить время счета в 19–36 раз по сравнению с алгоритмом на основе квадратичного программирования.

Выручка является основным источником денежных поступлений от основной деятельности предприятия, а также одним из главных факторов, влияющих на функционирование предприятия.

Ранее авторами рассмотрен алгоритм решения динамической задачи с использованием пошагового алгоритма [1]. Пошаговый алгоритм основан на последовательном решении задачи на каждом временном шаге. На рисунке 1 представлена схема управления выручкой малых предприятий для разработанного программного комплекса [2].

Рассмотрим алгоритм на основе квадратичного программирования. Данный алгоритм формулирует задачу управления как задачу квадратичного программирования, где минимизируется квадратичная функция с ограничениями [3].

Вводится составной вектор U размерности $(mT \times 1)$:

$$U = \begin{pmatrix} u(0) \\ u(1) \\ \dots \\ u(T-1) \end{pmatrix}. \quad (1)$$

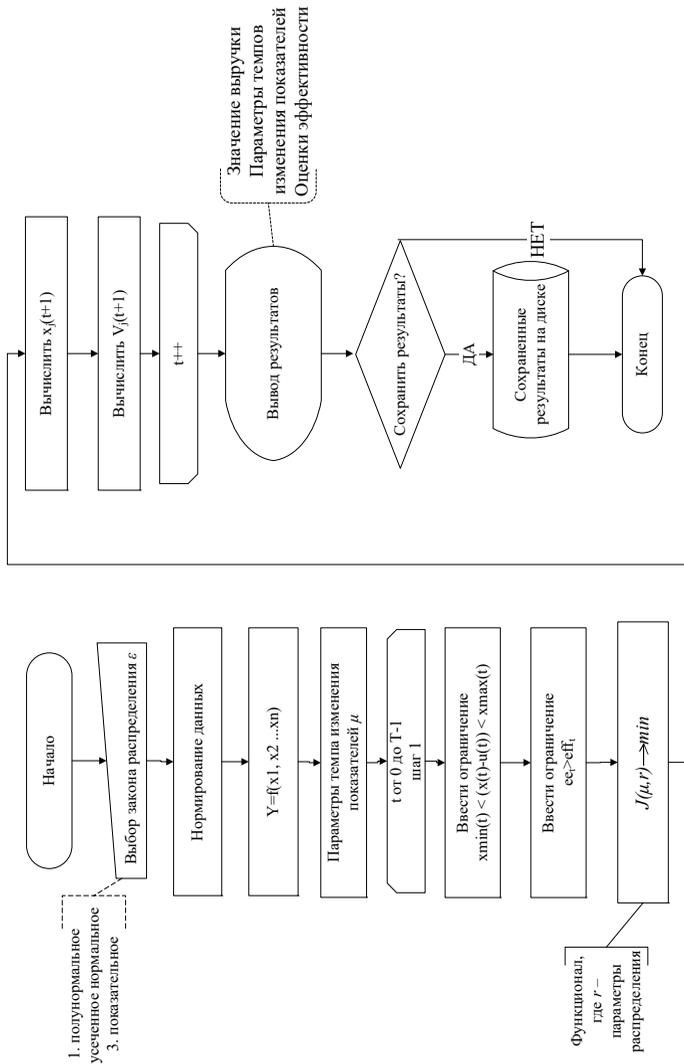


Рисунок 1 – Схема алгоритма управления выручкой предприятий

Определяется блочно-диагональная матрица

$$A = \begin{pmatrix} R & 0 & \dots & 0 \\ 0 & R & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & R \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Задается составной вектор финансовых показателей и векторы ограничений показателей размерности $(mT \times 1)$:

$$VX = \begin{pmatrix} x(0)+u(0) \\ x(0)+u(0)+u(1) \\ \dots \\ x(0)+\sum_{k=0}^{T-1} u(k) \end{pmatrix}; X_{\min} = \begin{pmatrix} x_{\min}(0) \\ x_{\min}(1) \\ \dots \\ x_{\min}(T-1) \end{pmatrix}; X_{\max} = \begin{pmatrix} x_{\max}(0) \\ x_{\max}(1) \\ \dots \\ x_{\max}(T-1) \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Вводится вектор E размерности T :

