



#12(64), 2020 часть 1  
Восточно Европейский научный журнал  
(Москва, Россия)  
Журнал зарегистрирован и издается в России  
В журнале публикуются статьи по всем  
научным направлениям.  
Журнал издается на русском, английском,  
польском и немецком языках.

Статьи принимаются до 30 числа каждого  
месяца.

Периодичность: 12 номеров в год.

Формат - A4, цветная печать

Все статьи рецензируются

Каждый автор получает одну бесплатную  
печатную копию журнала

Бесплатный доступ к электронной версии  
журнала.

**Редакционная коллегия**

**Redaktor naczelny - Adam Barczuk**

**Mikołaj Wiśniewski**

**Szymon Andrzejewski**

**Dominik Makowski**

**Paweł Lewandowski**

**Rada naukowa**

**Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)**

**Michał Adamczyk (Instytut Stosunków  
Międzynarodowych)**

**Peter Cohan (Princeton University)**

**Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska  
im. Tadeusza Kościuszki)**

**Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)**

**Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)**

**Kolub Frennen (University of Tübingen)**

**Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków  
Międzynarodowych)**

**Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)**

**Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet  
Warszawski)**

#12(64), 2020 part 1  
Eastern European Scientific Journal  
(Moscow, Russia)  
The journal is registered and published in Russia  
The journal publishes articles on all scientific areas.  
The journal is published in Russian, English,  
Polish and German.

Articles are accepted till the 30th day of each  
month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the  
journal

Free access to the electronic version of journal

**Editorial**

**Editor in chief - Adam Barczuk**

**Mikołaj Wiśniewski**

**Szymon Andrzejewski**

**Dominik Makowski**

**Paweł Lewandowski**

**The scientific council**

**Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)**

**Michał Adamczyk (Instytut Stosunków  
Międzynarodowych)**

**Peter Cohan (Princeton University)**

**Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska  
im. Tadeusza Kościuszki)**

**Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)**

**Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)**

**Kolub Frennen (University of Tübingen)**

**Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków  
Międzynarodowych)**

**Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)**

**Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet  
Warszawski)**

**Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska  
im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Peter Clarkwood(University College London)**  
**Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Rogowski (Uniwersytet  
Jagielloński)**  
**Kehan Schreiner(Hebrew University)**  
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Anthony Maverick(Bar-Ilan University)**  
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)**  
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)**  
**Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)**  
**Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków  
Międzynarodowych)**  
**Redaktor naczelny - Adam Barczuk**

1000 экземпляров.  
Отпечатано в ООО «Логика+»  
125040, г. Москва, Россия  
проспект Ленинградский, дом 1,  
помещение 8Н, КОМ. 1  
«Восточно Европейский Научный Журнал»  
Электронная почта: [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com),  
<https://eesa-journal.com/>

**Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska  
im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Peter Clarkwood(University College London)**  
**Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Rogowski (Uniwersytet  
Jagielloński)**  
**Kehan Schreiner(Hebrew University)**  
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Anthony Maverick(Bar-Ilan University)**  
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)**  
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)**  
**Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)**  
**Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków  
Międzynarodowych)**  
**Editor in chief - Adam Barczuk**

1000 copies.  
Printed by Logika + LLC  
125040, Moscow, Russia  
Leningradsky prospect, building 1,  
8N, flat. 1  
"East European Scientific Journal"  
Email: [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com),  
<https://eesa-journal.com/>

# СОДЕРЖАНИЕ

## Технические науки

<b>Смирнов В.В., Евтушенко А.В., Рожков Н.А.</b> СЕТИ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ. НОВЫЕ ЭПОХА ДЛЯ ПЕРЕДОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПАНИЙ.....	4
<b>Ботвіновська С.І., Ковальов С.М., Золотова А.В.</b> ФОРМУВАННЯ ДИСКРЕТНИХ КАРКАСІВ КУПОЛЬНИХ СПОРУД.....	13
<b>Левицкий А.С., Зайцев Е.А., Панчик М.В.</b> МЕТОД КОНТРОЛЯ СЕРДЕЧНИКА СТАТОРА МОЩНОГО ТУРБОГЕНЕРАТОРА .....	18
<b>Кара-Сал А.О., Хунажик А.К.</b> ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ - ОТХОДОВ АСБЕСТОВОГО ПРОИЗВОДСТА .....	25
<b>Клюев О.В., Хмельницкий Е.Д.</b> АСИНХРОННЫЙ БЕЗДАТЧИКОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....	27
<b>Мамагов Ж.Ы., Кожобаев Ж.Ш., Пазылов Ш.Т., Сыдыков Ы.К.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ МАЛОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ИЗ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	36
<b>Наумов И.В., Карамов Д.Н.</b> ОТКАЗЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ОБЛКОММУНЭНЕРГО ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ В 2018 ГОДУ .....	45
<b>Поперешняк С.В.</b> АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ПСЕВДОВИПАДКОВИХ БІТОВИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ .....	52

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

**Смирнов Валерий Валерьевич**

*Научный руководитель*

*Финансовый университет при Правительстве РФ*

**Евтушенко Артем Владимирович**

*Финансовый университет при Правительстве РФ*

**Рожков Никита Алексеевич**

*Финансовый Университет при Правительстве РФ*

### СЕТИ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ. НОВЫЕ ЭПОХА ДЛЯ ПЕРЕДОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПАНИЙ

**Smirnov Valery Valerievich**

*Supervisor*

*Financial University under the Government of the Russian Federation*

**Evtushenko Artem Vadimovich**

*Financial University under the Government of the Russian Federation*

**Rozhkov Nikita Alekseevich**

*Financial University under the Government of the Russian Federation*

### FIFTH GENERATION NETWORKS. A NEW ERA FOR ADVANCED ELECTRONICS AND INDUSTRIAL COMPANIES

**Аннотация.** Новое поколение беспроводной связи, 5G, все чаще становится предметом обсуждений. С каждым днем компании представляют все больше потенциальных вариантов использования технологии, однако лишь некоторые из них выглядят перспективно.

В данной работе мы исследовали множество потенциальных вариантов использования 5G, уделяя особое внимание рынку Интернета вещей (IoT) в сегменте Business to business (B2B), для того чтобы выявить наиболее перспективные из них. В рамках нашего анализа мы также рассмотрели влияние пандемии COVID-19 на текущее состояние рынка мобильной электроники и сервисов, в том числе выявили тренды развития рынка, предложили варианты использования, в которых 5G технология могла бы значительно улучшить уже существующие технологии.

**Abstract.** The next generation of wireless communications, 5G, is increasingly being discussed. Every day, companies present more and more potential use cases for the technology, but only a few of them look promising.

In this paper, we explored many potential 5G use cases, with a focus on the Internet of Things (IoT) business to business (B2B) market, in order to identify the most promising ones. As part of our analysis, we also examined the impact of the COVID-19 pandemic on the current state of the mobile electronics and services market, including identifying market development trends, suggesting use cases in which 5G technology could significantly improve existing technologies.

Вступление

Следующее поколение беспроводных подключений 5G сейчас является технологией, на которую возлагает огромные надежды вся мировая IT индустрия. Благодаря 5G стало возможным поддерживать огромное количество подключений одновременно, при этом с улучшенной скоростью, минимальной задержкой и повышенной надежностью, а также с большей энергоэффективностью в случае с мобильными телефонами. Спектр аукционы почти завершены (по средством таких аукционов правительства продают права для передачи сигналов по конкретным полосам электромагнитного спектра), первые смартфоны с поддержкой 5G появились в продаже и началось развертывание сетей нового поколения в отдельных странах. В настоящее время большинство инноваций 5G связано с рынком "business to consumer" (B2C), в первую очередь потому, что сетевые операторы пытаются

оптимизировать операционные расходы, а производители мобильных телефонов стремятся дифференцировать свои продукты. Однако в последнее время в сфере "business to business" (B2B) также стало открываться много новых возможностей.

Как и с переходом от 3G к 4G, передовые производители электроники и промышленные игроки все еще не уверены в преимуществах новой технологии. В чем заключается ценность данной разработки и в каких продуктах технология проявит себя лучше всего? В каких случаях повышение производительности 5G принесет наибольшую пользу и спрос? Какие приложения получают наибольшую выгоду от 5G? Эти вопросы являются критически важными для компаний, которые планируют превратить новую технологию в новую статью дохода. Лишь сформулировав четкие ответы на них и тщательно оценив перспективы нового поколения беспроводных

сетей, игроки смогут принять решение о том стоит ли инвестировать капитал в новый рынок или же риски слишком превосходят потенциальную выгоду.

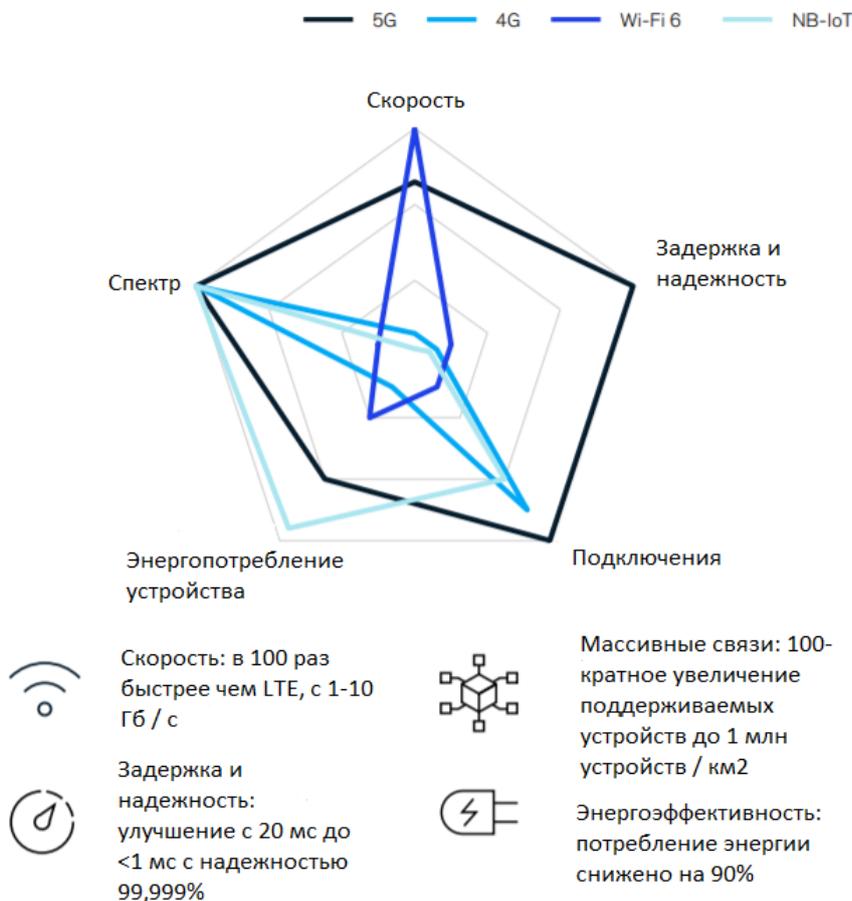
Чтобы привнести большую ясность в отношении перспектив рассматриваемой технологии, в нашем исследовании мы проанализировали потенциальный рынок 5G до 2030 года, изучив множество потенциальных вариантов использования технологии в B2B и B2C сегментах. Мы сконцентрировались на сценариях использования 5G, связанных с IoT (“Internet of things” – “Интернет вещей”) в деловой сфере, а не на более предсказуемом рынке потребительских мобильных телефонов, поскольку компании все еще не уверены в данном сегменте как в области для получения максимальной выгоды. Тем не менее мы все же уделили внимание анализу текущего состояния рынка мобильной электроники в контексте влияния на него пандемии COVID-19 и рассмотрели аспекты, в которых 5G технология могла бы положительно повлиять на вышеупомянутый рынок в условиях, когда рост уровня дистанционного взаимодействия пользователей и потребления контента стал практически нормой.

Данное исследование позволило нам сделать прогнозы в отношении вариантов использования технологии, потенциального спроса на 5G модули и компоненты для них, а также на другие важные

разработки. Примечательно, что мы обнаружили множество направлений роста в сфере B2B. Производители передовой электроники, которые предоставляют 5G модули и компоненты, могли бы использовать эту информацию для оптимизации своих портфелей продуктов. Точно так же выводы могли бы помочь промышленным игрокам определить, как они могут улучшить свою операционную деятельность, продукты и бизнес-модели с помощью технологий сетей нового поколения.

**Обзор разработки и ее ценности для технологических рынков**

Компании заинтересованы сетями пятого поколения, поскольку данная технология значительно улучшает скорость, снижает время отклика, повышает надежность и энергоэффективность, поддерживая при этом большее количество подключенных устройств (Иллюстрация 1). Хотя пока еще разработка не может обеспечить оптимальных постоянных результатов для всех этих факторов одновременно из-за текущих технологических и инфраструктурных ограничений, в конечном итоге 5G станет предпочтительной технологией для критически важных коммуникаций, требующих исключительной надежности и качества обслуживания, в том числе в промышленных условиях.



Согласно проекту партнерства третьего поколения (3GPP), группе организаций, ответственных за разработку стандартов электросвязи, ценность технологии 5G в первую очередь обусловлена улучшением следующих трех профилей:

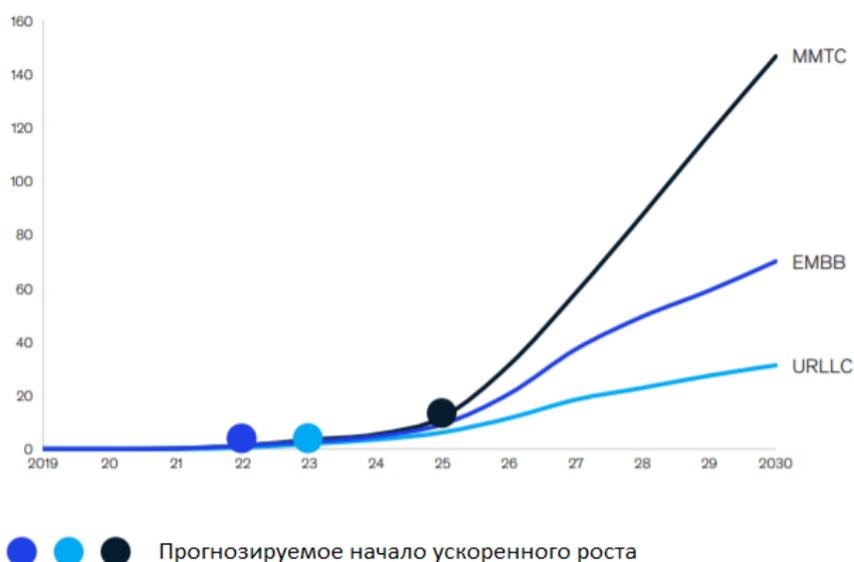
- Расширенная мобильная широкополосная связь (Enhanced mobile broadband - EMBB), которая обеспечивает более высокую скорость передачи данных в широкой зоне покрытия для улучшения различных функций, включая потоковое видео в формате Ultra HD

- Сверхнадежная связь с малой задержкой (Ultra-reliable low-latency communication - URLLC), повышающая скорость и качество обслуживания критически важных функций, таких как управление роботами и дронами.

- Массивная машинная связь (Massive machine-type communication - MMTС), которая включает автоматическое генерирование, передачу и обработку данных между многочисленными вычислительными машинами с минимальным вмешательством человека или без него (например, для отслеживания товаров в цепочке поставок).

Внедрение 5G, вероятно, будет происходить волнообразно на основных рынках: сначала массовое распространение получит EMBB, вскоре после этого наберет обороты URLLC, а за ним последует MMTС (Иллюстрация 2). Принятие каждого профиля будет в значительной степени зависеть от доступности соответствующих наборов микросхем 5G, скорости и покрытия развертываний сетей 5G, а также развития нормативных требований.

Прогноз продаж устройств 5G IoT, млн.



Связь EMBB начнет развиваться быстрее всего, поскольку производители наборов микросхем (чипсетов) уже создают 5G чипы, которые позволяют использовать эту технологию в смартфонах. Данные компании также разрабатывают аналогичные продукты для

использования в B2B сегменте. Что касается инфраструктуры, операторы мобильной связи вкладывают значительные средства в развертывание сетей 5G, необходимых для роста EMBB, в настоящее время уделяя особое внимание крупным городам. (Иллюстрация 3)



Коммерческая доступность	17851
Ограниченная доступность	9
Предварительный запуск	226

Чтобы URLLC набирал обороты, сети 5G должны развиваться технологически одновременно с соответствующими чипсетам. Во-первых, производители наборов микросхем должны не ограничиваться массовым рынком EMBB и создавать специализированные продукты, оптимизированные для специфических целей.

На разработку и тестирование этих наборов микросхем, вероятно, потребуется еще около трех-четырёх лет, поэтому маловероятно, что устройства с поддержкой URLLC будут широко использоваться до 2023 года.

Даже по мере роста сетей 5G, сети предыдущего поколения (4G) будут продолжать существовать и обеспечивать широкое покрытие по более низкой цене. Вследствие этого приложения MMTC, требующие малоомощного глобального покрытия (low-power wide-area - LPWA), будут по-прежнему полагаться на технологию 4G в течение следующих нескольких лет. Варианты использования сетей 5G с поддержкой MMTC не будут набирать обороты до тех пор, пока покрытие 5G не станет доступным за пределами крупных городов - развитие, которое ожидается не ранее 2025 года.

Ожидается, что текущие модули 4G LPWA обеспечат совместимость с 5G за счет обновления программного обеспечения, поскольку стандарты 5G включают спецификации 4G. Но компании также разрабатывают новые модули 5G LPWA с дополнительными функциями, которые отличают их от модулей, представляющих собой улучшенный 4G модуль, среди которых более низкое энергопотребление на уровне устройства и

повышенную или более гибкую скорость передачи данных. В этой статье мы сосредоточимся на недавно разработанных модулях LPWA 5G, а не на модернизированных модулях 4G.

По нашему мнению, развитие 5G принесет пользу многим компаниям - как пользователям, так и поставщикам этой технологии или связанной инфраструктуры. Например, операторы и сетевые провайдеры смогут повысить производительность, емкость сети и качество обслуживания клиентов.

В сфере машиностроения и промышленной автоматизации данная технология позволит выпускать новые автономные и дистанционно управляемые продукты, которые помогут оптимизировать работу производства, такие как автоматически управляемые средства передвижения/погрузки.

Мы считаем, что 5G будет стимулировать новую волну промышленной автоматизации, предоставляя множество инноваций, в частности в сфере машинного обучения. Некоторые компании уже сегодня рассматривают возможность создания частных сетей 5G.

Что касается рядовых пользователей смартфонов и компьютеров, помимо улучшенной потоковой передачи контента и ускоренной работы приложений требующих высокой пропускной способности, потребители не заметят большой разницы в производительности. Однако в промышленном секторе 5G представляет собой огромный скачок вперед. Хотя сети 5G изначально будут построены на инфраструктуре 4G, компании в конечном итоге создадут новую и уплотненную сетевую инфраструктуру с более высокой

вычислительной мощностью. Что касается производительности, 5G обеспечит гораздо большую степень улучшений, чем предыдущие достижения в области беспроводных технологий, особенно с точки зрения скорости, минимизации задержки и энергоэффективности. Благодаря этим функциям 5G повысит производительность для существующих вариантов использования и откроет совершенно новые.

### Перспективы использования технологии в IoT в секторе B2B в контексте четвертой промышленной революции (Индустрии 4.0)

Каждая новая технология приносит очевидные преимущества.

Что касается сегмента B2B, наш анализ в первую очередь выявил варианты использования 5G в следующих отраслевых вертикалях (Иллюстрация 4):

Отраслевая вертикаль	Варианты использования
Промышленная автоматизация	Автономные системы на заводах, роботы, контроль производства
Здравоохранение	Мобильный медицинский мониторинг, удаленная хирургия
Интертейнмент	Виртуальная реальность, игровой стримминг
Транспортные перевозки	Помощь водителю, безопасность, автономное вождение, управление дорожным движением
Производство	Удаленное управление, применение технологий дополненной реальности
Энергетический сектор	Умная энергия, умные сети электроснабжения
Умные города	HD-камеры с технологиями распознавания, организация трафика
Безопасность	Охранные системы, управление зданием с помощью датчиков

На фабриках и заводах текущие варианты подключения имеют несколько основных недостатков, которые затрудняют реализацию сценариев использования новейших технологий. Сети Wi-Fi часто сталкиваются с помехами, а фиксированные соединения громоздки и дороги в крупных производственных средах. С внедрением 5G производственные компании получают надежную альтернативу, которая обеспечивает связь, необходимую для многих технологий индустрии 4.0, таких как беспроводное управление, которое особенно важно для мобильных инструментов, машин и роботов.

Рассматривая отдельные варианты использования технологии в условиях индустрии 4.0, мы пришли к выводу, что такая сфера как производство и его автоматизация имеет все шансы стать лидером в использовании технологий 5G в сегменте B2B в текущем десятилетии.

Основываясь на нашем исследовании, некоторые из наиболее явных вариантов использования технологии в промышленном производстве связаны со следующими инновациями.

#### Автоматизированные управляемые роботы.

На заводах роботы смогут полагаться на датчики для помощи в навигации. Обычно они работают по запрограммированному маршруту или имеют только базовые возможности для оптимизации маршрутов. Следующее поколение роботов будет использовать расширенную аналитику и машинное обучение - способность компьютерных систем анализировать информацию и «учиться» на собственном опыте - чтобы впоследствии принимать решения. Эти возможности позволят роботам просматривать данные и принимать сложные навигационные

решения - например, избегать определенных зон. Кроме того, 5G предоставит возможность роботам запускать программное обеспечение и обрабатывать данные в облаке, что позволит экономить на вычислительных мощностях, поскольку их аренда уже сегодня обходится дешевле чем традиционная бортовая обработка.

#### Контроль процесса в реальном времени.

Компании могут получить значительную прибыль, используя приложения расширенной аналитики для оптимизации и корректировки параметров процессов в режиме реального времени. Низкая задержка сетей пятого поколения предоставляет такую возможность.

#### Дополненная реальность (AR)

Работники могут использовать очки AR, отображающие инструкции в их поле зрения, чтобы ускорить рабочий процесс при выполнении различных задач. В данном случае 5G является активным фактором, поскольку очки AR должны обрабатывать данные в режиме реального времени, чтобы обеспечить бесперебойную и оперативную работу. Низкая задержка и высокая скорость обмена данными позволят обрабатывать данные AR в облаке, что, как мы уже отметили ранее, снижает затраты и повышает эффективность.

#### Стратегия внедрения 5G для технологических компаний.

Как и беспроводные технологии прошлых поколений, 5G будет способствовать инновациям, создавать новые сценарии использования и постепенно внедряться повсеместно, пока не станет стандартом. Многие крупнейшие IT компании и ведущие производители электроники уже сегодня готовы включить использование сетей пятого поколения в свою деятельность и предложения продуктов, даже если они не испытывают в этом

особой потребности на текущий момент времени. Какова же наилучшая начальная стратегия по внедрению?

По нашему мнению, одним из самых рациональных и менее рискованных вариантов для компаний может стать проецирование потенциальных инноваций в сегменте B2C на сегмент B2B с последующим запуском продуктов.

Лидеры рынка электроники, скорее всего, извлекут выгоду в краткосрочной перспективе, если будут пытаться внедрить технологии в B2B сегмент, аналогичные тем, которые сейчас набирают силу в B2C. Например, они могут создать сценарии использования, включающие такие разработки как умные очки и консоли мобильной потоковой передачи с высокой пропускной способностью. Подходящие чипы 5G уже доступны для B2C сектора и могут служить основой для новых возможностей в B2B, таких как передача HD-видео для камер видеонаблюдения и использование технологий дополненной и виртуальной реальности. Чтобы опробовать подобные варианты использования и установить новые каналы продаж, передовые компании-производители электроники должны определить потенциальных партнеров, таких как дистрибьюторы, компании-разработчики программного обеспечения, а также игроки в области машиностроения и промышленной автоматизации.

Что касается среднесрочной и долгосрочной перспективы, ведущие технокомпании могли бы сосредоточиться на создании микросхем (чипсетов) и модулей, адаптированных к конкретным приложениям, например, сценариям использования, требующим URLLC.

Что касается B2C сегмента IT компании-производители уже внедряют в свои гаджеты модули с поддержкой сетей 5G, с 2021 года такая практика станет уже стандартом. Поскольку одной из главных статей доходов таких корпораций помимо прямых продаж устройств также является так называемая “экономика подписок”, данные игроки могут включить в свою стратегию оптимизацию своих сервисов под новые стандарты беспроводных сетей, а также в качестве части инвестиционной политики постоянно анализировать рынок стартапов связанных с 5G в

поисках перспективных разработок, в свою очередь направляя прямые инвестиции в R&D в целях комплексного изучения нового рынка который уже сейчас начинает формироваться на наших глазах.

### **Влияние пандемии COVID-19 на рынок мобильной электроники и перспективы 5G в данном контексте**

Поскольку пандемия COVID-19 охватила весь мир, оказав огромное давление на системы национального здравоохранения и мировую экономику в целом, потребности в удаленном взаимодействии резко изменились. Реализация ответных мер на пандемию существенно повлияла на тенденции подключения, варианты использования мобильных технологий и перспективы развертывания и внедрения технологии 5G.

В 2020 году повсеместное подключение с высокой пропускной способностью стало более важным, чем когда-либо. Глобальный анализ возможностей подключения во время пандемии COVID-19 показал, что эпидемиологическая ситуация повлияла на тенденции подключения в пяти ключевых областях:

- Массовый переход на удаленную работу,
- Замена очной формы обучения дистанционной,
- Переход социальной активности в онлайн формат,
- Изменения в розничной торговле в ответ на вынужденные изменения поведения потребителей,
- Попытки урегулирования кризиса в сфере общественного здравоохранения.

Как прямой результат этих быстро меняющихся тенденций в области подключения, многие существующие варианты использования мобильных технологий усовершенствовались а также появились новые. Внедрение 5G может еще больше расширить возможности использования мобильных технологий за счет всех преимуществ данной технологии, многократно упомянутых в данной работе. Мы выделили ключевые изменения в определенных сферах жизни, произошедшие в результате предпринимаемых государствами мер по противодействию распространению вируса, и проанализировали варианты применения технологии в контексте данных изменений.

Сфера	Занятость	Образование	Социальные сети и гейминг	Ритейл	Здравоохранение
Ключевые изменения ввиду пандемии	Удаленная работа	Переход на дистанционное образование	Огромный рост количества активных пользователей социальных сетей и стриминговых платформ	Ориентация бизнеса на онлайн-продажи, рост потребности в сервисах по доставке	Необходимость обработки большого количества обращений в медучреждения, контроль заболевших
Варианты использования технологий	Видеоконференции, удаленный доступ к активам	Проведение онлайн-занятий, предоставление учебных материалов	AR/VR, облачные технологии, потоковое вещание	Умные склады, роботы	ИИ для сферы здравоохранения, телемедицина, удаленное управление медучреждениями

Спрос на предложенные нами варианты использования стал как никогда высоким, а внедрение технологии 5G, делает возможным снижение задержки, что критически важно для облачных и потоковых технологий, и предоставляет практически бесперебойное высокоскоростное подключение, столь важное в период, когда большинство активностей пользователей были перенесены в онлайн-пространство.

Ожидается, что развертывание сетей пятого поколения будет происходить поэтапно. Однако последствия пандемии меняют относительную важность этих этапов. Хотя влияние на темпы внедрения 5G различается в зависимости от страны, в зависимости от серьезности вспышки и экономических последствий, которые ощущает национальная экономика, необходимость в точечном внедрении технологии для фиксированного беспроводного доступа и предприятий растет во многих регионах. Полное покрытие, позволяющее создавать новые потребительские услуги, безусловно не является приоритетом на сегодняшний день.

Доступ к работе, образованию и медицинскому обслуживанию становится все более зависимым от высокоскоростной широкополосной связи, о чем свидетельствуют текущие тенденции в соответствующих сферах. Тенденция к удаленной работе подчеркивается решениями многих крупных компаний о внедрении постоянной политики удаленной работы. В результате преодоление «цифрового разрыва» для стран или регионов, не имеющих высокоскоростного широкополосного доступа в Интернет, становится все более важной социальной проблемой.

COVID-19 увеличивает спрос на 5G в одних отраслях и снижает в других. Спрос на 5G в розничной торговле, в местах проведения общественных мероприятий, а также в аэропортах

значительно упал в результате падения трафика, на который обычно полагаются эти отрасли. Данная тенденция, вероятно, сохранится до тех пор, пока вакцины от COVID-19 не станут широко доступны.

Несмотря на подобное замедление, спрос на 5G в нескольких отраслях растет. В таких сферах как онлайн-ритейл, производство и здравоохранение внедрение 5G может потребоваться быстрее, чем предполагалось ранее. В то время как расширенные возможности, особенно частных сетей 5G для производства и здравоохранения, потребуются для реализации новых вариантов использования, ныне широко применяемые технологии Wi-Fi и LTE также будут удовлетворять часть растущего спроса.

Для онлайн-торговли и розничной торговли необходим персонал, в частности для работы в складских помещениях. Поскольку работники стремятся придерживаться рекомендаций по социальной дистанции, потребность в автоматизации и массовом Интернете вещей (IIoT) ускоряется для создания так называемых умных складов. После успешного внедрения, вначале посредством Wi-Fi, а в будущем и технологии 5G, - умные склады позволят гораздо меньшему числу работников выполнять свои обязанности без потери производительности.

Как и в случае с розничными складами, для поддержания работоспособности производственных мощностей требуется персонал. Таким образом, потребность в технологиях, позволяющих физически дистанцироваться, стала критически важной для безопасности рабочих. Расширенная автоматизация через виртуальную/дополненную реальность и искусственный интеллект для удаленного обслуживания техники и дистанционного обучения становятся возможными благодаря мобильным технологиям и могут облегчить физическое

дистанцирование на производственных объектах. Все это требует расширенных возможностей подключения, которые может обеспечить 5G.

Меры социальной дистанции и всплески количества пациентов в больницах из-за пандемии увеличивают потребность в расширенных возможностях подключения в здравоохранении. С помощью видеоконференцсвязи и множества подключенных к облаку конечных точек IoT, телемедицина с поддержкой 5G, включая удаленный мониторинг пациентов, обеспечивает доступ к медицинскому обслуживанию без потенциального воздействия COVID-19 и снижает потребность в больничных койках.

Кроме того, 5G предоставляет функциональные возможности для улучшения отслеживания социальных контактов, а повышенная безопасность за счет разделения сети 5G может обеспечить быстрое масштабирование временных медицинских учреждений и вариантов применения технологий, таких как автономные медицинские роботы-уборщики, которые могут снизить рабочую нагрузку на медицинский персонал.

Новые сервисы прямого доступа к потребителю будут продолжать развиваться по мере роста глобального внедрения устройств с поддержкой 5G. Для этого потребуются такие свойства сети как низкая задержка, высокая пропускная способность и высокая плотность подключения. Один из примеров подобных сервисов - прямая трансляция концертов или спортивных событий с использованием виртуальной реальности. Применение автономных дронов для розничной доставки - еще одна перспективная разработка, для нормальной работы которой потребуются MIoT и низкая задержка.

Поскольку большинство из этих услуг еще не разработано и могут потребовать других технологических достижений, необходимость в глобальном внедрении сетей нового поколения для предоставления подобных услуг не столь очевидна, как в ранее описанных целевых назначениях.

Сочетание растущего спроса и нарушений в логистике безусловно отложит сроки развертывания сетей 5G в некоторых развитых странах. Внедрение 5G и аукционы по продаже спектра в Европе и других странах, ранее запланированные на начало 2020 года были отложены на начало апреля 2020 года из-за мер по предотвращению COVID-19. Тем не менее, растущие спрос и конкуренция способствуют внедрению технологии таких странах как США сравнительно быстрыми темпами. И по мере ослабления ограничений данные темпы будут только расти.

В развивающихся странах, где развертывание сетей пятого поколения в основном еще не началось, телекоммуникационные компании в значительной степени зависят от тарифных планов мобильной связи и могут испытать краткосрочное негативное влияние в отношении доступности

капитала для построения вышек. Однако последствия пандемии должны усилить тягу к расширению цифровой инфраструктуры.

В то время как телекоммуникационные компании традиционно возглавляют развертывание нового спектра, другие игроки отрасли также продвигают 5G. Организации частного сектора и правительства, включая регулирующие органы, национальные правительства и местные органы власти, играют очень важную роль.

Если правительства и отрасли будут сотрудничать, цели, касающиеся потенциальных экономических и социальных выгод от новой технологии, могут быть успешно достигнуты. Государственная помощь может перенаправить рыночные силы для обеспечения равного географического доступа к сетям на этапе внедрения, а также способствует его ускорению.

#### **Будущее технологии**

Пандемия оказала разрушительный эффект на такие сферы жизни как работа, образование, общественная деятельность, розничная торговля, здравоохранение и многие другие. Изменения в тенденциях в области подключения могут сохраниться после того, как кризис утихнет, особенно в следующие 9–12 месяцев по мере снижения ограничений.

Варианты использования мобильных технологий, большинство из которых зависит от высокоскоростного широкополосного Интернета, помогают справиться со столь резкими изменениями. В результате доступ к высокоскоростному широкополосному Интернету становится все более важным, особенно в городах, где физическое и виртуальное присутствие взаимосвязано, а также в сельской местности, где растет спрос на удаленное здравоохранение, образование и розничные услуги.

В ближайшем будущем 5G может помочь устранить пробелы в доступности широкополосной связи за счет фиксированного беспроводного доступа и создать безопасные условия труда на складах, производственных предприятиях и в больницах. Заглядывая в будущее, можно сказать, что полное покрытие 5G позволит реализовать множество сценариев типа direct-to-consumer, которые еще только предстоит разработать.

Технология 5G уже относительно успешно показывает себя B2C, и компании могут опираться на эту базу. Хотя эта технология предлагает множество возможностей, передовые производители электроники и промышленные предприятия должны делать свои ставки с осторожностью, чтобы обеспечить высокую окупаемость инвестиций в следующие несколько лет. Компании, которые сейчас переходят к конкретным вариантам использования и готовятся к стандартизации, могут стать одними из тех, кто в перспективе с огромной прибылью сможет побороться за статус лидера рынка, а молодые стартапы, нацеленные на разработку продуктов и приложений основанных на преимуществах сетей

пятого поколения имеют все шансы стать “новой Теслой”.

### Литература

1. Интерактивная карта Ookla 5G map -URL: <https://www.speedtest.net/ookla-5g-map> (дата обращения 04.11.2020)
2. World Economic Forum, ICT COVID-19 Response: Partnering with Technology Companies to Combat COVID-19, April 2020, - URL: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Tech\\_4\\_COVID\\_Early\\_Compendium\\_2020.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Tech_4_COVID_Early_Compendium_2020.pdf) (дата обращения 04.11.2020)
3. What CEOs Must Know About the Impact of Technology on the Education Sector? -URL: <https://appinventiv.com/blog/technologies-for-edtech-business-next-level/> (дата обращения 04.11.2020)
4. Video Conferencing Apps Surge from Coronavirus Impact - URL: <https://www.appannie.com/en/insights/market-data/video-conferencing-apps-surge-coronavirus> (дата обращения 04.11.2020)
5. COVID-19 Crisis Drives Changes in eCommerce Purchasing Behaviors, ACI Worldwide Research Reveals - URL: <https://investor.aciworldwide.com/news-releases/news-release-details/covid-19-crisis-drives-changes-ecommerce-purchasing-behaviors> (дата обращения 04.11.2020)
6. World Economic Forum, The Impact of 5G: Creating New Value across Industries and Society, January 2020 - URL: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_The\\_Impact\\_of\\_5G\\_Report.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Impact_of_5G_Report.pdf) (дата обращения 04.11.2020)
7. The 5G era: New horizons for advanced-electronics and industrial companies - URL: <https://www.mckinsey.com/industries/advanced-electronics/our-insights/the-5g-era-new-horizons-for-advanced-electronics-and-industrial-companies> (дата обращения 04.11.2020)

### References

1. Interactive map Ookla 5G map -URL: <https://www.speedtest.net/ookla-5g-map> (link as of 04.11.2020)
2. World Economic Forum, ICT COVID-19 Response: Partnering with Technology Companies to Combat COVID-19, April 2020, - URL: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Tech\\_4\\_COVID\\_Early\\_Compendium\\_2020.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Tech_4_COVID_Early_Compendium_2020.pdf) (link as of 04.11.2020)
3. What CEOs Must Know About the Impact of Technology on the Education Sector? -URL: <https://appinventiv.com/blog/technologies-for-edtech-business-next-level/> (link as of 04.11.2020)
4. Video Conferencing Apps Surge from Coronavirus Impact - URL: <https://www.appannie.com/en/insights/market-data/video-conferencing-apps-surge-coronavirus> (link as of 04.11.2020)
5. COVID-19 Crisis Drives Changes in eCommerce Purchasing Behaviors, ACI Worldwide Research Reveals - URL: <https://investor.aciworldwide.com/news-releases/news-release-details/covid-19-crisis-drives-changes-ecommerce-purchasing-behaviors> (link as of 04.11.2020)
6. World Economic Forum, The Impact of 5G: Creating New Value across Industries and Society, January 2020 - URL: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_The\\_Impact\\_of\\_5G\\_Report.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Impact_of_5G_Report.pdf) (link as of 04.11.2020)

УДК 514.182  
ГРНТИ 27.21.21

**Botvinovska S.I.**

*DSc, professor, Head of Department of Descriptive Geometry and Engineering Graphics*

*Kyiv National University of Construction and Architecture*

**Kovalov Serhii (Kovalev Sergej)**

*DSc, professor of Department of Descriptive Geometry and*

*Engineering Graphics*

*Kyiv National University of construction and Architecture, Kyiv*

**Zolotova Alla**

*Phd, Candidate of technical sciences, associate professor,*

*Kyiv National University of Construction and Architecture*

## FORMATIONS OF DISCRETE FRAMEWORKS OF DOME CONSTRUCTIONS

**Ботвіновська Світлана Іванівна**

*Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри  
нарисної геометрії та інженерної графіки,*

*Київський національний університет будівництва і архітектури*

**Ковальов Сергій Миколайович**

*доктор технічних наук, професор кафедри  
нарисної геометрії та інженерної графіки,*

*Київський національний університет будівництва і архітектури*

## ФОРМУВАННЯ ДИСКРЕТНИХ КАРКАСІВ КУПОЛЬНИХ СПОРУД

**Abstract.** In article examples of modeling of discrete frameworks of dome constructions are described. Possibilities of use of one of methods of discrete geometrical modeling, namely generalized S.N. Kovalev's static-geometrical method are shown. Questions of parametrical compliance of the set design task and basic data are considered. The parametrical analysis of basic data in the purposes of formation of a discrete framework of a dome construction taking into account observance of the geometrical and esthetic requirements imposed to the modeled surface is carried out. The way that the image conceived by the designer can be embodied when modeling new a surface is described. The example of use of constructive distribution of external loading between knots of discrete network is shown. It allows, in the course of architectural design of domes of cult constructions, will include window openings in a dome surface, having kept at the same time a traditional image of a construction. The way described in article allows to expand creative opportunities of designers and architects in the course of their professional activity. Considerably expands the list of esthetic, constructive and physical properties which can be considered when modeling curvilinear surfaces.

**Анотація.** Запропоновано приклад моделювання дискретних каркасів купольних споруд, продемонстровано можливості використання узагальненого статико-геометричного методу професора Ковальова С.М., як одного з методів дискретного геометричного моделювання. Розглянуто питання параметричної відповідності задачі та вихідних даних. Виконано параметричний аналіз вихідних даних при розв'язанні задачі формування дискретного каркаса купольної споруди з урахуванням геометричних та естетичних умов. Продемонстровано можливості використання конструктивного способу розподілу зовнішнього навантаження між вузлами сітки, у рамках статико-геометричного методу дискретного моделювання. На прикладах доведено, що цей спосіб дозволяє при моделюванні архітектурних оболонок, наприклад куполів, зберегти їх традиційний образ, включивши у поверхню купола контури віконних прорізів. Описаний підхід дозволяє розширити творчі можливості дизайнерів та архітекторів при архітектурному проектуванні куполів культових споруд за рахунок збільшення списку естетичних, конструктивних та фізичних властивостей, які можна враховувати при моделюванні.

*Key words: discrete geometric modeling, discretely represented surface, static-geometric method, discrete frame, dome of a cult building*

*Ключові слова: дискретне геометричне моделювання, дискретно представлена поверхня, статико-геометричний метод, дискретний каркас, купол культової споруди*

**Постановка проблеми.** Особливе місце серед покриттів архітектурних споруд займають різноманітні купола. Тонкостінні просторові конструкції, характеризуються незвичним зовнішнім виглядом та вільним плануванням підкупольних приміщень, із-за відсутності колон та опорних стоек. Купольні споруди використовуються з давніх давен і вважаються найоптимальнішими структурами щодо покриття значних будівельних площ та об'ємів без опор.

Пошук нових форм, за рахунок великого різноманіття купольних конструкцій, дозволяє отримувати сучасні, естетично привабливі, конструктивно цікаві й функціональні поверхні, які можуть стати центральним найпривабливішим елементом всього архітектурного ансамблю. Моделювання безмоментних покриттів великопрогонних конструкцій привертає увагу архітекторів і конструкторів, оскільки саме цим спорудам притаманна архітектурна виразність і символізм форми. Особливість купольних конструкцій – це криволінійність поверхні, а форма обрисів поверхонь залежить від архітектурних, конструктивно-планувальних, естетичних вимог та пов'язаних з ними технологій спорудження.

Існує багато традиційних методів моделювання купольних оболонок але традиційними способами такі поверхні можна конструювати тільки як складені з елементів простих поверхонь. При цьому залишається умова збереження гладкості стикування цих частин. Остання умова значно ускладнює аналітичні розрахунки. Тому, для формування каркасів купольних споруд спробуємо використати методи дискретної геометрії, що дозволить отримати дискретну сітку, всі точки якої належатимуть єдиній поверхні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найпопулярнішими оболонками в архітектурі виступають сферичні купола [1], з твірною у вигляді складеної кривої лінії з гладкоспряжених дуг кривих [2, 3]. Формоутворення сітчастих куполів залишається, і сьогодні, цікавим і достатньо складним процесом. Багато наукових досліджень присвячено розрахункам та конструюванню купольних споруд, вивченню навантажень, які виникають в елементах куполів, в тому числі і сферичних [4, 5]. Економічна ефективність конструкції купола залежить від малюнка сітки [6] та конструкцій вузлових з'єднань, які повинні забезпечити достатню несучу

спроможність, простоту виготовлення та малу матеріаломісткість [7, 8]. У роботі [9] Автор демонструє процес утворення сітчастих купольних каркасів. Наводить приклади комп'ютерних моделей металевих куполів із сталевих профілів, аналізує вплив геометричної форми металевих куполів на напружено-деформований стан купольного каркаса. Важливим залишається питання знаходження зв'язків між параметрами геометричної форми моделі та параметрами споруди, що проектується. Для сітчастих оболонок геометрична схема купольної споруди суттєво впливає на конструкцію вузлів.