$$E = \begin{pmatrix} \sqrt{2}\sigma \left(\frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{\exp(-\varepsilon^2(1) \cdot b^2)}{1 - \operatorname{erf}(\varepsilon(1) \cdot b)} - \varepsilon(1) \cdot b \right) \\ \sqrt{2}\sigma \left(\frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{\exp(-\varepsilon^2(2) \cdot b^2)}{1 - \operatorname{erf}(\varepsilon(2) \cdot b)} - \varepsilon(2) \cdot b \right) \\ \dots \\ \sqrt{2}\sigma \left(\frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{\exp(-\varepsilon^2(T) \cdot b^2)}{1 - \operatorname{erf}(\varepsilon(T) \cdot b)} - \varepsilon(T) \cdot b \right) \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned}
\varepsilon(1) &= V^0(1) - \left(\sum_{i=1}^m \hat{a}_i(0) \cdot (x_i(0) + u_i(0)) \right); \\
\varepsilon(2) &= V^0(2) - \left(\sum_{i=1}^m \hat{a}_i(1) \cdot (x_i(0) + u_i(0) + u_i(1)) \right); \\
&\dots \\
\varepsilon(T) &= V^0(T) - \left(\sum_{i=1}^m \hat{a}_i(T-1) \cdot \left(x_i(0) + \sum_{k=0}^{T-1} u_i(k) \right) \right).
\end{aligned} \tag{5}$$

Введём вектор ограничений на эффективность:

$$E_f = \begin{pmatrix} eef(1) \\ eef(2) \\ \dots \\ eef(T) \end{pmatrix}. \tag{6}$$

Тогда динамическая задача примет вид

$$\begin{aligned}
J = & \left(V(0) - V^0(0) \right)^2 + \sum_{t=0}^{T-1} \left[\left(a^T x(0) - V^0(t+1) \right) + \sum_{i=1}^m a_i \sum_{k=0}^t U_{i+m(k-1)} \right]^2 + \\
& + U^T A U \rightarrow \min_U,
\end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
X_{\min} &\leq VX \leq X_{\max}, \\
EXP(E) &\geq E_f.
\end{aligned} \tag{8}$$

Результаты сравнения времени счета приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение времени счета алгоритмов

Номер отрасли	Пошаговый алгоритм	Алгоритм на основе квадратичного программирования	Выигрыш во времени расчёта
1	0,234	4,970	21
2	0,218	4,719	21
3	0,250	6,407	25

Окончание таблицы 1

Номер отрасли	Пошаговый алгоритм	Алгоритм на основе квадратичного программирования	Выигрыш во времени расчёта
4	0,203	7,484	36
5	0,203	4,828	23
6	0,250	4,843	19
Среднее значение	0, 226	4,83	24

Из таблицы 1 следует, что выигрыш во времени составляет 19–36 раз.

Таким образом, пошаговый алгоритм проще в реализации и требует меньше времени для вычислений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алимханова А.Н., Мицель А.А. Управление выручкой предприятия с учетом эффективности его деятельности на основе модели SFA // Прикладная математика и вопросы управления / Applied Mathematics and Control Sciences. 2023. № 1. С. 89–101.

2. Алимханова А.Н. Математическое и алгоритмическое обеспечение для оценки эффективности деятельности предприятий: дис. ... канд. техн. наук. М., 2023. – URL: <https://postgraduate.tusur.ru/urls/bjr1ad7q>

3. Домбровский В.В., Домбровский Д.В., Ляшенко Е.А. Управление с прогнозированием системами со случайными параметрами и мультипликативными шумами и применение к оптимизации инвестиционного портфеля // Автоматика и телемеханика. 2005. № 4. С. 84–97.

A.A. Mitcel, A.N. Alimkhanova

Comparison of algorithms for solving a dynamic problem for revenue management of small enterprises

The paper discusses an algorithm based on quadratic programming and a step-by-step algorithm for solving a dynamic problem using the example of revenue management of small enterprises. The results showed that a step-by-step algorithm for solving a dynamic problem can reduce computation time by 19-36 times compared to an algorithm based on reduction to a quadratic programming problem.

maa@asu.tusur.ru

- В. А. СЕЛЮНИНА, инж.-техн. лаб. печатного монтажа
АО «НПЦ «Полюс», Томск
- А. А. БУЛДАКОВ, нач. лаб. печатного монтажа
АО «НПЦ «Полюс», Томск
- А. В. ГРЕБЕНЮК, инж.-техн. лаб. печатного монтажа
АО «НПЦ «Полюс», Томск
- В. Д. НЕМЛИЕНКО, инж.-техн. лаб. печатного монтажа
АО «НПЦ «Полюс», Томск

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ДЕФОРМАЦИИ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Рассмотрены причины возникновения деформации в многослойных печатных платах и способы ее уменьшения посредством изменения конструкции и технологии изготовления печатных плат.

Ключевые слова: многослойные печатные платы, деформация, центр симметрии, внутренние напряжения, полимеризация, технологические режимы, оценка деформации.

При монтаже и сборке печатных узлов на автоматических и полуавтоматических линиях серьезные проблемы может вызвать распространенный дефект: отклонение от плоскостности платы в виде изгиба или скручивания. При установке коробленной печатной платы (ПП) с распаянными элементами в изделие ее с усилием выпрямляют в плоское состояние, вызывая напряжения в металлизированных отверстиях, корпусах радиоэлементов и паяных соединениях. Возникающие напряжения могут привести к нарушению внутренних межслойных соединений, а также к разрушению паяных соединений.

С 2022 г. в АО «НПЦ «Полюс» началось изготовление многослойных печатных плат (МПП) 3-го класса точности по ГОСТ Р 53429-2009 методом сквозной металлизации. Всего было изготовлено 154 МПП, из них 55,2% составили платы с превышением требований ГОСТ 55693-13 на изгиб и скручивание (для ПП с использованием технологии поверхностного монтажа). В ходе исследований возможных причин возникновения деформаций

МПП выявлены факторы, влияющие на плоскостность МПП, и разработаны способы уменьшения их влияния.

Основными причинами деформаций скручивания и изгиба в МПП являются ошибки в их конструкции, внутренние напряжения в исходных материалах, ошибки в подборе режимов прессования.

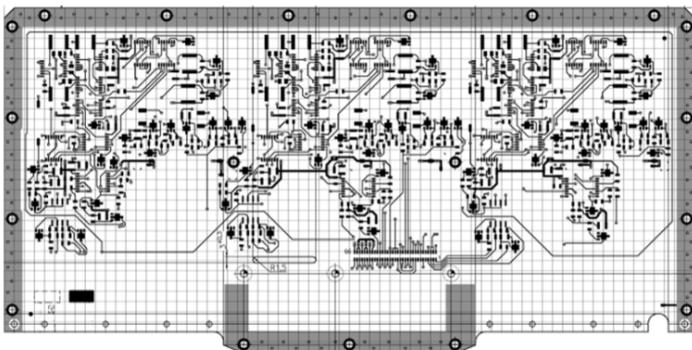
Понятие «конструкция МПП» включает в себя не только размещение элементов и разводку проводников, но и то, как она в целом сбалансирована по плотности проводников и полигонов относительно воображаемого центра симметрии. На начальных стадиях создания композиционных фольгированных диэлектриков на основе стеклотканей напряжения возникают в стеклянной пряже – в ее скрученных нитках, и фиксируются фольгой [1]. При вытравливании рисунка печатных проводников эти напряжения освобождаются, что сказывается на размерной стабильности слоев МПП. Но главное в том, что несимметричная плотность рисунка на двух сторонах платы вызывает коробление основания. Следует выравнять плотность меди на обеих сторонах слоя за счет использования сеточных полигонов (рисунок 1) [2].

В таблице 1 приведено 5 позиций МПП, изготовленных с большой разницей площадей проводящего рисунка.

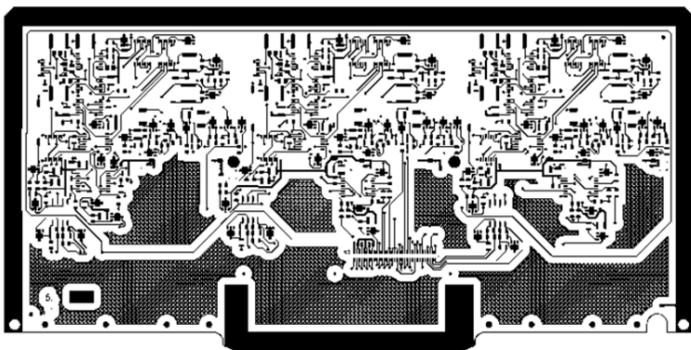
Заполнение пробельных мест на слоях МПП полигонами позволит сократить разницу площадей проводящего рисунка в среднем в 2 раза и уменьшить степень деформации.