У процесі дискретного геометричного моделювання перевага віддається сіткам з трикутними клітинами. Крім того, бажано щоб всі клітини та всі внутрішні вузли залишалися топологічно однаковими. Такі сітки називають регулярними. Моделюванню саме таких сіток присвячено роботу [10]. Використання розтягнутих сіток пов'язано з простотою розбиття поверхонь та простотою нумерації вузлів сіток. Також, при конструюванні поверхні купола одним з найважливіших питань залишається естетичний аспект дизайну. Купольні конструкції характеризуються різноманіттям форм на конструктивних рішеннях [11]. Вибір того чи іншого рішення пов'язаний із забезпеченням жорсткості конструкції, рівномірністю розподілу матеріалу та рівномірністю навантаження по поверхні купола [12]. Таким чином можна стверджувати, що побудова геометричної моделі будь-якої криволінійної поверхні в архітектурі є непростю задачею, при розв'язанні якої кожний архітектор, конструктор прагнуть отримати найбільш досконалу геометричну форму об'єкта, що моделюється. Покажемо у роботі можливість узагальненого статико-геометричного методу (СГМ) формування дискретних каркасів моделей, які максимально відображатимуть її форму та структуру сітки.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** На сучасному етапі проектування купольних споруд виникають нові вимоги до їх форми. Серед них: спирання куполів на ламані контури; використання в якості лінії обрису, крім дуг кіл, парабол другого, третього та вищих порядків. Цікавість викликає включення у поверхню купола плоских віконних прорізів різної форми. Зрозуміло, що поверхня яка має такі вихідні умови не може бути поверхнею обертання, але повинна зберігати образи такої поверхні.

**Мета досліджень.** Основна мета представленого дослідження продемонструвати спосіб моделювання дискретних каркасів купольних споруд з включеними віконними прорізами різної форми так, щоб всі точки дискретної сітки належали єдиній поверхні. Задача полягає у визначенні геометричної форми поверхні купола та координат вирізів дискретної сітки.

**Викладення основного матеріалу.** У статико-геометричному методі розподіл зовнішнього формоутворюючого навантаження між вузлами суттєво впливає на форму дискретно представленної поверхні. Узагальнений СГМ дозволяє використовувати зусилля, які задаються конструктивно у вигляді деякої аналітично заданої поверхні. Для цього, на поверхню-прообраз наноситься дискретно задана сітка, топологічні характеристики якої повинні бути ідентичними відповідним характеристикам сітки на поверхні-образі, яка моделюється. Після цього можна визначити параметри дискретного формоутворюючого навантаження на вузли, під дією якого сітка на поверхні-прообразі є врівноваженою. У подальшому, такі зусилля будуть використовуватись для формування дискретного каркаса іншої поверхні з іншими вихідними даними, але із збереженням властивостей поверхні-прообразу.

За СГМ, рівновага вузлів довільної двовимірної дискретної сітки описується системою рівнянь (1):

$$u_{i,j,1} + u_{i,j,2} + u_{i,j,3} + \dots + u_{i,j,\ell} + \dots + u_{i,j,n-1} + u_{i,j,n} - nu_{i,j,0} + kP_{i,j,0} = 0, \quad (1)$$

де  $n$  – число вузлів зірки сітки, які оточують центральний вузол  $M_{i,j,0}$ .

Запропонований спосіб переносу зовнішніх зусиль, що врівноважують вузли сітки поверхні-прообразу, у вузли сітки поверхні, яка моделюється

$$kP_{i,j,0} = nu'_{i,j,0} - u'_{i,j,1} - u'_{i,j,2} - u'_{i,j,3} - \dots - u'_{i,j,\ell} - u'_{i,j,n-1} - u'_{i,j,n}, \quad (2)$$

де позначення  $u'$  (з штрихом зверху) є узагальненим позначенням відповідних координат  $(x, y, z)$  вузлів сітки поверхні-прообразу. Позначення  $i, j$  відповідає нумерації вузлів сітки у прийнятій системі відліку вузлів поверхні-прообразу, а  $n$  – число вузлів зірки сітки, які

(поверхні-образу) можна представити у вигляді системи рекурентних рівнянь (1), де координатні складові  $kP_{i,j,0}$  зовнішніх зусиль, які врівноважують вузли сітки поверхні-образу розраховуються за формулою (2):

оточують центральний вузол  $M_{i,j,0}$ ,  $\ell$  – номер вузла зірки сітки поверхні-прообразу у локальній системі відліку, відносно центрального вузла зірки  $M_{i,j,0}$ , наприклад так, як це показано на рис. 1. Можна сформулювати наступну властивість.

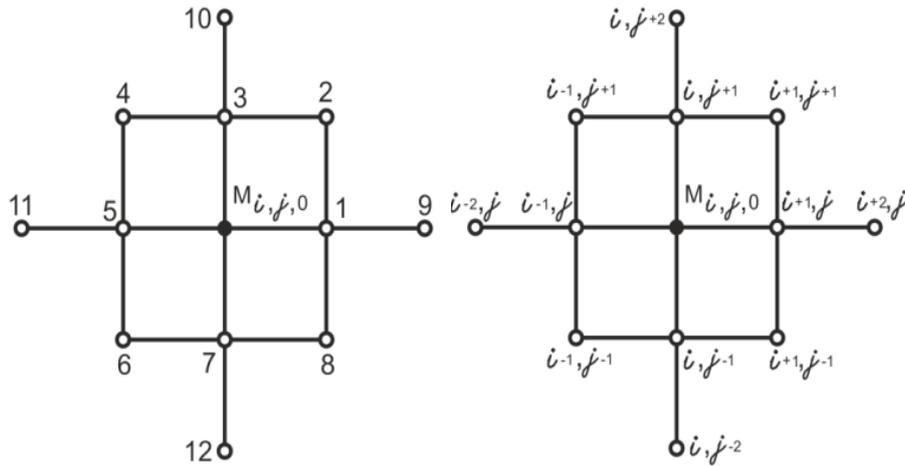


Рис. 1. Вузол зірки сітки бігармонічного шаблону

*Властивість.* Чим більше вихідні дані модельованої поверхні-образу будуть наближатись до вихідних даних поверхні-прообразу, тим менше геометрична форма модельованої поверхні-образу буде відрізнятися від форми поверхні-прообразу. Продемонструємо цю властивість на конкретному прикладі.

*Приклад* (рис. 2). Необхідно визначити координати вузлів дискретного каркаса єдиної поверхні шоломоподібного купола, з шістьма віконними прорізами заданої форми і положення. Додатковою умовою є належність плоских рам вікон модельованій поверхні. Поверхня-прообраз (рис. 2, а) визначається як поверхня обертання параболі 2-го порядку (рис. 2, б)

$$x = a_0 + a_1z + a_2z^2, \quad (3)$$

навколо осі  $Oz$ . Параболу (3) у площині  $xOz$  задано п'ятьма параметрами: двома точками  $A(x = 250; y = 0; z = 0)$ ,  $B(x = 0; y = 0; z = 500)$  лін. од. та дотичною  $t_\beta$  ( $\text{tg}\beta = -0.6$ ).

Тоді,  $\alpha = 63^{\circ}.435$ ,  $\beta = 149^{\circ}.036$ . Рівняння поверхні обертання має вигляд:

$$\sqrt{x^2 + y^2} = 250 - 0.4z - 0.0002z^2, \quad (4)$$

На рис. 2, в показано топологічну схему 1/4 сітки з вирізами для вікон. На поверхню-прообраз нанесено дискретний каркас точок з рівномірним кроком вздовж осі  $Oz$ , відповідно, до схеми (рис. 2, в) з рівномірним кроком  $h = \frac{H}{j} = 62.5$  лін. од.

Параболу (3) можна задати трьома точками  $A(x = 250; y = 0; z = 0)$ ,  $B(x = 0; y = 0; z = 500)$ ,  $C(x = 300; y = 0; z = 187.5)$ . Кутовий крок обираємо  $\alpha = 7.5^{\circ}$ . Тоді, рівняння поверхні обертання буде мати

$$\sqrt{x^2 + y^2} = 250 = 0.72665z - 0.0024533z^2. \quad (5)$$

вигляд:

Для того, щоб поверхня-образу значно не відрізнялась від поверхні-прообразу форму вікон потрібно задавати таким чином, щоб при розміщенні їх на поверхні, координати точок вікна

не дуже відрізнялись від координат відповідних вузлів сітки.

Задаємо координати вузлів на поверхні обертання, які будуть утворювати віконні прорізи, форму яких представлено на рис. 2, г:

$$D(x = 302.4984; y = 0.0000; z = 125.000);$$

$$E(x = 292.1910; y = 78.2923; z = 125.000); F(x = 268.8472; y = 72.0374; z = 250.000);$$

$$G(x = 235.4662; y = 31.0000; z = 312.500);$$

$$K(x = 177.4984; y = 0.000; z = 375.000).$$

З урахуванням вищесказаного, координати вузлових точок віконних прорізів з одного боку задано так, щоб всі вони належали одній площині (яка проходить через точки  $K$  і  $D$  під кутом  $\gamma = 115.60^\circ$  до осі  $Ox$  (рис. 2, б), а з іншого боку так, щоб вони максимально були наближені до координат відповідних вузлів сітки на поверхні-прообразі. Саме таке розміщення площини віконних прорізів повинно максимально наблизити сітку поверхні-образу до заданого прообразу. Традиційними способами подібну поверхню можна

було б сконструювати лише як композитну криволінійну поверхню, тобто складену із кусків простих поверхонь зі збереженням гладкості стикування між ними. У такому випадку математичні розрахунки будуть значно ускладнені.

У СГМ для розрахунків координат вузлів другого, повернутого контуру, всі абсциси і ординати отримуємо за формулами:

$$x' = x \cdot \cos(\alpha); y' = x \cdot \sin(\alpha), \text{ тоді} \tag{6}$$

$$D'(x = 297.3447; y = 0.0000; z = 125.000); E'(x = 299.3447; y = 75.1649; z = 125.000);$$

$$F'(x = 268.8472; y = 75.1649; z = 184.4459); G'(x = 223.1728; y = 37.5825; z = 279.7230);$$

$$K'(x = 177.4984; y = 0.000; z = 375.000).$$

Для топологічної схеми сітки (рис. 2, в) рівняння рівноваги довільного вузла буде мати вигляд:

$$u_{i-1,j+1} + u_{i+1,j+1} + u_{i+1,j-1} + u_{i-1,j-1} - 4u_{i,j} + kP_{i,j,z} = 0, \tag{7}$$

де  $u_{i,j}$  – почергово приймає значення абсцис і ординат вузлів.

За рівняннями (7) рівноваги довільних вузлів сітки обчислюємо координатні складові зусиль зовнішнього навантаження. Рівняння рівноваги

проекцій зусиль на вісь  $Oz$  складати не потрібно, оскільки вузли кожної паралелі знаходяться на одному рівні, а крок паралелей сталий, тобто  $kP_{i,j,z} = 0$ .

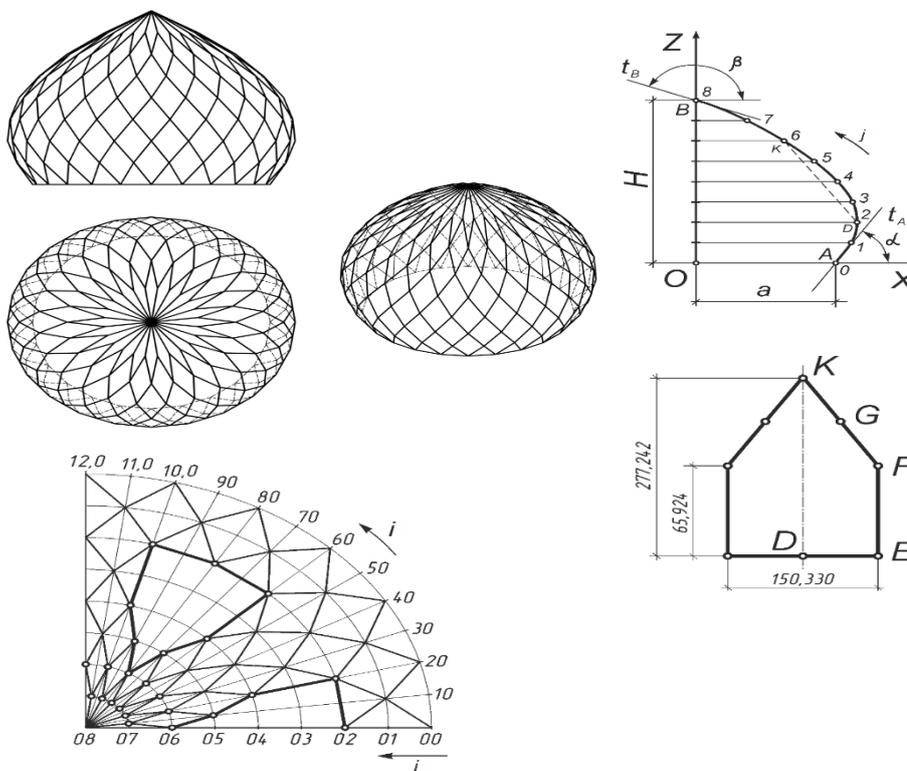


Рис. 2. Поверхня-прообраз купольної конструкції типу шолом, та вихідні дані модельованої поверхні

Після виконання параметричного аналізу і з урахуванням умови, що число невідомих координат повинно дорівнювати числу рівнянь рівноваги вузлів, складаємо і розв'язуємо систему (7) рівнянь рівноваги вузлів дискретної сітки поверхні-образу. За результатами розрахунків отримуємо

координати вузлів дискретного каркаса модельованої поверхні. На рис. 3. представлено три проекції й ізометричне зображення дискретного каркаса купола шоломоподібної форми з віконними прорізами.

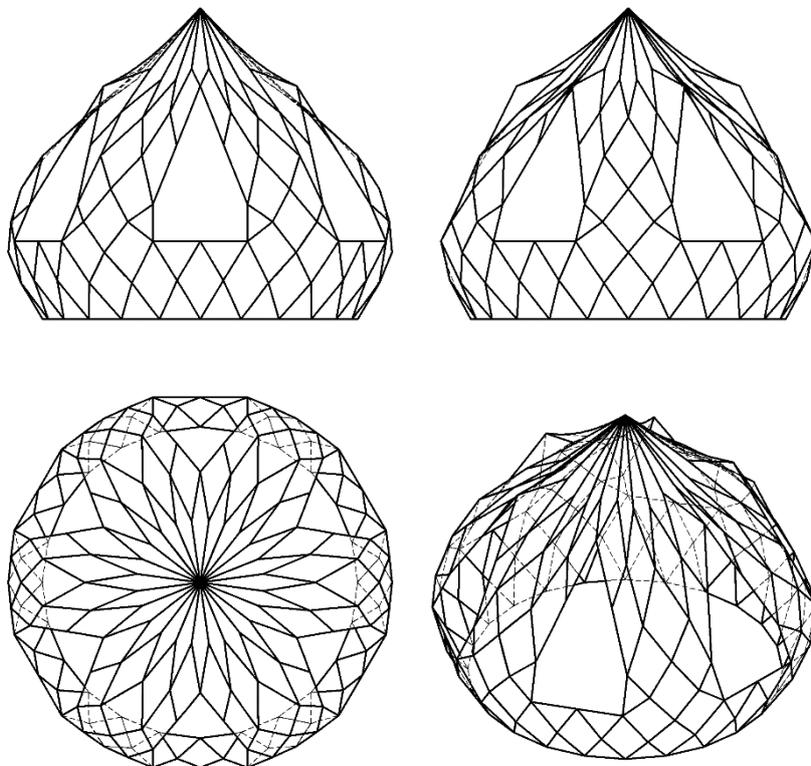


Рис. 3. Поверхня-образ купольної конструкції типу шолом з віконними прорізами

**Висновки та пропозиції.** Конструктивний спосіб задання розподілу зовнішнього навантаження на вузли дискретної сітки за допомогою поверхні-прообразу, у рамках узагальненого статико-геометричного методу, дозволяє моделювати дискретний каркас єдиної, нескладеної, з геометричної точки зору, поверхні. Максимальна ідентичність топологічних характеристик сіток поверхні-прообразу і поверхні-образу дозволить моделювати поверхню, геометрична форма якої буде максимально повторювати форму поверхні-прообразу.

#### Список літератури:

1. А. В. Галанин. Купола и главы храмов. 2010. URL: <http://ukhtoma.ru/history11.htm>
2. Кривошапко С.Н., Емельянова Ю.В. К вопросу о поверхности вращения с геометрически оптимальной стрелой подъема. Монтажные и специальные работы в строительстве. 2006. № 2. С. 11–14.
3. Лебедева Н.В. Фермы, арки, тонкостенные пространственные конструкции. М. : Архитектура-С. 2006. 120 с

4. Тур В. И. Купольные конструкции: формообразование, расчет, конструирование, повышение эффективности: Учебное пособие / В.И. Тур. Москва: Изд. АСВ, 2004. 96 с.

5. Абовский Н.П. Активное формообразование архитектурно строительных конструкций зданий и сооружений из унифицированных строительных элементов для строительства в особых грунтовых условиях и сейсмических районах: научное издание / КрасГАСА, Красноярск, 2004, 241с. <http://isi.sfu-kras.ru/sites/is.institute.sfu-kras.ru/files/aktivnoe%20formoobrazovanie%20obl.pdf>

6. Song, P., Fu, C.W., Goswami, P., Zheng, J., Mitra, N.J., Cohen-Or, D.: Reciprocal frame structures made easy. ACM Trans. Graph. 32(4), 94:1–94:13 (2013). <https://doi.org/10.1145/2461912.2461915>.

7. Лебедь Е.В. Особенности работы каркасов большепролетных металлических куполов в процессе их возведения / Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2018. Т. 14. № 6. С. 481–494. (Lebed E.V. (2018). <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-raboty->

karkasov-bolsheproletnyh-metallicheskih-kupolov-v-protse-ih-vozvedeniya/viewer

8. Короткий В.А., Усманова Е.А. Кривые второго порядка в задачах формообразования архитектурных оболочек / Известия вузов. Строительство. 2014. № 9-10. С.101–107.

9. Беляева З.В. Моделирование пространственных конструкций. 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ : автореф. дис. канд. техн. наук. Екатеринбург, 2015.

[https://static.freereferats.ru/\\_avtoreferats/01007989954.pdf](https://static.freereferats.ru/_avtoreferats/01007989954.pdf)

10. Ботвіновська С.І. Варіювання форми об'єктів дизайну шляхом використання різних

поверхонь-прообразів. Управління розвитком складних систем : наук. зб. Розділ «Інформаційні технології проектування». Київ : КНУБА. 2017. №. 30. С. 136–141.

11. Гнатюк Л. Р., Буріко А. О. Особливості формування середовища під купольною конструкцією / Міжвідомчий науково-технічний збірник «Технічна естетика і дизайн». Київ, КНУБА, 2018. Вип. 14. С. 35–39.

12. Григорян А.А., Лебедь Е.В. Величины начальных усилий в двух пояском металлическом куполе при устранении нормальных и меридиональных погрешностей монтажа. Весник, №1, 2016. С. 44-56.

**Levitskyi A. S.**

*Doctor of Engineering Science  
Leading research in the Department of electric  
and magnetic measurements in the Institute of Electrodynamics  
of the NAS of Ukraine – Kyiv, Ukraine*

**Zaitsev Ie. O.**

*Doctor of Technical Science,  
Leading research in the Department of electric  
and magnetic measurements in the Institute of Electrodynamics  
of the NAS of Ukraine – Kyiv, Ukraine*

**Panchik M. V.**

*Ph.D student in the Institute of Electrodynamics  
of the NAS of Ukraine – Kyiv, Ukraine*

## POWERFUL TURBOGENERATOR STATOR CORE CONTROL METHOD

**Левицкий Анатолий Станиславович**

*Доктор технических наук,  
ведущий научный сотрудник отдела электрических и  
магнитных измерений*

*Института электродинамики  
Национальной академии наук Украины – Киев, Украина*

**Зайцев Евгений Александрович**

*ведущий научный сотрудник отдела электрических и  
магнитных измерений*

*Института электродинамики  
Национальной академии наук Украины – Киев, Украина*

**Панчик Михаил Викторович**

*аспирант Института электродинамики  
Национальной академии наук Украины – Киев, Украина*

## МЕТОД КОНТРОЛЯ СЕРДЕЧНИКА СТАТОРА МОЩНОГО ТУРБОГЕНЕРАТОРА

**Summary.** The article is presented the development of an automatic method and device for monitoring the state of pressing of the stator core of a powerful turbogenerator (TG) during assembly at the factory. The core is assembled and pressed in an upright position by the individual parts, and at each stage of assembly it is necessary to detect places with weakened solidity. Failure to maintain uniformity of the compaction density over the entire volume of the stator core can lead to a relative displacement of the active steel sheets and losses in iron, as well as the appearance and development of the following defects: loosening of the teeth of the end packets, chipping of fragments of the active steel sheets, local closure of the sheets and heating of the packets, which ultimately can lead to hard accidents and TG failure. The initial density of the stator core of a powerful turbo-generator is required by its pressing during manufacture. Existing control methods, including automatic ones, will not allow for quality control. A method and a device are proposed in which, in order to detect places with weakened solidity, an automatic measurement of the specific pressure of the pressing is performed during the deformation of special control easily deformable samples. The device is implemented as a ring mounted on the end surface of the core. In the ring, uniformly with respect to the end surface of the core, N cells with control samples are installed. The

largest decrease in sample thickness caused by the highest specific pressure corresponds to the smallest defect, and vice versa. It is proposed to use a flat metal membrane and a capacitive sensor with a digital output as a pressure transducer. The characteristics of the converter are calculated and experimentally verified. Processing of the results of measuring specific pressure is performed using a special electronic unit. Using the device allows to increase labor productivity during core monitoring, diagnose its defects with greater reliability, eliminate them, and, ultimately, increase the reliability of the TG and its durability.