Таблица 1 – Разница площадей проводящего рисунка на слоях платы

Позиция МПП	Площадь проводящего рисунка, см ²			
	Слой 1	Слой 2	Слой 3	Слой 4
1	140,75	333,275	350,5	400,0
2	90,5	323,3	331,3	340,2
3	95,0	410,0	384,0	474,0
4	142,5	375,5	346,3	453,0
5	105,6	336,4	373,3	375,7



a



б

Рисунок 1 – Топологии рисунка платы: *a* – до заполнения свободных областей (площадь меди 142 см²);
б – после заполнения (площадь меди 265 см²)

В процессе изготовления композиционных материалов производители не имеют возможности доводить связующее до полной полимеризации, так как для этого требуется гораздо больше времени нагрева, чем позволяет массовое производство. Производители фольгированных диэлектриков рассчитывают, что при изготовлении печатных плат диэлектрическое основание подвергается дополнительному нагреву, поэтому процесс полимеризации продолжится. Однако в последнем случае нагрев не является целенаправленным и однородным. Необходимо закончить процесс полимеризации связующего вещества и частичного

удаления летучих веществ (влаги и растворителя) из базового материала перед изготовлением плат [3].

В цехе ПП НПЦ «Полус» проводится термостабилизация заготовок для окончания процесса полимеризации связующего, однако этой технологической операции недостаточно для производства МПП, плоскостность которых крайне важна. Снижение внутренних напряжений в исходном материале необходимо проводить при температуре на 5 °С выше указанной в паспорте температуры стеклования. Длительность нахождения материала в печи (или прессе) составляет 3 ч с последующим постепенным охлаждением до температуры окружающего воздуха в течение 5–8 ч. Вакуум при термостабилизации желателен, но не является необходимым. Давление по оси Z можно обеспечить в прессе, выставив значение 2 кг/см², или в печи нагрузкой, обеспечивающей полное сжатие заготовок в пакете [3].

Технологические режимы обработки диэлектрика являются основополагающим этапом в производстве МПП. Именно в момент прессования формируются диэлектрические свойства прессуемого материала, т. е. будущие эксплуатационные свойства ПП [1]. Полное смачивание внутренних слоев и хорошее растекание смолы по рельефу проводников имеют большое значение для обеспечения устойчивости плат к тепловым воздействиям при последующей обработке с помощью нагрева. В момент, когда смола начинает отверждаться и перестает растекаться, понижение давления в прессе может способствовать уменьшению внутренних напряжений в многослойной печатной плате. Обычно давление уменьшают до 2,5–4 кг/см² [4].

На основании приведенной информации в НПЦ «Полус» подготавливается программа исследования способов уменьшения деформации МПП. Целью программы является устранение причин деформации МПП за счет изменения их конструкции и технологии изготовления. По результатам изменений планируется увеличить жесткость МПП, предотвратить внутренние напряжения в процессе изготовления благодаря усовершенствованию технологии и применению ранее неиспользуемых в производстве материалов с высокой температурой стеклования. Оценка внедренных изменений будет проведена в процессе изготовления опытной партии МПП. В случае положительных результатов станет возможным значительно сократить трудо-

затраты за счет применения автоматизированной технологии поверхностного монтажа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Медведев А., Мылов Г. Печатные платы. Причины коробления // Технологии в электронной промышленности. 2012. № 2. С. 18–20.
2. Новокрещенов С. Коробление многослойных печатных плат // Электронные компоненты. 2004. № 2. С. 1–5.
3. Медведев А., Мажаров В. Многослойные печатные платы. Способы улучшения размерной стабильности материалов слоев // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. 2011. № 5. С. 30–34.
4. Печатные платы: справ. В 2 кн. / под ред. К.Ф. Кумбза. М.: Техносфера, 2011.

V.A. Selunina, A.A. Buldakov, A.V. Grebenuk, V.D. Nemlienko
The cause and solution of Multilayer Printed Circuit Boards deformation

In this article various causes of deformation of Multilayer Printed Circuit Board are analyzed and ways to reduce it are researched.