**Аннотация.** Статья посвящена вопросу разработки автоматического метода и устройства для контроля состояния прессовки сердечника статора мощного турбогенератора (ТГ) во время сборки на заводе-изготовителе. Сердечник собирается и прессуется в вертикальном положении отдельными частями и на каждом этапе сборки необходимо обнаруживать места с ослабленной монолитностью. Несоблюдение равномерности плотности спрессованности по всему объему сердечника статора может привести к относительному смещения листов активной стали и к потерям в железе, а также появления и развития следующих дефектов: разрыхление зубцов крайних пакетов, выкрашиванию фрагментов листов активной стали, местного замыкания листов и нагрева пакетов, что в конечном итоге может привести к тяжелым авариям и выходу ТГ из строя. Необходима начальная плотность сердечника статора мощного турбогенератора обеспечивается его прессованием при изготовлении. Существующие методы контроля, в том числе и автоматические, не позволяют выполнить качественный контроль. Предложен метод и устройство, в котором, для обнаружения мест с ослабленной монолитностью, производится автоматическое измерение удельного давления прессовки при деформации специальных контрольных легкодеформируемых проб. Устройство реализовано как кольцо, устанавливаемое на торцевую поверхность сердечника. В кольце, равномерно по отношению к торцевой поверхности сердечника, установлено N ячеек с контрольными пробами. Наибольшее уменьшение толщины пробы, вызванное наибольшим удельным давлением, соответствует наименьшему дефекту, и наоборот. Предложено в качестве преобразователя давления использовать плоскую металлическую мембрану и емкостный датчик с цифровым выходом. Рассчитаны и экспериментально проверены характеристики преобразователя. Обработка результатов измерения удельного давления производится с использованием специального электронного блока. Использование устройства позволяет повысить производительность труда при контроле сердечника, с большей достоверностью диагностировать его дефекты, произвести их устранение, и, в конечном итоге повысить надежность ТГ и его долговечность.

*Keywords: turbogenerator, stator core, assembly, pressing, pressure, control, deformable sample, rigid-centre membrane, capacitive sensor.*

*Ключевые слова: турбогенератор, сердечник статора, сборка, прессование, давление, контроль, деформируемая проба, мембрана с жестким центром, емкостный сенсор*

**Постановка проблемы.** Основным узлом статора мощного турбогенератора (ТГ) является его сердечник, масса которого составляет около 2/3 массы всего статора. Однако, если другие составные части статора, при исправном сердечнике, могут быть отремонтированы или заменены, то потеря работоспособности последнего означает необходимость замены всего статора. При этом работоспособность сердечника определяется в основном состоянием упругого сжатия, которое первоначально он получает на заводе-изготовителе во время сборки и прессовки на специальном прессе. В дальнейшем в спрессованном состоянии сердечник удерживается с помощью нажимных плит (фланцев) и стяжных шпилек (призм).

При сборке сердечника штампованные и лакированные сегменты из электротехнической стали должны быть уложены со сравнительно высокой точностью и спрессованы с одинаковой плотностью по всему объему сердечника для обеспечения вибрационной устойчивости и заданных электромагнитных характеристик [1]. Укладку сегментов в основном производят вручную [1], но в последнее время появились сообщения о применении роботов для этих целей [2,3].

На заводе сердечник собирается на специальном стенде и прессуется отдельными частями толщиной 500...600 см каждая. Формы и размеры сегментов активной стали обеспечивают во время сборки изготовление сердечника с заданными внешним и внутренним диаметрами, определенную геометрию пазов под укладку стержней обмотки, а также базирование собранного сердечника в корпусе статора.

Одним из факторов, определяющим качество спрессованности (монолитности) сердечника является правильный выбор усилия прессования, которое для каждого типа ТГ выбирается исходя из его технических характеристик по методике, описанной в [1].

При недостаточной силе прессования будет иметь место низкий коэффициент заполнения сердечника сталью, что может привести к возникновению вибраций и специфическому шуму при работе машины. Вибрация машины и отдельных листов сердечника в свою очередь приводит к разрушению лаковой межлистовой изоляции, поломке слабо спрессованных стальных листов, смежных с вентиляционными каналами, ослаблению вентиляционных распорок в сердечнике и ряду других повреждений активной стали. Значительная вибрация листов сердечника в зубцовой зоне представляет особую опасность для

изоляции обмотки, так как может вызвать истирание ее в местах, прилегающих к участкам вибрации, а также к излому зубцов. Чрезмерная сила прессования также может нарушить изоляционное покрытие листов. Кроме того, при чрезмерном прессовании растут механические напряжения в элементах крепления сердечника к корпусу статора, что может привести к их деформации и поломке, отрыву шпилек от корпуса статора, нарушению сварных швов и т.д. [1].

Во время сборки и прессовки сердечника через различные технологические причины (неравномерность листов по толщине, неравномерность лакового покрытия и т.д.) появляются неравномерности в его монолитности в разных точках поперечных сечений. Естественно, эти неравномерности в сердечнике, то есть местные уменьшения монолитности, необходимо ликвидировать, что осуществляется установкой в ослабленные места сердечника специальных клиньев. Но для выполнения ремонта необходимо иметь картину и величину местных уменьшений монолитности сердечника в как можно большем количестве точек, и эти места следует диагностировать.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Существуют различные методы обнаружения дефектов в спрессованном сердечнике. Самым простым является способ обнаружения мест с ослабленной прессовкой с применением специальных щупов или ножей, которые вводятся между листами пакета [7]. Мерио спрессованности является величина заглубления клиновидного щупа между отдельными листами. Такой метод занимает очень много времени, неточен и субъективен. К тому же, проникновение щупа между листами может привести к дефектам лаковой изоляции, что приводит к образованию замкнутых контуров и возникновению локальных перегревов сердечника во время работы машины.

Существует способ контроля спрессованности сердечника с изменением усилий сжатия пакета сердечника с применением специальных устройств в виде штангенциркуля или струбцины [1,8,9]. Во время контроля сердечника такими инструментами их губки охватывают через вентиляционные каналы отдельные пакеты. Ненормированное уменьшение толщины пакета под действием зажимных губок указывает на местные неплотности. Способ также очень трудоемок, и, как правило, его применение позволяет проведение контроля только со стороны расточки сердечника.

Возможно применение вибромеханического способа контроля, в основу которого положена зависимость вибромеханических характеристик пакета сердечника (резонансной частоты колебаний и логарифмического декремента возбужденных колебаний) от его спрессованности [10, 11]. Но устройства, в которых используется метод, при необходимости одновременном контроле в десятках точках, будут сложными. К

недостаткам также следует отнести неудовлетворительную повторяемость результатов измерений.

Затруднительно также применение ультразвукового метода из-за сложности устройства [12]. Метод использует зависимость скорости распространения звуковых колебаний поперек шихтованных пакетов от давления прессовки [12].

В работе [13] описана многоточечная система контроля сердечника, в которой использованы емкостные датчики, емкость которых изменяется с изменением давления прессовки. Датчики впрессованы в стеклотекстолитовые сегменты, форма и толщина которых соответствует сегментам электротехнической стали. Сегменты устанавливаются между листами стали при изготовлении сердечника. Недостатком устройства является то, что после опрессовки стеклотекстолитовые сегменты остаются в пакете, то есть они предназначены для одноразового использования.

На Государственном предприятии "Завод"Электротяжмаш" (Украина, г. Харьков) был разработан метод обнаружения участков сердечника с ослабленной монолитностью во время сборки и прессовки. Для этого в 45 точках на торцевой поверхности сердечника помещаются специальные пробы из материала (например, свинца), который легко деформируется при приложении к нему давления [14]. При этом деформация проб будет от величины дефекта сердечника, в зоне которого они расположены: наибольшая деформация будет соответствовать наименьшему дефекту, и наоборот, наименьшая деформация – наибольшему дефекту. Равномерное расположение контрольных проб по торцу сердечника (три пробы на один сегмент) обеспечивается применением дополнительного нажимного кольца на прессе с вставленными контрольными ячейками с пробами. Метод применен при сборке и прессовке сердечника статора ТГ типа ТГВ-250-2ПТЗ. Недостатком устройства является низкая производительность труда, так как оценка деформации проб производится вручную, без автоматизации.

**Цель статьи** разработка и рассмотрение особенностей метода автоматического контроля сердечника статора мощного ТГ, в котором степень дефекта сердечника определяется с использованием системы контрольных легкодеформируемых свинцовых проб и измерителя удельного давления, действующего на каждую пробу. Удельное давление вызывает осевое перемещение мембраны с жестким центром, которое в дальнейшем с помощью емкостного измерителя перемещений преобразуется в электрический сигнал.

#### **Основная часть**

Устройство для автоматического контроля сердечника статора мощного ТГ во время сборки и прессования представляет собой нажимное кольцо

с контрольными ячейками. Кольцо как дополнительный элемент устанавливается на торцевую поверхность сердечника, с помощью которого выполняют прессование, под нажимное кольцо, являющееся технологической оснасткой при прессовании. Дополнительное кольцо получило наименование "нижнее нажимное кольцо", а кольцо технологической оснастки – "верхнее нажимное кольцо", при этом диаметр первого кольца выбран равным диаметру второго.

Контрольные ячейки устанавливаются равномерно по кольцу из расчета три ячейки на один стальной сегмент сердечника. Например, если по кольцу сердечника устанавливается 15 сегментов, то количество контрольных ячеек  $N=45$  [15]. Схема установки дополнительного кольца показана на рис. 1., общий вид дополнительного кольца – на рис. 2, конструктивная схема контрольной ячейки и способ ее установки – на рис.3.

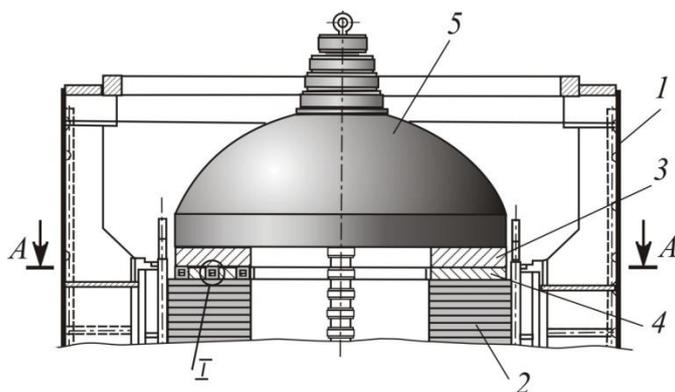


Рис. 1. Схема установки дополнительного нажимного кольца на прессе: 1 – корпус статора ТГ; 2 – сердечник статора ТГ; 3 – верхнее нажимное кольцо; 4 – нижнее дополнительное нажимное кольцо; 5 – зонтичный пресс.

В контрольной ячейке жесткий центр мембраны и электрод диэлектрической пластины образуют измерительный конденсатор с плоскопараллельными электродами, в котором жесткий центр является заземленным. На рис. 4

показано состояние мембраны и емкостного сенсора до приложения усилия прессования.

Во время прессования сердечника усилие прессы через верхнее кольцо и втулку передается на пробу, вызывая деформацию пробы и прогиб мембраны (рис. 5).

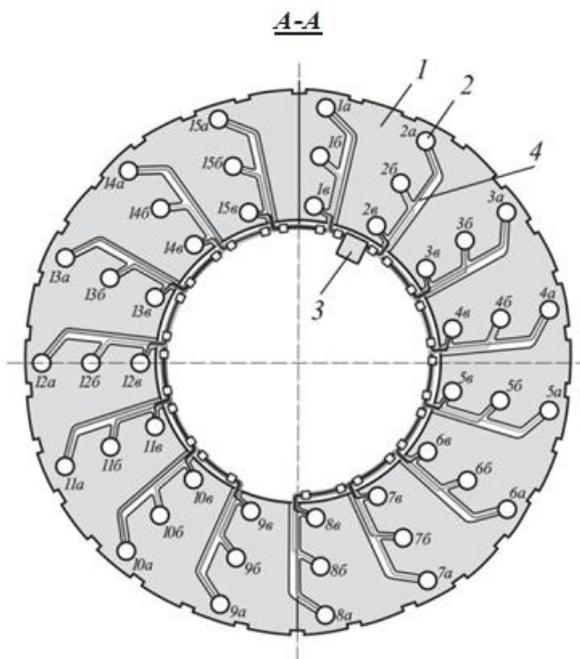


Рис. 2. Общий вид дополнительного кольца: 1 – металлический диск; 2 – контрольная ячейка; 3 – кабели; 4 – электронный блок регистрации и обработки измерительной информации.

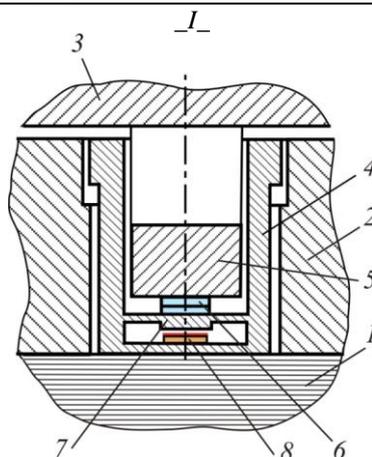


Рис. 3. Конструктивная схем контрольной ячейки и способ ее установки: 1 – сердечник статора ТГ; 2 – нижнее дополнительное нажимное кольцо; 3 – верхнее нажимное кольцо; 4 – обойма; 5 – втулка; 6 – контрольная свинцовая проба; 7 – плоская мембрана с жестким центром; 8 – диэлектрическая пластина с тонкопленочным плоским электродом.

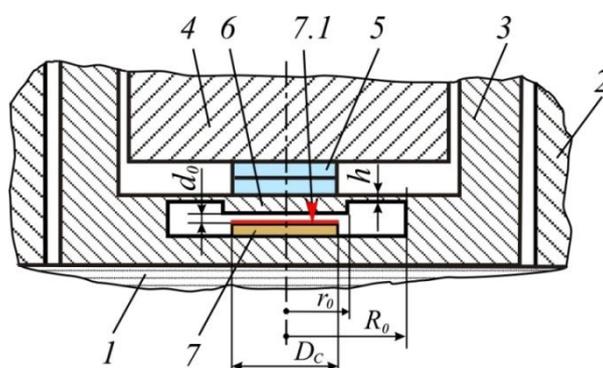


Рис. 4. Состояние мембраны и электродов емкостного сенсора до приложения усилия прессования: 1 – сердечник статора; 2 – нижнее нажимное кольцо; 3 – обойма; 4 – втулка; 5 – проба; 6 – жесткий центр мембраны; 7 – диэлектрическая пластина; 7.1 – электрод емкостного сенсора;  $R_0$  – внешний радиус мембраны;  $r_0$  – радиус жесткого центра мембраны;  $h$  – толщина мембраны;  $D_c$  – диаметр электрода;  $d_0$  – начальный зазор в емкостном сенсоре.

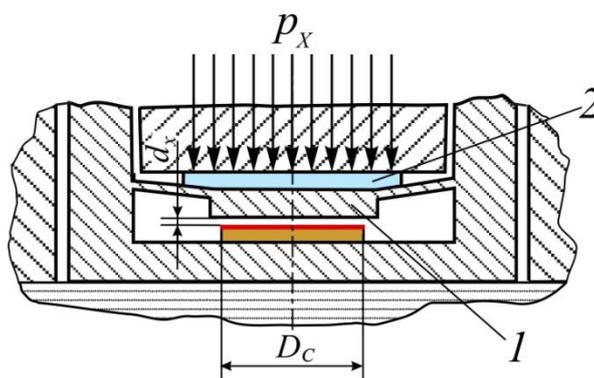


Рис. 5. Состояние мембраны и электродов емкостного сенсора после приложения усилия прессования: 1 – деформированная мембрана; 2 – деформированная проба;  $p_x$  – удельное давление прессования;  $d_x$  – зазор в емкостном сенсоре после приложения усилия прессования.

При этом зазор в емкостном датчике, т. е. расстояние между жестким центром мембраны и плоским электродом, изменится от  $d_0$  до  $d_x$ .

С другой стороны это изменение зазора можно вычислить как перемещение жесткого центра мембраны  $W_x$ , используя материалы работы [16]

$$W_x = A_p \frac{p_x \cdot R_0^4}{Eh^3},$$

где  $A_p = f(k) = \frac{3(1-\mu^2)}{16} \cdot \frac{k^4 - 1 - 4k^2 \ln k}{k^4}$ ,  $k = R_0/r_0$ ,  $E$  – модуль упругости материала мембраны,  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

При этом электрическая емкость измерительного конденсатора  $C_x$  в зависимости от перемещения жесткого центра мембраны  $W_x$  определится выражением

$$C_x = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{\pi D \frac{z}{c}}{4(d_0 - W_x)},$$

где  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума,  $\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость среды.

Так как контрольной величиной при прессовании сердечника является удельное давление пресса  $p_x$ , то выражение для изменения емкости сенсора запишем в виде

$$C_x = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{\pi D \frac{z}{c}}{4 \left( d_0 - A_p \frac{p_x \cdot R_0^4}{E h^3} \right)}.$$

Для измерения емкости применен вторичный измерительный преобразователь, электрическая принципиальная схема которого показана на рис. 6.

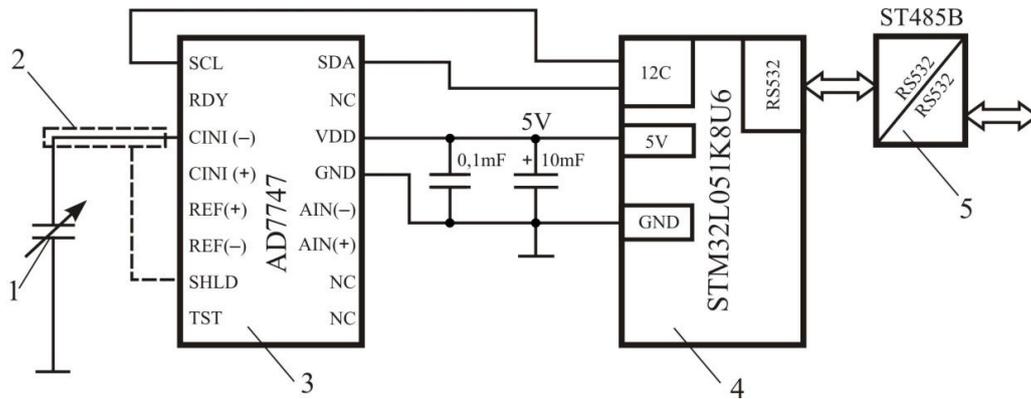


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема вторичного измерительного преобразователя: 1 – переменный плоско-параллельный рабочий конденсатор; 2 – экран для защиты рабочего конденсатора от паразитных наводок; 3 – 24-разрядный преобразователь AD7745; 4 – микроконтроллер STM32L051K8U6; 5 – преобразователь интерфейсов ST485B.

Измеренное в каждой ячейке значение емкости в цифровом коде передается в электронный блок 3 при помощи кабелей 4 (рис. 2). С использованием специального программного обеспечения

производится обработка результатов и на дисплее ПК отображается диаграмма с указанием в относительных величинах дефектов в каждой контрольной точке.

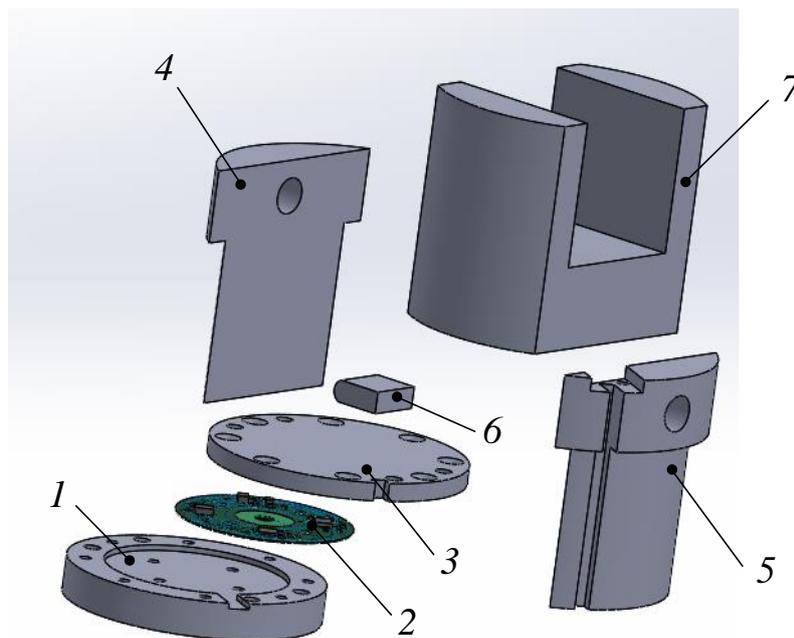


Рис. 7. САD-модель контрольной ячейки: 1 – дно; 2 – емкостный преобразователь; 3 – мембрана; 4 – стойка левая; 5 – стойка правая; 6 – проба; 7 – втулка.

В Институте электродинамики Национальной академии наук Украины разработан один из возможных вариантов конструкции контрольной ячейки, САД-модель которой показана на рис. 7. В разработанной конструкции емкостный преобразователь (поз.2, рис.7) выполнен в виде

отдельного узла, на котором в центральной части сформирован неподвижный кольцевой электрод емкостного сенсора, а вокруг него – все остальные элементы вторичного преобразователя. Фотография узла показана на рис. 8.

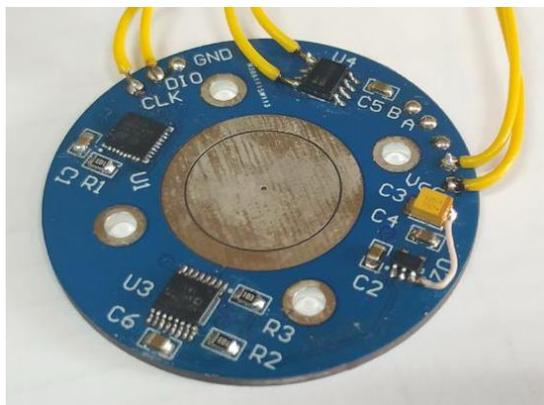


Рис. 8. Преобразователь "электрическая емкость-цифровой код".

Испытания экспериментального образца разработанной контрольной ячейки при прессовке сердечника статора ТГ типа ТГВ-250-2ПТЗ на ГП "Завод"Электротяжмаш" (Украина г. Харьков) показали ее работоспособность и подтвердили основные расчетные характеристики.

#### Выводы

1. Предложен метод автоматического контроля сердечника статора мощного ТТ на заводе-изготовителе для обнаружение дефектов в виде ослабления монолитности. Используется измерение удельного давления прессования в N точках поперечного сечения сердечника, где устанавливаются легкодеформируемые контрольные пробы.

2. Разработана конструкция устройства, в которой реализован предложенный метод. Устройство в виде нажимного кольца устанавливается на торцевую поверхность сердечника.

3. Разработан емкостный преобразователь удельного давления прессования, расчетные характеристики которого подтверждены экспериментами.

4. Использование устройства позволит повысить производительность труда при контроле сердечника, с большей достоверностью диагностировать его дефекты, произвести их устранение, и как результат – повысить надежность электрической машины и ее долговечность.

#### Литература:

1. Юхимчук, В.Д. Технология производства электрических машин: учеб. пособие/ В.Д. Юхимчук. – Харьков: Тимченко, 2006. – 543 с.

2. Patil, A. Modeling a virtual prototype of stator core lamination assembly device/A. Patil, S. Biswas// International Journal of Electrical, Electronics and Data Communication. – 2013. – Vol. 1, Issue 10pp. – С. 32–35.

3. Geddam, P. Developing a virtual prototype for stacking laminations in stator core of turbogenerator using robot simulation software/ P. Geddam, B.K. Barik// Journal of Material Science and Mechanical Engineering (JMSME). –2015. – Vol. 2, Number 5. – С. 456–460.

4. Tavner, P.J. Core faults in large generators/ P.J. Tavner, A.F. Anderson // IEE Proc.-Electr. Power Appl. – 2005. – Vol. 152, No. 6. – С. 456-460. DOI: 10.1049/ip-epa:20050102.

5. Kuznetsov, D.V. Investigation of Features of Localization of Defects of Stator Core Elastic Suspension Systems in High-Power Turbogenerators/D.V. Kuznetsov// Russian Electrical Engineering. – 2015. – Vol. 86, No. 10. – С. 612–619. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068371215100119>

6. Повреждаемость и контроль зубцовых зон запеченных крайних пакетов стали сердечников статоров турбогенераторов/ А.В. Бутов [и др.]// Электрические станции.– 2001. – № 5. – С. 41–48.

7. Справочник по ремонту турбогенераторов / Пузаков С.Е., Голоднова О.С., Ростик Г.В. [и др.]; под общ. ред. Х.А.Бекова и В.В. Барило. – М.: ИПКгосслужбы, ВИПКэнерго, 2006. – 724 с.

8. Алексеев, Б. А. Определение состояния (диагностика) крупных турбогенераторов / Б. А. Алексеев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001. – 152 с.

9. Stator core compressibility test. [Electronic resource] – Mode of access : <https://www.slideshare.net/donaldsatrianistephen/stator-core-compr-test> – Date of access : 28.05.2020.

10. Исследование вибромеханических характеристик пакета электротехнической стали и возможностей их использования для контроля прессовки сердечника статора турбогенератора/ А.В. Григорьев [и др.] // Электротехника. – 2003. – № 8. – С. 36–41.

11. Применение параметра поглощения энергии колебаний для контроля прессовки

сердечников статоров турбогенераторов/А.В. Григорьев [и др.]// Электротехника. – 2004. – № 11. – С. 16–19.

12. Способ диагностики состояния сердечника статора электрической машины: Пат. 2223587 Российская Федерация, МПК Н02 К15/00, Н02 К15/02. / Шаронин В. С., Полторадня А. В.; заявитель и патентообладатель Акционерное общество открытого типа "Электросила" (Санкт-Петербург, РФ). – № 2000129949/09; заявл. 30.11.2000; опубл. 10.02.2004.

13. Створення нових типів та модернізація діючих турбогенераторів для теплових електричних станцій / Ю. В. Зозулін [и др.]. – Харків: ПФ «Колегіум», 2011. – 228 с.

14. Контроль осердя статора потужного турбогенератора під час складання і пресування/ Пінської В. Ф. [и др.]// Гідроенергетика України. – 2020. – №1-2. – С.55–58.

15. Пристрій для контролю осердя статора потужного турбогенератора: заявка на патент України, МКИ Н02 К 15/00. / Левицький А.С., Зайцев Є. О., Панчик М. В., Пінської В. Ф. , Захожаєв В. М., Шофул А. К.; заявитель Інститут електродинаміки НАН України. – № а 2020 02912; заявл. 14.05.2020.

16. Андреева, Л.Е. Упругие элементы приборов/ Л.Е. Андреева. – 2-е изд. – М: Машиностроение, 1981. – 392 с.

*Кара-Сал Айыраш Орланович*

*студ. 3 курса*

*Хунажик Айдана Какас-ооловна*

*студ. 3 курса*

*Научный руководитель: ст.пр. Очур-оол А.П.*

## ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ - ОТХОДОВ АСБЕСТОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Аннотация.** Одним из перспективных объектов промышленной переработки могут являться серпентиниты, являющиеся отходами асбестового производства и скопившиеся в больших количествах на предприятиях. Ценность данных материалов заключается в том, что содержат до 80 % оксидов кремния и магния, которые пользуются традиционным спросом для производства полупроводников, волоконной оптики, электротехнических изделий. Стоит также отметить, что указанное сырье уже прошло через стадии добычи и предварительного измельчения, что в определенной степени должно повлиять на снижение затрат по соответствующим статьям.

Содержание основных компонентов, в зависимости от типа серпентинита, колеблется в пределах, % мас.: 35-40 MgO; 35-40 SiO<sub>2</sub>; 5-6 H<sub>2</sub>O, 5-20 Fe общ; 1-2 Cr, Ni, V, Ti, Al и др. Основными сопутствующими минералами являются: асбест, хромит, магнетит. В небольших количествах могут встречаться оливин, тальк, брусит, доломит, магнезит и др.

Серпентинитовые продукты не получили широкого распространения в качестве исходного сырья при производстве оксидов кремния и магния. Отсюда и незначительное количество известных способов переработки. Требования же к данным продуктам, при использовании их в производстве полупроводников, волоконной оптики, электротехнических изделий и др., гораздо выше.

В данной работе особый интерес представляет извлечение кремния оксида (SiO<sub>2</sub>) не только из чистого минерала серпентинита, а также из различных техногенных отходов (ОАО «Туваасбест»), которые представлены:

- отвалами вскрышных пород, это в основном - серпентиниты, преимущественно зеленого, светло-зеленого цвета, которые и вывозятся непосредственно из карьера и складированы.

- промышленными отходами пустой породы в виде щебня, которые складированы около комбината.

- промышленными отходами обогащения асбестовой руды, которые содержат в своем составе мелкие частицы низкосортных сортов асбеста, поэтому эти отвалы светло-серого цвета.

Как показали последующие исследования, все описанные продукты могут служить сырьем для производства оксида кремния. Разница лишь в затратах на их переработку. Наиболее эффективным сырьем является отходы щебня, имеющее в своем составе более высокие содержание оксида кремния.

Целью проводимых исследований является разработка технологии комплексной переработки серпентинитов с получением высокочистых оксидов кремния и магния, и предусматривающей обратное использование и утилизацию всех образующихся промпродуктов и отходов. Данная цель достигается за счет использования эффективных методов интенсификации процесса первичного разложения серпентинита и приемов доочистки первичных оксидов с получением стандартной продукции высокочистых MgO и SiO<sub>2</sub>.

В качестве базового варианта разложения принято сернокислотное вскрытие серпентинита. Серная кислота по отношению к серпентиниту является весьма эффективным вскрывающим реагентом, так как, являясь высокогигроскопичным веществом, способна отщеплять воду,

содержащуюся в серпентините (12% H<sub>2</sub>O), тем самым, способствуя разрушению и его кристаллической решетки.

Для интенсификации процесса разложения использовалась предварительное механоактивирование серпентинита, совмещающееся с измельчением материала. Кроме получения высокой удельной поверхности материала, при механоактивировании происходит частичное разрушение кристаллической структуры материала и накопление различного типа дефектов кристаллов, что, свою очередь, ведет к повышению реакционной способности твердых частиц.

Проведенные исследования процесса сернокислотного выщелачивания серпентинита показали, что практически полное выщелачивание магнезия достигается уже при стехиометрическом расходе серной кислоты. При увеличении расхода серной кислоты до 120-175 % происходит ускорение процессов разложения основного минерала – серпентинита и сопутствующих, содержащих примесные компоненты (Fe, Cr, Ni). Применение предварительного механического активирования серпентинита резко повышает начальную скорость разложения серпентинита (в 3 раза) и для выщелачивания практически 100% магнезия из активированного серпентинита требуется около 2, 5 – 3 ч, в то время как степень извлечения магнезия из неактивированного серпентинита составляет – 56 % при прочих равных условиях.

Оптимальными условиями сернокислотного выщелачивания серпентинита является: соотношение Т:Ж=1:10, t=95-100° С =4ч, предварительное механическое активирование. Для выщелачивания Mg расход составляет 100-105% от СНК. Для выщелачивания, в том числе и всех примесей расход составляет 150-175% от СНК. Твердый остаток после выщелачивания представляет собой черновой диоксид кремния.

Технология переработки сернокислых растворов заключается в их предварительной очистке от примесей и выделении из раствора чистого карбоната (гидроксида) магнезия.

Для селективного отделения использовали осаждение их гидроокисей. Так как рН осаждения гидроокисей практически всех элементов, присутствующих в растворе за исключением магнезия, ниже 7-8, то принципиально возможно селективное осаждение гидроксидов вышеуказанных элементов с получением чистых Mg-содержащих растворов.

Получаемые после очистки Mg-содержащие растворы содержали менее 1 мг/л Fe, и 5мг/л Cr, Ni и др., и до 10 г/л Mg. Магний из раствора осаждали в виде гидромагнезита. Осаждение проводили растворы соды при перемешивании и подогреве до 60-80 °С. Чистота на прямую зависла от качества используемых реактивов. В зависимости от условий осаждения и, используемых реактивов получали оксид магнезия суммарным содержанием примесей от 0,005 до 0,1%.

Маточные растворы от осаждения магнезия являются практически чистыми растворами сернокислого натрия. Для их утилизации использовали выделение из них сульфата кальция, после прокаливания которого получали высокочистый гипс, используемый в медицине и других сферах, использующих чистые вещества.

Для получения SiO<sub>2</sub> высокой чистоты использовали вариант растворения осадка в растворе с последующим осаждением из растворов кремниевой кислоты. При обработке осадка 10%-ым раствором при температуре 80° С кремний селективно и практически на 100 % переходит в раствор в течение 0,5-1 часа. В нерастворимом остатке остаются все присутствующие минералы примеси.

Из раствора силиката натрия кремний осаждали раствором HCl в виде кремниевой кислоты. Осадок фильтровали и несколько раз промывали подкисленной горячей водой распульровкой. Влажный осадок высушивали и прокаливали при температуре 800 °С с получением диоксида кремния.

По результатам рентгенофазового анализа полученный диоксид кремния представляет собой аморфный SiO<sub>2</sub>. Содержание примесей составляет 0,005- 0,01 и зависит от условий осаждения кремниевой кислоты и качества используемых реактивов. Получаемый после перераспределения диоксид кремния представляет собой высокочистый продукт, который используется в производстве косметики и средств гигиены, качественных пластмасс и резинотехнических изделий и т.п.

Анализ результатов проведенных опытно-технологических испытаний показал высокую воспроизводимость результатов лабораторных исследований. Полученные продукты по своему качественному составу являются идентичными получаемым при лабораторных исследованиях. Разработанная технология переработки отходов асбестового производства (серпентинитов) рекомендована для внедрения на действующем производстве условиях комбината «Туваасбест».

### Литература

1. Бердов Г.И. Влияние минеральных микронаполнителей на свойства композиционных строительных материалов : монография / Г.И. Бердов, Л.В. Ильина, В.Н. Зырянова ; Новосиб. гос. архитектур. - строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2013. – 124 с.
2. Зырянова В. Н., Бердов Г. И., Верещагин В. И., Лыткина Е. В., Очур-оол А. П. Серпентинитовые магнезиальные вяжущие вещества на основе техногенного сырья // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2019. № 9 (72 9). С. 43- 51.
3. Коцупало Н.П. Магнезиальные вяжущие материалы из природных высокоминерализованных поликомпонентных рассолов/Н.П. Коцупало, А.Д. Рябцев, В.Н.

УДК 62-83:681.513.5

*Klyuyev O.V.**Dniprovsky State Technical University, Kamianske,  
Dnipropetrovsk region, Ukraine**Khmelnitsky E.D.**Dniprovsky State Technical University, Kamianske,  
Dnipropetrovsk region, Ukraine***ASYNCHRONOUS SENSORLESS ELECTRIC DRIVE WITH FREQUENCY CONTROL****Клюев Олег Владимирович***кандидат технических наук, доцент кафедры электромеханики,  
Днепропетровский государственный технический университет,  
г. Каменское, Днепропетровская область, Украина***Хмельницкий Евгений Дмитриевич***кандидат технических наук, доцент кафедры электромеханики,  
Днепропетровский государственный технический университет,  
г. Каменское, Днепропетровская область, Украина***АСИНХРОННЫЙ БЕЗДАТЧИКОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

**Summary.** The paper synthesizes an algorithm for identifying speed as part of its observer for asynchronous electric drives with frequency control. The structure a PI-controller of speed with a variable gain of its integral component is proposed. The dynamics of an asynchronous electric drive with a speed observer and variable gains as part of its regulator is investigated by the method of mathematical modeling.

*Key words: asynchronous electric drive, speed observer, frequency control, variable parameters of speed controller, adaptation function.*

**Аннотация.** В статье синтезирован алгоритм идентификации скорости в составе её наблюдателя для асинхронных электроприводов с частотным управлением. Предложена структура ПИ-регулятора скорости с переменным коэффициентом усиления его интегральной составляющей. Методом математического моделирования исследована динамика асинхронного электропривода с наблюдателем скорости и переменными коэффициентами усиления в составе её регулятора.

*Ключевые слова:* асинхронный электропривод, наблюдатель скорости, частотное управление, регулятор скорости с переменными параметрами, функция адаптации.

**Постановка проблемы.** Современный общепромышленный электропривод (ЭП) должен быть надёжным, недорогим и легко встраиваться в действующее производственное оборудование без вмешательства в его конструкцию. В наибольшей степени этим требованиям удовлетворяют так называемые «бездатчиковые» системы ЭП на базе асинхронных двигателей (АД) с короткозамкнутым ротором, где все необходимые для их функционирования измерения осуществляются внутри структуры управляемого преобразователя частоты [1].

В бездатчиковых асинхронных ЭП необходимо иметь оценки как минимум двух величин: потокосцепления – чтобы его поддерживать и по нему ориентировать систему управления; скорости ротора – чтобы её регулировать. С оценкой потокосцепления ротора трудностей не возникает. Зная ток и напряжение статора, а также, если нужно, то и скорость, потокосцепление можно рассчитать, используя модель статора, или модель ротора, или асимптотические наблюдатели [1,2].

Идентифицировать скорость значительно сложнее. В модели статора она отсутствует. В модели ротора скорость является входной величиной, неизвестной в бездатчиковом ЭП. Из моделей электромагнитных процессов АД можно ещё определить электромагнитный момент по известной формуле с использованием тока статора и потокосцепления ротора. Уравнение движения ЭП для вычисления скорости использовать не удаётся, поскольку момент нагрузки на валу переменный и заранее не известен. Момент инерции также меняется и его определить сложно. Указанные трудности возможно преодолеть построением наблюдателей с регулирующим адаптером. Адаптер, как правило, представляет собой ПИ-регулятор берущий на себя функцию

компенсации неопределённости механической части ЭП [3].

**Цель статьи.** Целью статьи является изложение основных результатов синтеза частотного асинхронного электропривода

замкнутого по скорости, в котором вместо датчика скорости используется её наблюдатель.

**Результаты работы.** Уравнения равновесия напряжений статорных и роторных цепей асинхронной машины в осях  $u, v$  имеют вид

$$\begin{aligned}\vec{U}_s &= \vec{I}_s R_s + \frac{d\vec{\Psi}_s}{dt} + j\omega_k \vec{\Psi}_s; \\ \vec{U}_r &= \vec{I}_r R_r + \frac{d\vec{\Psi}_r}{dt} + j(\omega_k - \omega) \vec{\Psi}_r.\end{aligned}\quad (1)$$

Уравнения потокосцеплений следующие

$$\begin{aligned}\vec{\Psi}_s &= \vec{I}_s L_s + \vec{I}_r L_m; \\ \vec{\Psi}_r &= \vec{I}_s L_m + \vec{I}_r L_r.\end{aligned}\quad (2)$$

Запишем уравнения (1) в скалярной форме в осях  $\alpha, \beta$  для АД с короткозамкнутым ротором

$$u_{s\alpha} = p\Psi_{s\alpha} + R_s I_{s\alpha}; \quad u_{s\beta} = p\Psi_{s\beta} + R_s I_{s\beta}.\quad (3)$$

$$0 = p\Psi_{r\alpha} + \omega\Psi_{r\beta} + R_r I_{r\alpha}; \quad 0 = p\Psi_{r\beta} - \omega\Psi_{r\alpha} + R_r I_{r\beta}.\quad (4)$$

Уравнения потокосцеплений (2) принимают вид

$$\Psi_{s\alpha} = L_s I_{s\alpha} + L_m I_{r\alpha}; \quad \Psi_{s\beta} = L_s I_{s\beta} + L_m I_{r\beta}.\quad (5)$$

$$\Psi_{r\alpha} = L_r I_{r\alpha} + L_m I_{s\alpha}; \quad \Psi_{r\beta} = L_r I_{r\beta} + L_m I_{s\beta}.\quad (6)$$

Из соотношений (6) выражаем проекции вектора тока ротора

$$I_{r\alpha} = \frac{\Psi_{r\alpha} - L_m I_{s\alpha}}{L_r}; \quad I_{r\beta} = \frac{\Psi_{r\beta} - L_m I_{s\beta}}{L_r}.\quad (7)$$

Подставляем выражения (7) в формулы (5) и после преобразований получим

$$\Psi_{s\alpha} = \frac{L_m}{L_r} \Psi_{r\alpha} + \frac{L_s L_r - L_m^2}{L_r} I_{s\alpha}; \quad \Psi_{s\beta} = \frac{L_m}{L_r} \Psi_{r\beta} + \frac{L_s L_r - L_m^2}{L_r} I_{s\beta}.\quad (8)$$

На основании соотношений (3) и (8) можно построить простейший наблюдатель потокосцепления ротора. Из формул (3)

определяются проекции вектора потокосцепления статора

$$\Psi_{s\alpha} = \int (u_{s\alpha} - R_s I_{s\alpha}) dt; \quad \Psi_{s\beta} = \int (u_{s\beta} - R_s I_{s\beta}) dt.\quad (9)$$

Формулы (9) подставляем в выражения (8) и после преобразований приходим к следующим

формулам для нахождения составляющих вектора потокосцепления ротора

$$\begin{aligned}\Psi_{r\alpha} &= \frac{L_r}{L_m} \int (u_{s\alpha} - R_s I_{s\alpha}) dt - \frac{L_s L_r - L_m^2}{L_m} I_{s\alpha}; \\ \Psi_{r\beta} &= \frac{L_r}{L_m} \int (u_{s\beta} - R_s I_{s\beta}) dt - \frac{L_s L_r - L_m^2}{L_m} I_{s\beta}.\end{aligned}\quad (10)$$

Из формул (10) следует, что для идентификации вектора потокосцепления ротора достаточно измерять напряжения и токи статора АД. Однако практические выражения (10) неприменимы из-за наличия в их составе интеграторов не охваченных отрицательной обратной связью. Такие интеграторы при своей

работе неизбежно будут накапливать ошибку, что приводит к неработоспособности идентификатора на основе формул (10). Существенный недостаток методов идентификации состоит в необходимости на практике ухода от идеального интегрирования, встречающегося в зависимостях (10), во избежание накопления ошибки при интегрировании.