Keywords: multilayer printed circuit board, deformation, center of symmetry, internal tension, polymerization, technological condition, assessment of deformation.

Е. В. ЦЫБУСОВА, магистрант ТГАСУ, Томск
Н. П. ГОРЛЕНКО, чл.-кор. САН ВШ, д-р техн. наук,
проф. ТГАСУ, Томск

АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ СЕРЫ В ПРОДУКТАХ СГОРАНИЯ ФАКЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Аналитический контроль продуктов сгорания газообразных компонентов и нефтяных остатков в пламени факельной установки является актуальной задачей. С использованием метода эмиссионной спектроскопии показана возможность дистанционного анализа компонентов некондиционных газовых и газоконденсатных смесей. Представлены оптические спектры испускания чистого пламени горелки; углеводородных радикалов и молекул в нефтесодержащей скважинной продукции; элементарной серы. Показана возможность дистанционного аналитического контроля серосодержащих и других загрязняющих среду компонентов.

При добыче нефти образуется скважинная продукция, включающая газообразные компоненты и нефтяные остатки. Смесь предварительно подвергается сепарации и разделяется на составляющие. Часть газа не может быть использована в связи с техническими показателями, одним из которых является несоответствие требованиям стандарта [1]. Горючие компоненты некондиционных газовых и газоконденсатных смесей утилизируют путем сжигания в открытом пламени факельных установок [2]. Следует отметить, что состав газа меняется в зависимости от региона расположения месторождения и содержит широкий класс органических соединений, продукты сгорания которых могут существенно загрязнить окружающую среду. Поэтому экспрессный аналитический контроль качественного и количественного содержания окисленных компонентов газа является актуальной задачей в решении экологических проблем.

В настоящее время качественный и количественный анализ продуктов сгорания в пламени факельных установок проводится

с помощью различных типов анализаторов. В существующих методиках требуется достаточно длительное время для взятия газообразной пробы, доставки ее в аналитическую лабораторию и анализа. Это не позволяет оперативно проводить коррекцию параметров пламени факельной горелки для устранения и предотвращения выброса избыточного количества вредных веществ.

Цель настоящей работы заключается в проведении дистанционного качественного анализа продуктов сгорания отходов скважинной продукции непосредственно в пламени факельной установки.

Методика эксперимента заключалась в стабилизации пламени пропановоздушной смеси горелки, достижении максимальной температуры, соблюдении полной темноты для минимизации погрешностей при работе спектрометра. В пламя горелки вносили порошок элементарной серы. Образование оксидов серы фиксировали с помощью спектрометра.

Эксперимент проводили в два этапа. На первом этапе осуществляли спектрометрию чистого пламени, на втором – пламени с содержанием серы. Оба этапа эксперимента проводили в течение одинакового времени. В дальнейшем полученные данные обрабатывали и сравнивали между собой.

Известно, что пламя является источником получения спектров индивидуальных атомов, представляющих собой низкотемпературную плазму, в которой протекают химические реакции, поддерживающие температурный баланс. Характер пламени при спокойном истечении газов является ламинарным. При проекции контура пламени на экран отчетливо выделяются три зоны горения (рисунок 1).

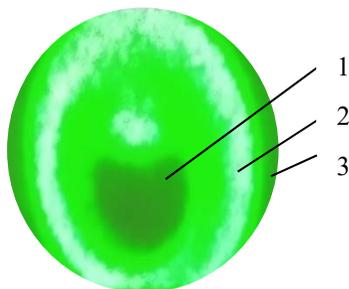


Рисунок 1 – Проекция пламени горелки на экран:
1 – внутренняя; 2 – промежуточная; 3 – внешняя

В зоне 1 протекают основные химические реакции. В зоне 2 присутствует избыток горючего, вследствие чего в ней преобладают отрицательно заряженные радикалы и молекулы с восстановительным действием, такие, например, как C_2 , CN , CO , H_2 , NH , пики которых фиксируются в области определенных длин волн (рисунок 2). Как следует из рисунка 1, в пламени горелки имеются радикалы C_2 , CN и примеси железа.