Особенно это необходимо при низких частотах, когда вследствие увеличенного периода изменения напряжений и токов, вносимая погрешность при интегрировании наиболее значительна. Поэтому важно иметь точные значения параметров АМ, и в первую очередь тех, которые входят в подынтегральные выражения расчётных формул, а именно активных сопротивлений фазных обмоток статора и ротора. Технически проще всего уменьшение дрейфа интегратора достигается его охватом слабой отрицательной обратной связью. Однако указанное приближённое интегрирование даёт хорошие результаты в области верхних частот

и вносит дополнительные погрешности по мере уменьшения частоты [4]. Следовательно, при построении вычислительных алгоритмов идентификации количество операций интегрирования нужно свести к минимуму, в подынтегральных выражениях избегать переменных ротора в осях d,q и стремиться прийти к таким вычислительным соотношениям в которых имеющиеся интеграторы охвачены отрицательной обратной связью.

В выражения (4) подставим значения токов ротора (7) и после преобразований получим следующие уравнения потокосцеплений

$$p\Psi_{r\alpha} = -\frac{R_r}{L_r}\Psi_{r\alpha} - \omega\Psi_{r\beta} + R_r K_r I_{s\alpha}; p\Psi_{r\beta} = -\frac{R_r}{L_r}\Psi_{r\beta} + \omega\Psi_{r\alpha} + R_r K_r I_{s\beta}, \quad (11)$$

где  $K_r = L_m/L_r$ .

Потокосцепление ротора можно определить как по модели статора (10), так и по модели ротора (11). В модели статора для этого нужно знать ток и напряжение статора, а в модели ротора – ток статора и скорость ротора. Естественно предположить, что при одинаковом токе статора, потокосцепление, оценённое по этим двум моделям, будет совпадать, если скорость на входе модели ротора будет равна реальной скорости ротора. На этом предположении основана идея построения адаптивного наблюдателя, позволяющего вычислить оценки потокосцепления и скорости ротора.

Условно полагают, что модель статора является эталонной, т.е. вычисляемый в ней поток является истинным, совпадающим с потоком двигателя. Модель ротора при этом является

адаптируемой по потокосцеплению под модель статора [2]. Адаптация модели ротора осуществляется регулирующим адаптером. Адаптер сравнивает потоки моделей и вырабатывает с помощью регулятора сигнал оценки скорости  $\hat{\omega}$ , который и является адаптирующим. Функцию преобразования сравниваемых векторных величин (в данном случае потокосцеплений) в скалярный сигнал оценки скорости на выходе регулятора называют законом адаптации.

Определим закон адаптации исходя из условия устойчивости наблюдателя. Электромагнитные процессы в роторе описываются уравнениями (11), которые в матричной форме принимают вид

$$\frac{dX}{dt} = AX + a_{r21}I_s, \quad (12)$$

$$\text{где } A = \begin{pmatrix} -R_r/L_r & -\omega \\ \omega & -R_r/L_r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{r22} & -a_{i22} \\ a_{i22} & a_{r22} \end{pmatrix}, a_{r22} = -R_r/L_r; a_{i22} = \omega.$$

Коэффициенты матрицы объекта  $A$  зависят от параметров схемы замещения и реальной скорости ротора. Выражение модели ротора будет

$$\frac{d\hat{X}}{dt} = \hat{A}\hat{X} + a_{r21}I_s, \quad (13)$$

где  $\hat{X} = (\hat{\Psi}_{r\alpha}^R \ \hat{\Psi}_{r\beta}^R)^T$  – оценка потокосцепления ротора,  $\hat{A}$  – оценка матрицы объекта.

Если считать параметры схемы замещения двигателя постоянными и известными, то уравнение модели ротора отличается от уравнения описывающего ротор только тем, что в нём вместо реальной скорости  $\omega$  используется её оценка  $\hat{\omega}$ . Поэтому матрицы  $\hat{A}$  и  $A$  будут отличаться только

теми коэффициентами, которые зависят от скорости.

Теперь запишем уравнение ошибки потокосцепления модели ротора. Для этого введём следующие обозначения. Ошибка определения потока

$$e = X - \hat{X} = \begin{pmatrix} \Psi_{r\alpha} \\ \Psi_{r\beta} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \hat{\Psi}_{r\alpha}^R \\ \hat{\Psi}_{r\beta}^R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta\Psi_{r\alpha} \\ \Delta\Psi_{r\beta} \end{pmatrix}. \quad (14)$$

Поскольку полагаем модель статора эталонной, то можно записать

$$\begin{pmatrix} \Delta\Psi_{r\alpha} \\ \Delta\Psi_{r\beta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{\Psi}_{r\alpha}^S - \hat{\Psi}_{r\alpha}^R \\ \hat{\Psi}_{r\beta}^S - \hat{\Psi}_{r\beta}^R \end{pmatrix}. \quad (15)$$

Матрица ошибки объекта

$$\Delta A = \hat{A} - A = \begin{pmatrix} a_{r22} & -\hat{a}_{i22} \\ \hat{a}_{i22} & a_{r22} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} a_{r22} & -a_{i22} \\ a_{i22} & a_{r22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -\Delta\omega \\ \Delta\omega & 0 \end{pmatrix}, \quad (16)$$

где  $\Delta\omega = \hat{\omega} - \omega$ .

Вычитая из уравнения, описывающего ротор двигателя, уравнение модели ротора, получим

$$\frac{dX}{dt} - \frac{d\hat{X}}{dt} = AX - \hat{A}\hat{X}. \quad (17)$$

Подставив в это уравнение  $X = e + \hat{X}$  и  $\hat{A} = \Delta A + A$  имеем уравнение, описывающее отклонение наблюдателя

$$\frac{de}{dt} = Ae - \Delta A\hat{X}. \quad (18)$$

При разных видах функции адаптации  $F(e)$  система (18) может описывать устойчивый или неустойчивый процесс. Очевидно, что для работы наблюдателя описываемый системой (18) процесс

должен оставаться устойчивым. Получим условия устойчивости из анализа функции Ляпунова [5].

Для уравнения (18) рассмотрим в качестве функции Ляпунова следующую функцию

$$V = e^T e + \frac{(\hat{\omega} - \omega)^2}{\lambda} = \Delta\Psi_{r\alpha}^2 + \Delta\Psi_{r\beta}^2 + \frac{\Delta\omega^2}{\lambda}. \quad (19)$$

Из выражения (19) видно, что функция  $V$  является положительно определённой, как и положено функции Ляпунова.

Теперь найдём полную производную по времени функции (19):

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d}{dt} \left( e^T e + \frac{\Delta\omega^2}{\lambda} \right) = \left( \frac{de^T}{dt} \right) e + e^T \left( \frac{de}{dt} \right) + \frac{1}{\lambda} \left( \frac{\partial(\hat{\omega} - \omega)^2}{\partial\hat{\omega}} \frac{d\hat{\omega}}{dt} + \frac{\partial(\hat{\omega} - \omega)^2}{\partial\omega} \frac{d\omega}{dt} \right). \quad (20)$$

Будем считать, что адаптация осуществляется существенно быстрее, чем меняется частота вращения ротора. Тогда скорость ротора  $\omega$  можно считать условно постоянной, а производную  $d\omega/dt$

равной нулю. В этом случае выражение для производной (20) переписывается так

$$\frac{dV}{dt} = \left( \frac{de^T}{dt} \right) e + e^T \left( \frac{de}{dt} \right) + \frac{2}{\lambda} \Delta\omega \frac{d\hat{\omega}}{dt}. \quad (21)$$

С учётом (18) выражение (21) запишется так

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= (Ae - \Delta A\hat{X})^T e + e^T (Ae - \Delta A\hat{X}) + \frac{2}{\lambda} \Delta\omega \frac{d\hat{\omega}}{dt} \\ &= e^T A^T e + e^T Ae - \hat{X}^T \Delta A^T e - e^T \Delta A\hat{X} + \frac{2}{\lambda} \Delta\omega \frac{d\hat{\omega}}{dt}. \end{aligned} \quad (22)$$

Если подставить полные выражения матриц в соотношение (22) и сделать все перемножения матриц, то после преобразований получим

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= -\frac{2}{T_r} \left( (\hat{\Psi}_{r\alpha}^S)^2 + (\hat{\Psi}_{r\alpha}^R)^2 - 2\hat{\Psi}_{r\alpha}^S \hat{\Psi}_{r\alpha}^R + (\hat{\Psi}_{r\beta}^S)^2 + (\hat{\Psi}_{r\beta}^R)^2 - 2\hat{\Psi}_{r\beta}^S \hat{\Psi}_{r\beta}^R \right) + \frac{2}{\lambda} \Delta\omega \frac{d\hat{\omega}}{dt} + \\ &+ 2\Delta\omega (\hat{\Psi}_{r\beta}^R \hat{\Psi}_{r\alpha}^S - \hat{\Psi}_{r\alpha}^R \hat{\Psi}_{r\beta}^S) = -\frac{2}{T_r} (\Delta\Psi_{r\alpha}^2 + \Delta\Psi_{r\beta}^2) + 2\Delta\omega (\hat{\Psi}_{r\beta}^R \hat{\Psi}_{r\alpha}^S - \hat{\Psi}_{r\alpha}^R \hat{\Psi}_{r\beta}^S) + \frac{2}{\lambda} \Delta\omega \frac{d\hat{\omega}}{dt} \end{aligned}$$

$$(23)$$

Разобьём выражение (23) на два слагаемых

$$dV/dt = S_1 + S_2,$$

где

$$S_1 = -\frac{2}{T_r} (\Delta\Psi_{r\alpha}^2 + \Delta\Psi_{r\beta}^2); S_2 = 2\Delta\omega(\hat{\Psi}_{r\beta}^R \hat{\Psi}_{r\alpha}^S - \hat{\Psi}_{r\alpha}^R \hat{\Psi}_{r\beta}^S) + \frac{2}{\lambda} \Delta\omega \frac{d\hat{\omega}}{dt}. \quad (24)$$

Теперь проанализируем знак производной  $dV/dt$ . Очевидно, что  $S_1$  всегда отрицательно. Следовательно, для обеспечения отрицательности производной функции  $V$  достаточно обеспечить равенство нулю величины  $S_2$ . Запишем это условие

$$S_2 = -2\Delta\omega(\hat{\Psi}_{r\alpha}^R \hat{\Psi}_{r\beta}^S - \hat{\Psi}_{r\beta}^R \hat{\Psi}_{r\alpha}^S) + \frac{2}{\lambda} \Delta\omega \frac{d\hat{\omega}}{dt} = 0. \quad (25)$$

Отсюда

$$\frac{1}{\lambda} \frac{d\hat{\omega}}{dt} = \hat{\Psi}_{r\alpha}^R \hat{\Psi}_{r\beta}^S - \hat{\Psi}_{r\beta}^R \hat{\Psi}_{r\alpha}^S. \quad (26)$$

Запишем выражение (26) в следующем виде

$$\hat{\omega} = \lambda \int (\hat{\Psi}_{r\alpha}^R \hat{\Psi}_{r\beta}^S - \hat{\Psi}_{r\beta}^R \hat{\Psi}_{r\alpha}^S) dt = \lambda \int \begin{vmatrix} \hat{\Psi}_{r\alpha}^R & \hat{\Psi}_{r\beta}^R \\ \hat{\Psi}_{r\alpha}^S & \hat{\Psi}_{r\beta}^S \end{vmatrix} dt = \lambda \int (\hat{\Psi}_r^R \times \hat{\Psi}_r^S) dt. \quad (27)$$

Таким образом, получили закон адаптации для регулятор, а лучше более быстрый ПИ-регулятор. В операторном виде для ПИ-регулятора закон адаптации будет выглядеть так

$$\hat{\omega} = \left( K_p + \frac{K_i}{p} \right) (\hat{\Psi}_{r\alpha}^R \hat{\Psi}_{r\beta}^S - \hat{\Psi}_{r\beta}^R \hat{\Psi}_{r\alpha}^S). \quad (28)$$

Регулирующий адаптер представляет собой пропорционально-интегрирующее звено на вход которого подаётся величина векторного произведения векторов потокосцепления ротора  $\hat{\Psi}_r^R$  и  $\hat{\Psi}_r^S$ , определённые из моделей ротора и статора соответственно. Геометрически величина векторного произведения двух векторов равна удвоенной площади треугольника между ними.

Регулятор (28) поддерживает эту площадь равной нулю и тем самым регулятор будет стремиться совместить вектор потока модели ротора с вектором потока модели статора. Таким образом, функция  $V$  есть функция Ляпунова для разрабатываемого наблюдателя, а выражение (28) является законом адаптации, обеспечивающем его устойчивую работу.

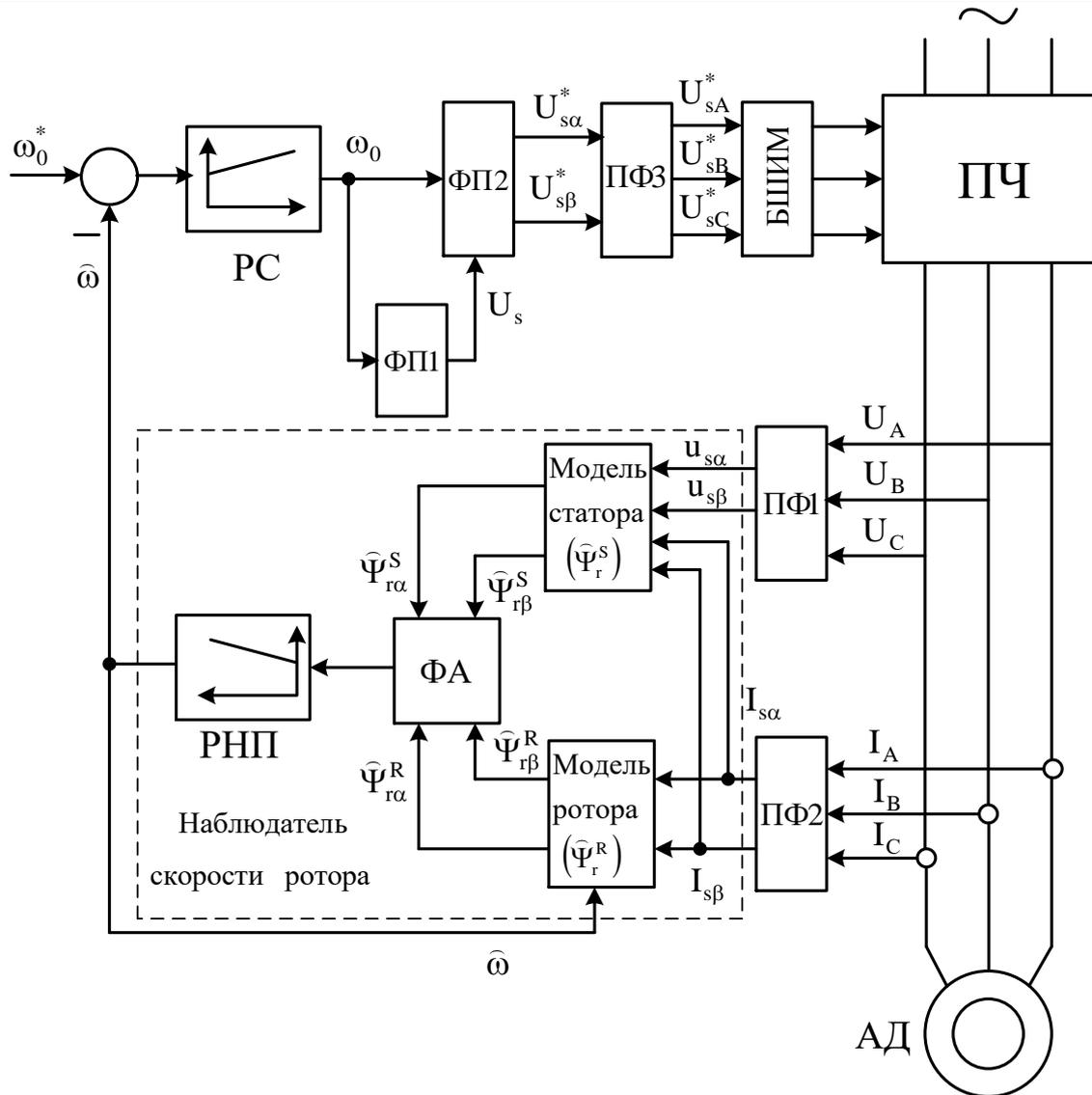


Рисунок 1 – Функциональная схема системы ПЧ-АД с наблюдателем скорости ротора

Поясняет работу ЭП функциональная схема, представленная на рисунке 1. Сначала рассмотрим канал обратной связи. Датчиками измеряются

фазные напряжения и токи статора. В преобразователях фаз ПФ1 и ПФ2 реализуются следующие вычисления

$$u_{s\alpha} = U_A; u_{s\beta} = \frac{1}{\sqrt{3}}(U_B - U_C); I_{s\alpha} = I_A; I_{s\beta} = \frac{1}{\sqrt{3}}(I_B - I_C). \quad (29)$$

В блоках моделей статора и ротора проводятся вычисления по выражениям (10) и (11) соответственно. В блоке функции адаптации ФА определяется векторное произведение векторов  $\hat{\Psi}_r^R$  и  $\hat{\Psi}_r^S$ , т.е. реализуется подинтегральное выражение

формулы (27). ПИ-регулятор невязки оценок потокоцепления ротора РНП выполняет закон регулирования (28). Сигнал оценки угловой скорости ротора  $\hat{\omega}$  в электрических рад/с поступает в модель ротора и как сигнал обратной связи на вход регулятора угловой скорости ротора РС.

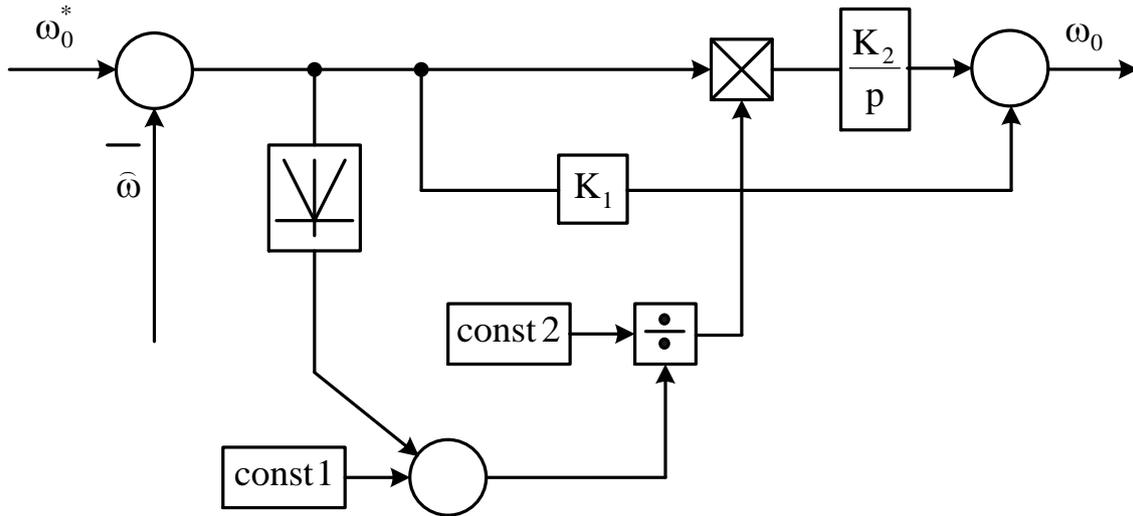


Рисунок 2 – Структура регулятора угловой скорости ротора АД

Предложена оригинальная структура ПИ-регулятора скорости РС, в котором коэффициент усиления интегральной составляющей изменяется в функции ошибки регулирования. Структура регулятора скорости РС представлена на рисунке 2. Выделяется модуль ошибки регулирования  $\omega_0^* - \hat{\omega}$ , который суммируется с постоянным сигналом const 1 и далее как знаменатель поступает на блок деления, где числителем является другой

постоянный сигнал const 2. Результат деления умножается на коэффициент усиления  $K_2$  интегральной составляющей и тем самым изменяет его в переходных процессах.

Функциональный преобразователь ФП1 формирует амплитуду вектора питающего напряжения статора  $U_s$  пропорционально его угловой скорости вращения по формуле

$$U_s = (U_{sn}/\omega_{0n})\omega_0. \quad (30)$$

Сигнал задания угловой скорости  $\omega_0^*$  может формироваться задатчиком интенсивности или же подаваться на вход системы управления скачкообразно. В последнем случае переходной процесс скорости АД будет сохранять плавность

благодаря предложенной структуре регулятора скорости РС на рисунке 2.