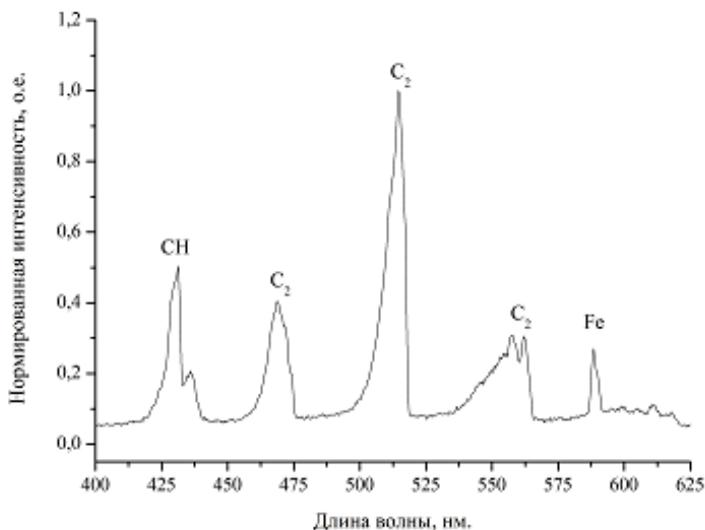


Рисунок 2 – Оптический спектр испускания углеводородных радикалов и молекул в нефтесодержащей скважинной продукции

В зоне 3 за счет обогащения кислородом из окружающей среды периферии пламени осуществляются реакции полного окисления с образованием радикалов окислительного действия. Фиксацию спектра излучения проводили перпендикулярно направлению оси факела.

На рисунке 3 приведен пример спектра излучения пламени газовой горелки.

На рисунке 4 показан спектр излучения пламени при введении элементарной серы.

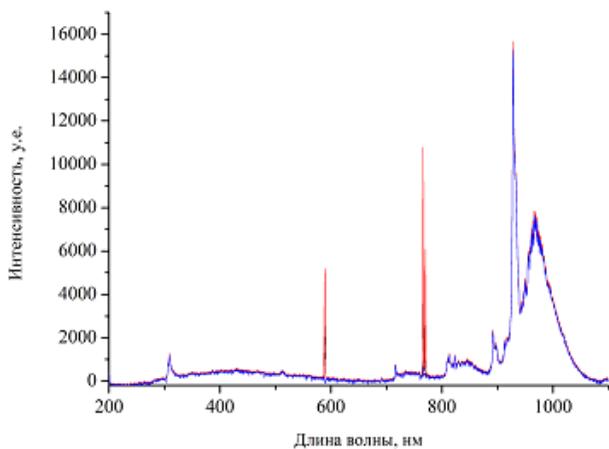


Рисунок 3 – Оптический спектр излучения чистого пламени горелки

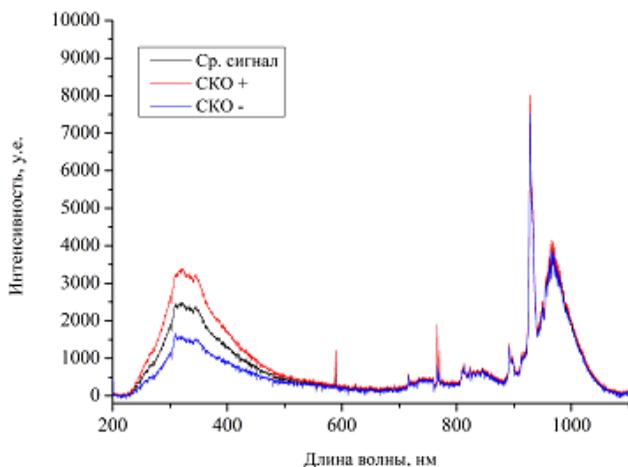


Рисунок 4 – Оптический спектр излучения пламени при введении элементарной серы

При сравнении рисунков 3 и 4 видно, что основные отличия наблюдаются в области 250–350 нм. Эта область относится к

образованию продуктов сгорания серы. Высота пика характеризует количественное содержание серных оксидов.

Таким образом, показана возможность дистанционного аналитического контроля серосодержащих компонентов, образующихся в пламени факельной установки. Совершенствование предложенной методики и автоматизация процесса позволят в режиме реального времени контролировать токсичные выбросы продуктов сгорания экологически опасных компонентов газо- и нефтесодержащих отходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. СТО Газпром 089-2010. Газ горючий природный, поставляемый и транспортируемый по магистральным газопроводам. Технические условия. М., 2011.

2. Цыбусова Е.В., Горленко Н.П. Оценка выбросов загрязняющих веществ от горизонтального факельного устройства // Избр. докл. 69-й Университетской науч.-техн. конф. студентов и молодых ученых. Томск : Изд-во Том. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2023. С. 586–589.

E.V. Tsybusova, N.P. Gorlenko

Analytical control of the sulfur content in the combustion products of the flare plant

Analytical control of combustion products of gaseous components and oil residues in the flame of a flare installation is an urgent task. Using the emission spectroscopy method, the paper shows the possibility of remote analysis of components of nonconditional gas and gas-condensate mixtures. Optical spectra of the emission of a pure burner flame, hydrocarbon radicals and molecules in oil-containing borehole products, and elemental sulfur were taken in the work. The possibility of remote analytical control of sulfur-containing and other polluting components is shown.

E-mail: etsybusova@integra.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Пленарные доклады

<i>Викторенко Е.В., Мицель А.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ	3
<i>Игна О.Н., Червонный М.А.</i> СОВРЕМЕННАЯ ПОДГОТОВКА УЧИТЕЛЯ: АЛГОРИТМИЗАЦИЯ VS РАЗВИТИЕ ИНИЦИАТИВНОСТИ?	6
<i>Кориков А.М., Гран В.Т.</i> СТАБИЛИЗАЦИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ	10

Секционные доклады

<i>Афанасьев Д.А., Горленко Н.П., Саркисов Ю.С.</i> ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ ОЛЯЦИИ-ОКСОЛЯЦИИ С УЧАСТИЕМ ИОНОВ КРЕМНИЯ И ЖЕЛЕЗА	15
<i>Афанасьев Д.А., Горленко Н.П., Саркисов Ю.С.</i> ПРОЦЕССЫ ОЛЯЦИИ-ОКСОЛЯЦИИ АЛЮМИНАТОВ В ЦЕМЕНТНОМ КАМНЕ	19
<i>БАКАЙТИС В.И.</i> УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПЛОДООВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	24
<i>Гребенюк А.В.</i> УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОТЫ ТРЕВОЖНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ ПРИ ПОМОЩИ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ	28
<i>ДАНГ Т.Ф.</i> ВОЗМОЖНОСТЬ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ В УСЛОВИЯХ ВОЗРАСТАЮЩЕЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ	30
<i>Картопольцев В.М., Картопольцев А.В., Черепанов Д.Н.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УЧЕБНЫХ ПРОГРАММ УГЛУБЛЕННОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА РАСШИРЕНИЕМ УРОВНЕЙ КОМПЕТЕНЦИЙ.....	35

<i>Картопольцев В.М., Картопольцев А.В.</i> РАСШИРЕНИЕ ПРОГРАММЫ КОНЦЕПЦИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА	74
<i>Катаев М.Ю., Bulyshev A.E.</i> ВЫДЕЛЕНИЕ ЛЕСНОГО МАССИВА НА ИЗОБРАЖЕНИИ, ПОЛУЧЕННОМ ЦИФРОВОЙ КАМЕРОЙ БПЛА, С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	82
<i>Катаев М.Ю., Bulysheva L.A.</i> НЕЙРОСЕТЕВАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ГОЛОВЫ ЧЕЛОВЕКА ОКОЛО МОНИТОРА	92
<i>Кисленко Н.П.</i> ПРИМЕНЕНИЕ КЛИЕНТСКИХ WEB-ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	102
<i>Мицель А.А., Алимханова А.Н.</i> СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ РЕШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВЫРУЧКОЙ МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	105
<i>Селюнина В.А., Булдаков А.А., Гребенюк А.В., Немлиенко В.Д.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ДЕФОРМАЦИИ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ	110
<i>Цыбусова Е.В., Горленко Н.П.</i> АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ СЕРЫ В ПРОДУКТАХ СГОРАНИЯ ФАКЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ	115

Научное издание
ПРИРОДНЫЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ СИБИРИ
(СИБРЕСУРС-29-2023)

29-я международная научно-практическая конференция
15 ноября 2023 г., г. Томск, Россия

ДОКЛАДЫ

Подписано в печать 24.11.23. Формат 60x84/16.
Усл. печ. л. 7,21. Тираж 100 экз. Заказ № 282.
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники»
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40.
Тел. (3822) 533018.