Функциональный преобразователь ФП2 вычисляет напряжения управления по осям  $\alpha, \beta$  в соответствии со следующими формулами

$$U_{s\alpha}^* = U_s \cos \int \omega_0 dt; U_{s\beta}^* = U_s \sin \int \omega_0 dt. \quad (31)$$

Преобразователь фаз ПФЗ задаёт модулирующие сигналы блоку широтно-

импульсной модуляции (БШИМ) по следующим выражениям

$$U_{sA}^* = U_{s\alpha}^*; U_{sB}^* = \frac{1}{2}(\sqrt{3}U_{s\beta}^* - U_{s\alpha}^*); U_{sC}^* = -\frac{1}{2}(\sqrt{3}U_{s\beta}^* + U_{s\alpha}^*). \quad (32)$$

В программе Matlab Simulink разработана модель рассматриваемого электропривода на основе асинхронной машины 4A132M4У3 со следующими техническими данными:  $P_n = 11$ кВт,  $U_{sl} = 380$ В;  $n_n = 1500$ об/мин. Параметры схемы замещения, необходимые для расчёта коэффициентов дифференциальных уравнений АД (3) – (6), берутся из справочника [6]. Математическая модель разработана в соответствии с функциональной схемой на рисунке 1 и реализует все её блоки. Результаты исследования динамики электропривода представлены на рисунках 3 и 4 в виде графиков

переходных процессов. Параметры регуляторов РС и РНП подбирались в процессе настройки математической модели, исходя из требований к качеству переходных процессов в частотно управляемом асинхронном ЭП. Переходные процессы на рисунках 3,4 получены при следующих значениях параметров регуляторов: const1=25, const2=50,  $K_1 = 0.1$ ,  $K_2 = 10$  – параметры регулятора скорости РС;  $K_p = 40$ ,  $K_i = 10000$  – параметры регулятора невязки оценок потокосцепления ротора РНП.

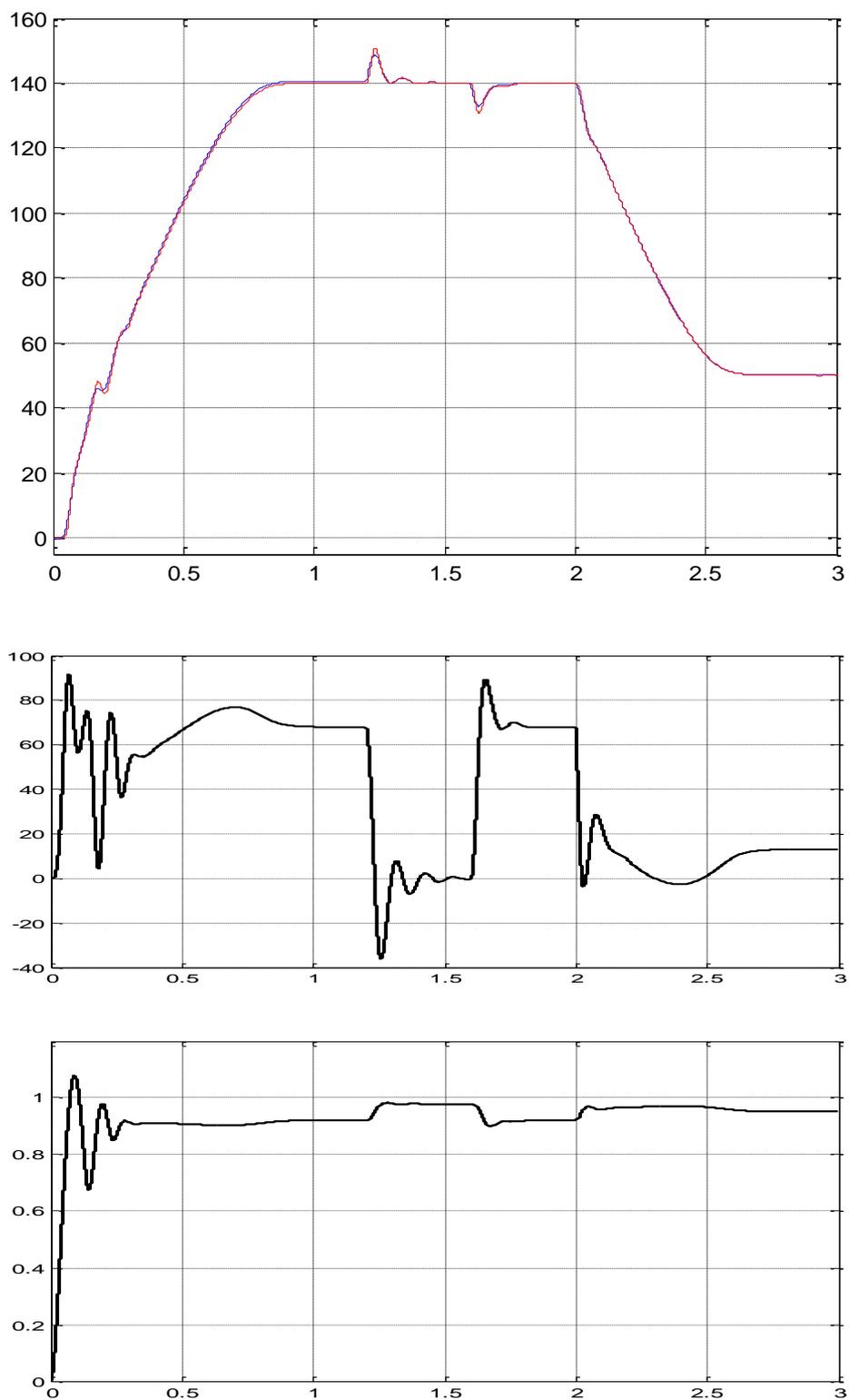


Рисунок 3 – Переходные процессы в частотном асинхронном ЭП с наблюдателем скорости

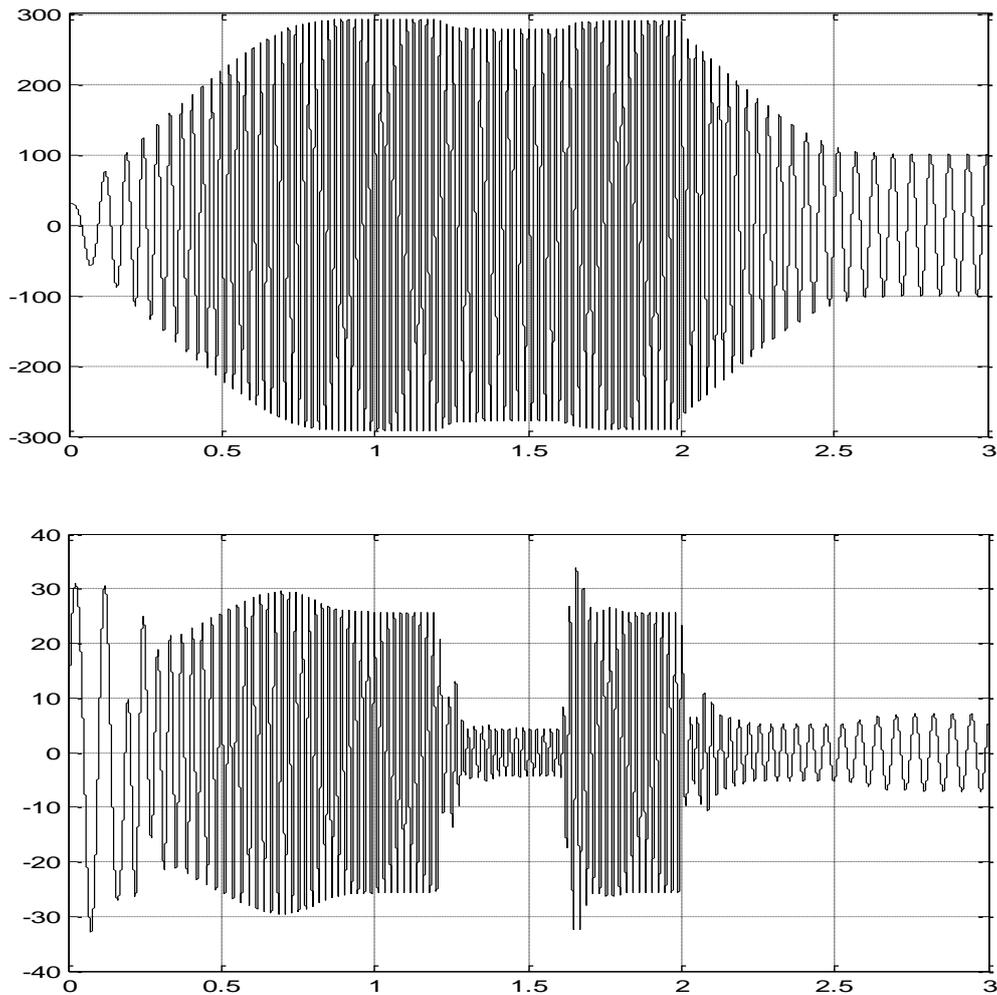


Рисунок 4 – Переходные процессы в частотном асинхронном ЭП с наблюдателем скорости (продолжение рисунка 3)

Представлены графики скорости  $\omega_r$ , оценки скорости  $\hat{\omega}_r$  наблюдателем, электромагнитного момента  $M_e$ , модуля вектора потокосцепления ротора  $\Psi_r$ , векторного произведения векторов  $\hat{\Psi}_r^R$  и  $\hat{\Psi}_r^S$ , напряжения  $U_{SA}$  и тока  $I_{SA}$  в фазе А статора. График синего цвета – скорость ротора  $\omega_r$ , а график красного цвета – вычисленная наблюдателем оценка скорости ротора  $\hat{\omega}_r$ , сигналом которой замыкается отрицательная обратная связь по скорости. На рисунках 1 и 2 показана оценка скорости ротора  $\hat{\omega}$  в электрических рад/с, которая связана с геометрическими рад/с следующим соотношением  $\hat{\omega} = N\hat{\omega}_r$ , где  $N$  – число пар полюсов АД.

Сперва осуществляется частотный пуск АД под нагрузкой до скорости 140 рад/с, далее нагрузка с вала АД снимается и через некоторое время вновь прикладывается, затем происходит торможение до скорости 50 рад/с. После возбуждения АД, когда потокосцепление  $\Psi_r$  выходит на установившееся значение, оно уже практически не зависит от режима скорости и нагрузки, меняясь незначительно. В переходных процессах векторное произведение  $\hat{\Psi}_r^R \times \hat{\Psi}_r^S$

отличается от нуля, что указывает на наличие ошибки оценивания скорости  $\hat{\omega} - \omega$ . В установившемся режиме векторное произведение  $\hat{\Psi}_r^R \times \hat{\Psi}_r^S$  обращается в нуль за счёт интегральной составляющей в регуляторе РНП, что указывает на отсутствие ошибки оценивания скорости, т.е. наблюдатель точно определяет скорость ротора. Процессы снятия и приложения нагрузки демонстрируют работу интегральной составляющей регулятора скорости РС. При сбросе нагрузки для стабилизации скорости на заданном уровне система управления работает так, что частота и величина питающего напряжения уменьшаются. При приложении нагрузки к валу АД для удержания скорости на уровне задания частота и величина питающего напряжения увеличиваются. Структура регулятора скорости РС на рисунке 2 такая, что на начальном этапе разгона или торможения, когда рассогласование  $\omega_0^* - \hat{\omega}$  большое, определяющее воздействие на формирование питающего напряжения оказывает пропорциональная составляющая с коэффициентом усиления  $K_1$ . В ходе переходного процесса рассогласование  $\omega_0^* - \hat{\omega}$  уменьшается и результирующий коэффициент усиления

интегральной составляющей регулятора скорости увеличивается (за счёт наличия блока деления), что обеспечивает выход скорости ротора на уровень задания без дотягивания.

**Выводы.** В статье на уровне функциональных блоков и алгоритмов управления регуляторов разработана замкнутая по скорости система частотно управляемого асинхронного электропривода, в которой вместо датчика скорости используется её наблюдатель. В разных режимах работы исследована динамика асинхронного электропривода замкнутого через наблюдатель скорости при переменном коэффициенте усиления интегральной составляющей регулятора скорости, который изменяется в функции ошибки регулирования.

#### Список литературы:

1. Попович М.Г., Лозинский О.Ю., Клепиков В.Б. Електромеханічні системи автоматичного

керування та електроприводи: Навч. посібник. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.

2. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока/ «Ивановский государственный энергетический университет». – Иваново, 2008.–298с.

3. Holtz J. Sensorless control of induction motor drives// Proc. of the IEEE.–2002.–V.90.–№ 8.–P. 1359-1394.

4. Пивняк Г.Г., Волков А.В. Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы с широтно-импульсной модуляцией. - Днепропетровск: НГУ, 2006. - 470с.

5. Александров А. Г. Оптимальные и адаптивные системы / А. Г. Александров. – М. : Высшая школа, 1989. – 264 с.

6. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник /А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.

*Маматов Ж.Ы., Кожобаев Ж.Ш.,  
Пазылов Ш.Т., Сыдыков Ы.К.*

*Кыргызская Республика,*

*Кыргызский государственный университет строительства,  
транспорта и архитектуры им. Н.Исанова*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ МАЛОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ИЗ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются модели малоэтажных зданий, построенных из местных материалов и причины повреждаемости и сейсмостойчивости.

**Abstract.** This article discusses models of low-rise buildings constructed from local materials and the causes of damage and earthquake resistance.

*Ключевые слова:* эксперимент, местные материалы, модель, деревянный и железобетонный каркасы.

*Keywords:* experiment, local materials, model, wooden and ferroconcrete frameworks.

### 1. Введение

Моделирование - это метод исследования строительных конструкций и сооружений на их моделях с использованием определенных законов подобия процессов и явлений, протекающих в натуральных конструкциях и в моделях. Моделирование является одним из широко применяемых методов исследования в современной мировой практике, т.к. использование для испытаний в исследовательских целях конструкций зданий натуральных размеров связано с большими материальными и трудовыми затратами. Поэтому испытания на модели или на разных моделях различными методами позволяют быстрее, всесторонне и более дешевым способом получить необходимые научные и практические результаты.

Как известно, Кыргызстан является сейсмически активной горной областью, расположенной на множестве тектонических разломов. Поэтому вполне объяснимо присутствие угрозы разрушительных землетрясений. Как показывают результаты исследований, подавляющая часть Кыргызстана подвержена 8-9-

балльным землетрясениям [1]. Поэтому очевидна необходимость в строительстве в таких условиях сейсмостойчивых жилых объектов.

В настоящее время на территории Кыргызстана сложились традиционные виды индивидуального жилищного строительства из грунтоблоков и самана-сырца. Оно широко практикуется как в сельской, так и в городской местности. В связи с этим актуальна необходимость разработки сейсмостойких конструктивно-планировочных решений жилых домов с использованием местных строительных материалов [2-5].

Анализ результатов последних землетрясений показывает, что частные дома, не отвечающие строительным нормам, разрушились и привели к тяжелым, трагическим последствиям. Например, произошедшее 5 октября 2008 года сильное землетрясение (8 баллов в эпицентре) в селе Нура Алайского района привело к большим человеческим жертвам и наглядно показало, что люди, в основном, не подготовлены к стихийным бедствиям. Практически все жилые дома, построенные преимущественно из глинистых

материалов и без соблюдения норм сейсмостойкости, полностью разрушены. Проведенное предварительное инженерное обследование разрушенных и уцелевших зданий в селе Нура показало, что в домах, возведенных с применением строительных изделий из глинистых материалов, не были соблюдены нормы сейсмостойкости. Здесь в основном здания возведены традиционным методом – с применением строительных изделий из глинистых материалов.

Заметим, что и процесс строительства новых жилых домов подобным способом производится и в жилмассивах г. Бишкек.

Более 65 % населения Кыргызской Республики составляют сельские жители. Из них свыше 90 % жильцов строят свои дома из местных материалов.

Использование глины в строительстве издревле практиковалось в странах с жарким и сухим климатом – в Египте, Иране, Турции, Китае и др. Как показывает исторический опыт, широкому распространению сооружений из глины способствовали легкость приготовления, доступность и повсеместность сырья, отсутствие транспортных расходов и дешевизна.

## II. Модели малоэтажных зданий, построенных из местных материалов и результаты экспериментов

Для изучения процессов повреждаемости малоэтажных зданий и сооружений при сейсмических воздействиях были проведены серии экспериментальных исследований, анализ причин повреждений. В течение 12 лет на кафедре «Проектирование, возведение зданий и сейсмостойкого строительства» КГУСТА им. Н. Исанова в лаборатории «Сейсмостойкое строительство» проводились лабораторные экспериментальные исследования несущей способности, сейсмостойчивости, характера

трещинообразования, механизма разрушения моделей стен построенных из местных материалов в зависимости от воздействия колебаний различных ускорений. В связи со сказанным были выделены четыре способа [2, 5, 7] строительства жилых домов из местных материалов, практически реализуемых на территории Кыргызстана:

1. Дома со стенами, сооруженными из глинобитного “сокмо” материала или пахсы, либо из различных глиняных кусков неправильной формы;

2. Дома со стенами, сооруженными из кладки сырого (необожженного) кирпича или блоков правильной формы;

3. Дома с деревянным каркасом с заполнением из глиняных материалов «сынчевые»;

4. Дома из железобетонного каркаса с заполнением из сырого кирпича или различных материалов из глины.

Остановимся подробно на анализе каждого вида:

“Сокмо” или “Пахса” – наиболее распространенный метод возведения стен при строительстве из материалов на территории Кыргызской Республики – глинобитная технология. При возведении глинобитной стены применяют специально сделанные формы, или опалубки с высотой 50-60 см. Кладка похожа на кладку кирпича-сырца, но соединение углов получается слабое. При возведении глинобитной стены применяют “сокмо” – глинобитные трамбовки. При сооружении этой модели использовали глину, хотя в большинстве случаев на практике используют почву, добытую в том месте, где строится дом или в его окрестности. Итоги эксперимента убедили, что модели домов, построенных по методу «сокмо» уже при 5-6-балльном (по показателю ускорения) землетрясении полностью рассыпаются (рис.1).



Рис. 1. Общий вид модели дома «сокмо» после эксперимента

*Пахса* – это часть глиняной стена высотой 50-60 см, возводимая с помощью специальных опалубок. Для её изготовления глиняная масса смешивается с заранее рассыпанной на ткани соломой. Далее, масса оборачивается в ткань, обкатывается и укладывается («гуаляк») по всему периметру здания рядами. Между установкой слоев должно пройти некоторое время, пока нижний слой не высохнет, затем ставится следующий слой.

2. Дома со стенами, сооруженными из «кирпича-сырца» и блоков правильной формы часто встречаются в сельской местности и новостройках в пригородах города Бишкек. Особенность стен такого типа состоит в том, что благодаря подгонке кирпичей и блоков в угловых соединениях не происходит оседания стен. Кладка при этом почти не отличается от кладки

обожженного кирпича. Данный тип стен возводится без соответствующего усиления, также как и предыдущий не является сейсмостойким. Для того, чтобы показать наглядно простой метод усиления таких стен, была построена масштабная модель дома на сейсмоплатформе КГУСТА им. Н. Исанова, причем заранее сделано сравнительно недорогое усиление. Основная особенность его состоит в укреплении изнутри и снаружи стены сетками из шнуров с поверхностным торкретированием песчано-цементной смесью. По результатам проведенного эксперимента получено, что у модели дома, воздвигнутого из кирпича-сырца с простым усилением, устойчивость к землетрясению заметно выше по сравнению с домом из простого «сокмо» (рис. 2).



*Рис. 2. Общий вид модели дома, из кирпича-сырца, после эксперимента*

На этом рисунке можно заметить множество полезных сторон усиленной модели, как, например, перетяжка сетки из шнуров и разбрызгивание песчано-цементной смеси под высоким давлением позволяет штукатурке цепляться к стене. При 6-7-балльном (по показателю ускорения) землетрясении штукатурка осталась прилипшей к стене и не отвалилась, что доказывает ее относительную устойчивость к землетрясению.

3. «Сынчевые» строения часто используются в большинстве населенных районов Средней Азии, например, в Баткенской области Кыргызской Республики и в приграничных с Баткенской областью районах Таджикистана [3-5, 7, 8, 10]. Деревянный каркас возводится для того, чтобы воспринимать нагрузку от крыши, дощатого потолка и теплоизоляционных материалов.

Поперечное сечение опорных столбов может быть прямоугольным или круглым. Для заполнения каркаса используется в основном «гуаляк». Подобные сынчевые дома могут быть рекомендованы как простые и надежные сооружения из местных материалов. Более того, этот тип домов может быть использован в качестве типового в сейсмоопасных зонах, а также как жилье для пострадавших от стихийных бедствий. Сечения опорных столбов из пиломатериалов должны иметь размеры: – 100×50 мм, 50×50 мм, раскосов – 50×30 мм (рис. 3), а лежень – 150×150 мм; 150×100 мм. Вместо брусев для опорных столбов могут быть взяты бревна кругового сечения диаметром 60-80 мм, которые после соответствующей обработки крепятся к фундаменту.



Рис. 3. Процесс возведения модели дома из деревянного каркаса “Сынч”

При заполнении каркаса необходимо заквасить (настоять) глину, подготовить опалубку нужного размера, добавить в глину различные добавки (например, солому), а затем залить густую массу по всему периметру и плотно утрамбовать. При заливке стены следует подождать, чтобы дать глиняному раствору высохнуть и затвердеть до определенной степени. Дома подобной конструкции считаются устойчивыми строениями к землетрясению сравнительно с другими постройками. Итоги экспериментов показали, что при 7, 8-балльном (по показателю ускорения)

землетрясении заполнение обвалилось, но деревянный каркас остался прочным и устойчивым (рис. 4). Подчеркнем, что при мощных землетрясениях для таких домов исключается возможность трагических последствий, а обвалившееся заполнение в дальнейшем несложно восстановить. Еще одно обстоятельство, которое следует напомнить – части таких домов, например фундамент и деревянные опоры или деревянные опоры и крыша должны соединяться и работать как единое целое.



Рис. 4. Общий вид модели дома типа “сынч”, после эксперимента

Дома этого типа, как правило, строятся на плохом фундаменте, поскольку камни укладываются на глиняном растворе, причем между фундаментом и заполнением каркаса нет связи. Поэтому между камнями вместо глины следует залить бетон, а фундамент должен быть связан с деревянным каркасом. Таким образом, внутрь фундамента необходимо уложить проволоку с выпуском длиной по 0,5 м. Шаг проволоки должен быть не более 1 метра, чем чаще, тем лучше. Лежень, установленный на фундаменте, также следует закрепить проволокой (рис. 3) диаметром 6 мм, либо анкерными болтами М 10-12 мм.

4. Дома из “железобетонного каркаса” с заполнением из сырого кирпича или различных материалов из глины используются, чаще всего, в новостройках вокруг города Бишкек и во многих других регионах. При строительстве домов

подобной конструкции, во-первых, при заливке фундамента необходимо вместе с бетоном заложить арматуру вертикальных колонн на углах (по четыре стержня в каждом углу), в проемах окон и дверей (по два стержня). Во-вторых, в местах пересечения стен, где имеются железобетонные включения, арматуру следует продолжить до уровня ригеля. Вместе с тем, через каждые 60 см в высоту должны выходить не менее двух стержней на месте соединения опор со стенами. В-третьих, в замоченную глину следует добавить солому, установить опалубку, с помощью которой делается один ряд стены высотой 60 см. Их следует связать с оставленными в опорах стержнями при помощи поперечных сетей. Таким же способом укладываются следующие ряды до уровня ригеля. Поверх железобетонных опор и воздвигнутой стены сооружается железобетонный круговой пояс (сейсмопояс). Далее, два арматурных стержня,

выступающие из фундамента по краям дверей и окон, надо вдеть в круговой пояс, поставить опалубку и залить бетоном (рис. 5). Этот элемент

называется монолитным или железобетонным сердечником [4-8, 10-12].



Рис. 5. Процесс возведения модели дома из “железобетонного каркаса”

По итогам экспериментов можно убедиться, что при 7, 8-балльном (по показателю ускорения) землетрясении, в доме, построенном с соблюдением всех строительных технологий и

способов, появились только трещины в штукатурке дома и в местах соединения глиняных стен с бетонными элементами на уровне подоконников и перемычек (рис. 6).



Рис. 6. Общий вид модели дома из “железобетонного каркаса”, после эксперимента

Очевидно, что дома подобной конструкции являются устойчивыми к землетрясению по сравнению с другими перечисленными тремя типами строений.

На практике в новостройках вокруг города Бишкек широко распространены дома с железобетонными опорами, промежутки между которыми заставлены большими сырыми блоками. Здесь не вполне соблюдаются строительные нормы и за сейсмостойкость таких зданий вряд ли можно поручиться. Кроме этого, встречаются дома с наличием горизонтального сейсмопояса, но без вертикальных колонн. Это естественно, грубое нарушение и бесполезное использование ресурсов. Главным для обеспечения сейсмозащиты три основные части здания (фундамент, стены и крыша) должны быть связаны между собой, чтобы во время землетрясения работать как единое целое. Неудачно возведенный сейсмопояс может даже усиливать разрушительный эффект землетрясения. В то же время есть здания, которые, имея колонны, сердечники и сейсмопояс, при низком качестве

бетона и слишком тонкой арматурой не могут обеспечить сейсмостойкость здания. Поэтому, застройщикам следует обращаться в местные органы архитектуры и к соответствующим проектирующим организациям за детальным проектом, а при строительстве строго выполнять проектные требования.

#### **Причины повреждений по результатам землетрясений, произошедших за последние годы в КР.**

В последние годы произошли десятки землетрясений силой более 6 баллов. Даже такие относительно небольшие землетрясения вызывают большие проблемы, примером служат произошедшие землетрясения:

В результате семибалльного землетрясения, в 2006 году было разрушено более 6 тыс. домов в Кочкорском районе Нарынской области (магнитудой 6,6 по шкале Рихтера), а также в Ноокатском, Карасууйском, Узгенском районах Ошской области в 2007 году (рис.7.).



Рис.7. Кочкорское землетрясения 2007г, с. Кара-Тоо, здание сельского клуба

Основными причинами повреждений фундаментов является отсутствие проведения инженерных изысканий, подготовка основания и проектов. Нарушение технологии работ при возведении фундаментов: значительное число зданий имеет бутовые фундаменты, выполненные с использованием глинистого раствора или фундаменты каменные на глинистом растворе, малая глубина заложения фундаментов, и наконец, отсутствие самого фундамента и т.д. Отсутствие фундаментов приводят глинистые стены к промоканию, с последующим отсыреванием их участков там, где к ним прилегают водосточные трубы или где с внутренней стороны установлены ванны, мойки, раковины.

2) В результате восьмибалльного землетрясения 5 октября 2008 года в Алайском районе Ошской

области (рис. 8) 75 человек погибли, более 100 были ранены, а также были разрушены 144 жилые дома, повреждены дороги.

В основном были дома со стенами, сооруженными из «кирпича-сырца» или блоков правильной формы, кладка стен зачастую выполняется без соблюдения должной системы перевязки швов. При этом должное заполнение вертикальных швов, также как правило, отсутствует. Здесь, в основном, здания возведены традиционным методом – с выполнением строительных элементов из глинистых материалов, точнее дома со стенами, выполненными из кладки сырого (необожженного) кирпича (рис.8). Основными причинами повреждений являются такие же причины, как отмечены выше в предыдущем примере.



Рис.8. Состояние домов после землетрясения в с. Нура -2008 г.

3) 20 июля 2011 года, село Кан Кадамджайского района Баткенской области силой 8 баллов по 12-балльной шкале MSK-64. Самый большой ущерб понес Узбекистан, где по оценкам МЧС погибли 13 человек, 86 гражданам была оказана первая медицинская помощь, а у нас в КР было зафиксировано частичное разрушение 83 зданий по Кадамджайскому району.

Результаты проведенного анализа в работе [9,

13] свидетельствуют о том, что Ферганский регион, являющийся одной из самых сейсмически активных территорий нашей республики, не раз испытал на себе разрушительные последствия катастрофических землетрясений, принесших этому краю огромный материальный и социальный ущерб (рис.9).

Повреждения являются следствием неправильной организации решетки сыневого

каркаса, отсутствия связевых брусов на уровне низа и верха оконных проёмов (перемычек), шарнирно-подвижных соединений (не воспринимающих горизонтальные сейсмические воздействия) стоек каркаса с несущими балками покрытия.

При этом, отметим, как при недавних землетрясениях, так и датирующихся более

ранними периодами времени, наиболее уязвимыми в сейсмическом отношении объектами, получающими наиболее тяжелые повреждения, являлись и являются индивидуальные жилые здания, возведённые частными застройщиками [7, 13].



*Рис. 9. Повреждения стен сынчевых зданий при землетрясении 20.07.2011 г.*

4) 28 января 2013 года несколько районов Иссык-Кульской области, сила толчков достигла 6,5 балла по шкале MSK-64, эпицентр находился в Казахстане в 100 километрах от города Чолпон-Ата. В Тюпском районе пострадало 103 жилых домов.

14 ноября 2014 года поселок Каджи-Сай Тонского района Иссык-Кульской области, по данным МЧС, эпицентр землетрясения силой 7 баллов произошёл в 17 километрах северовосточнее от поселка Каджи-Сай и в 60 километрах от села Тон.

17 ноября 2015 года в селе Чайчи сельского округа Кызыл-Суу Кара-Сууйского района сила толчков во время ночного землетрясения составила 7 баллов. По данным Института сейсмологии НАН КР магнитуда землетрясения составила 6,4. После происшествия, Комиссия по гражданской защите Ошской области обследовала 3381 жилых домов, из которых разрушения I степени зафиксированы в 897 домах, II — 1401 доме, III — 856 домах и IV — 227 домах, 570 домов признаны аварийными в селах Ошской области (рис. 10).



Рис.10. Состояние домов после землетрясения в Карасууйском районе -2015г.

Анализ результатов вышерассмотренных землетрясений показывает, что большинство частных домов, не отвечающие строительным нормам, разрушились и привели к тяжелым, трагическим последствиям. Также практически во всех приведенных примерах основные причины повреждений являются одинаковыми, в заключительной части, подробно остановимся на отдельные виды конструкции зданий.

#### Заключение

По результатам экспериментальных исследований представленных конструкций домов можно сделать условный пьедестал сейсмостойчивости, учитывающей экономическую составляющую, технологию возведения и устойчивость к землетрясениям:

– на первом месте – дома с “железобетонным каркасом” – каркасы домов такой структуры принимают на себя всю нагрузку в том случае, если рекомендованные строительные технологии (способы) будут соблюдены. Вместе с тем, немного увеличив бюджет, можно поставить в проемы всех дверей и окон железобетонные сердечники, соединив их между собой фундаментом и сейсмопоясом. Стену с двух сторон необходимо усилить сеткой и прочно связать с железобетонными колоннами и сердечниками, покрыв раствором;

– на втором месте - дома типа «сынч» – каждый элемент таких домов хорошо взаимосвязан с другими элементами и работает с ними в единстве. Дома такого типа строятся легко и быстро по сравнению с другими и не требуют лишних транспортных расходов; поэтому могут быть рекомендованы для возведения в зонах, подверженных опасности возникновения землетрясений;

– на третьем месте – дома со стенами, сооруженными из необожженного кирпича или блоков правильной формы, а также пахса дома; особенность стен домов такого типа состоит в том, что в местах соединения углов кирпичи или блоки подгоняются друг к другу крест-накрест, тем самым не позволяя стенам разойтись, да и устойчивость кирпичных стен намного превосходит характеристики других материалов, изготовленных из глины. А пахсевые дома

сохраняют относительную устойчивость вследствие того, что по всему периметру осуществляется кладка с добавлением различных связующих добавок, что создает единую монолитную конструкцию. Если стену с двух сторон усилить (укрепить), покрыв сеткой и сверху под сильным давлением разбрызгать песчано-цементный раствор (штукатурку), то такие дома могут отнесены ко второму типу;

– на четвертом месте – дома со стенами, сооруженными из глинобитного материала или различных грунтовых (глиняных) кусков неправильной формы. Причинами того, что такие дома часто подвергаются разрушению являются несвязанность несущих конструкций между собой, отсутствие антисейсмических мероприятий и, естественно, неправильная эксплуатация домов.

По результатам проведенного анализа свидетельствуют о том, что основными причинами повреждений и разрушений малоэтажных зданий, построенных из местных материалов, явилось низкое качество строительных материалов и проведенных строительно-монтажных работ, их неудовлетворительное состояние, отсутствие достаточной связи элементов конструкций и низкая способность сопротивляемости сейсмическим воздействиям. Наиболее уязвимыми в сейсмическом отношении объектами, получающими наиболее тяжелые повреждения, являлись и являются индивидуальные жилые здания, возведенные частными застройщиками из местных материалов.

А) Основными причинами дефектов и повреждений фундаментов являются:

- ✓ отсутствие проведения инженерных изысканий и проектирования;
- ✓ отсутствие технологии работ при подготовке основания;
- ✓ нарушение технологии работ при возведении фундаментов: малая глубина заложения фундаментов; нарушение наружного водоотвода.
- ✓ фундаменты каменные или бутовые на глинистом растворе;
- ✓ трещины, сколы, изломы и вывалы в теле фундаментов;
- ✓ отсутствие достаточной связи элементов конструкций с фундаментом;

✓ отсутствие фундамента, имитация снаружи бетонными обманками.

*Б) Основными причинами повреждений глинистых стен являются:*

✓ отсутствие фундамента или недостаточность высоты фундамента;

✓ промокание стен, с последующим увлажнением, отсыреванием стен, участков там, где к ним прилегают водосточные трубы или где с внутренней стороны установлены ванны, мойки, раковины;

✓ отсутствие надежной связи между отдельными конструкциями, такого, как фундамент - стена, стена с покрытием трещины;

✓ низкое качество строительного материала: искривление, отклонение стен от вертикали, низкая прочность, также глина сама по себе является рыхлой, с сыпучей основой;

✓ неудовлетворительные условия эксплуатации (отсутствие отмостки): замачивание и увлажнение; агрессивное воздействие окружающей среды и т.п.;

✓ отсутствие или нарушение гидроизоляции стен;

✓ отсутствие или разрушение карнизов, водосточных труб и др.

*В) Основными причинами повреждений кровли, крыши и покрытий, а также причины их возникновения в зависимости от применяемых материалов:*

✓ *Покрытия из асбестоцементных и волнистых листов:*

✓ механическое воздействие на лист; воздействие низких температур, сильного ветра, льда;

✓ старение материала; механические воздействия; окрашивание материала в местах забивки гвоздей;

✓ срыв листов сильным ветром и воздействием отсоса; смещение листов из ряда по причине некачественного закрепления;

✓ *Покрытия из листовой стали:*

✓ недостаточное обжатие (уплотнение) отгибов в фальцах; малый отгиб имеет высоту менее 20 мм; прогибы по длинной стороне картины; коррозионное разрушение металла в фальцах;

✓ воздействие сильного ветра: воздействие сил отсоса при сильном ветре; отсутствие кляммеров; неудовлетворительное закрепление кляммеров к обрешетке, некачественные фальцы;

✓ протечка кровельного покрытия: задувание снега на чердак и его таяние.

✓ *Покрытия с глиняными кровлями:*

✓ за период длительной эксплуатации зданий при выполнении ремонта, на покрытиях зданий с течением времени образовывался довольно внушительный слой глиноматериалов (иногда более 0.5 м), имеющий довольно значительную массу;

✓ то же самое следует отметить и об отсутствии должной связи на уровне перекрытий с основными несущими конструкциями домов;

✓ огромная масса перекрытий в таких зданиях, приводит к ускорению сейсмического толчка, и происходят разрушения.

Покрытия с глинистыми кровлями послужило причиной большинства жертв, принесенных землетрясением 20 июля 2011 года в селе Кан Кадамжайского района.

Выражаем благодарность Благотворительному Общественному Фонду «Хабитат–Кыргызстан» за оказанную материальную помощь при проведении экспериментов.

#### Список литературы

1. СН КР 20-02:2018. Сейсмостойкое строительство. Госагенство АСЖКХ при Правительстве КР, Бишкек, 2018.

2. Маматов Ж.Ы. Жергиликтүү материалдар менен коопсуз үйлөрдү тургузуу. – Бишкек: Аль Салам, “Хабитат–Кыргызстан” Кайрымдуулук Коомдук Фонду, 2012. – 80 б.

3. Маматов Ж.Ы. Отчет по визуальной оценке безопасности целевых дошкольных учреждений в Баткенской области / Проект ЮНИСЕФ. – Бишкек, 2011.

4. Маматов Ж.Ы. Жергиликтүү материалдар менен салынган үйлөрдү күчтөндүрүү. / Научный и информационный журнал “Материаловедение” № 1.– 2013, Труды I Международной межвузовской научно-практической конференции (16-17 мая, 2013). – Бишкек: С. 286-293.

5. Маматов Ж.Ы. Моделирование и экспериментальный анализ жилых зданий из местных материалов. / Science, technology and life-2015. Proceedings of materials the international scientific conference. // Czech Republic, Karlovy Vary-Russia, Moscow, 24-25 December 2015, 131-143 p.

6. Ордобаев Б.С., Маматов Ж.Ы., Кенжетаев К.И., Кожобаев Ж.Ш., Матозимов Б.С., Орозалиев Б. Рекомендации по расчету, проектированию и усилению жилых домов из саманно-сырцово-кладки в сейсмических районах КР / Учебное пособие. – Бишкек, 2011.

7. Маматов Ж.Ы. Коопсуз үйлөрдү тургузуу жана тургузулган үйлөрдү бекемдөөнүн ыкмалары / Учебное пособие // - Бишкек, Полиграфбум-ресурсы, МОиН КР 2017, -164с.

8. Маматов Ж.Ы. Некоторые вопросы к теории повреждаемости жилых зданий из местных материалов / Znanstvena misel journal, №20, 2018, vol.1, Slovenia, –стр. 42-45

9. Рашидов Т.Р., Маматов Ж.Ы. Результаты оценки степени сейсмической повреждаемости объектов частной жилой застройки. / Евразийских союз ученых (ЕСУ), №6, (63)/2019, часть 1, - стр. 33-37.

10. Маматов Ж. Ы., Кожобаев Ж. Ш., Матозимов Б. С., Ордобаев Б. С. Процессы разрушения малоэтажных зданий при землетрясении и проведении эксперимента на сейсмоплатформе КГУСТА им. Н. Исанова. /

Узбекский журнал. Проблемы механики / 2/2016, Ташкент, 2016, -стр.135-140.

11. Маматов Ж.Ы. Исследование повреждаемости жилых зданий из местных материалов в рамках статистического подхода./ Вести МУИТ № 3/2017(3), Научный и информационный журнал "Наука и инновационные технологии", -Бишкек, 2017, -стр. 169-172.

12. Маматов Ж. Ы., Кожобаев Ж.Ш., Сыдыков Ы.К. Экспериментальные исследования модели усиленного дома из местных материалов

КР./ Вестник КГУСТА №3 (65) 2019, -Бишкек, 2019, -стр. 489-496.

13. Рашидов Т.Р., Кондратьев В.А., Нишонов Н.А. Основные результаты исследований по программе «Оценка технического состояния объектов частной жилой застройки ферганской долины и разработка рекомендаций по обеспечению и повышению их сейсмостойкости (по последствиям прошедших и Ферганского 2011 г. землетрясений)» /Вестник 1(51) КГУСТА им. Н. Исанова, Бишкек, 2016, -стр. 270-2775.

УДК 621.311

**Наумов<sup>1,2</sup> И.В.**

*засл. раб. ВШ РФ, д.т.н., профессор;*

**Карамов<sup>1,3</sup> Д.Н.**

*доцент, к.т.н.*

<sup>1</sup>ФГБОУ «Иркутский национальный исследовательский технический университет», ул. Лермонтова 83, 664074, г. Иркутск, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ «Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского», пос. Молодежный 1/1, 664038, г. Иркутск, Россия

<sup>3</sup>ФГБНУ «Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН», ул. Лермонтова 130, 664058, г. Иркутск, Россия

## ОТКАЗЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ОБЛКОММУНЭНЕРГО ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ В 2018 ГОДУ

**I.V. Naumov<sup>1,2</sup>**

*honor.work. Higher School of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor;*

**D. N. Karamov<sup>1,3</sup>**

*associate Professor, Ph.D.*

<sup>1</sup>FSBEI "Irkutsk national research technical University", 83 Lermontov str., 664074, Irkutsk, Russia

<sup>2</sup>FSBEI Irkutsk state agrarian University named after A. A. Ezhevsky, village Youth 1/1, 664038, Irkutsk, Russia

<sup>3</sup>FSBSI "L. A. Melentyev Institute of energy systems SB RAS", 130 Lermontov str., 664058, Irkutsk, Russia

## FAILURES IN ELECTRICAL NETWORKS OBLKOMMUNENERGO OF THE IRKUTSK REGION IN 2018

**Аннотация.** Рассмотрена работа филиалов электрических распределительных сетей Облкоммунэнерго Иркутской области за 2018 год. Приведена характеристика энергоснабжающей компании, ее цели и назначение, освещены данные о балансе электроэнергии, износе основного оборудования и проведении текущих ремонтных работ. На основе данных, опубликованных в открытой печати с помощью составленных программ и использовании графического редактора *Matlab* построены временные диаграммы изменения количества отказов, времени перерыва электроснабжения, а также величины недоотпуска электрической энергии по месяцам 2018 года в электрических сетях каждого из десяти филиалов компании. Произведен анализ и дана характеристика надежности электроснабжения рассматриваемых электрических сетей, показателей средней продолжительности прекращения передачи электрической энергии, уровня качества оказываемых услуг и уровня качества осуществляемого технологического присоединения. Рассмотрены основные причины отказа оборудования. Представлены характеристики по совершенствованию функционирования рассматриваемых электрических сетей.

**Annotation.** The work of branches of electric distribution networks of Oblkommunenergo of the Irkutsk region for 2018 is considered. The characteristics of the power supply company, its goals and purpose are given, data on the balance of electricity, wear of the main equipment and ongoing repair work are highlighted. Based on the data published with compiled programs and use the graphical editor of the Matlab built timing charts of the change in the number of failures, time of interruption and the magnitude of undersupply of electric power by months of 2018 in the electric grids of each of the ten branches of the company. The analysis and the characteristic of the reliability of power supply under consideration of electrical networks, average duration of interruption of

electric energy, the level of quality of services and the quality of technological connection. The main causes of equipment failure are considered. The characteristics of improving the functioning of the considered electric networks are presented.

*Ключевые слова:* отказы, время перерыва электроснабжения, недоотпуск электроэнергии, старение и износ оборудования.

*Key words:* failures, power supply interruption time, power undersupply, equipment aging and wear.

Областное государственное энергетического предприятия «Энергоснабжающая компания по эксплуатации электрических сетей «Облкоммунэнерго» (ОКЭ) представляет собой сетевую организацию, обеспечивающую эксплуатацию и ремонт электросетевого хозяйства на территории Иркутской области. На конец 2018 года структура электрических сетей всех филиалов ОКЭ включала следующие элементы<sup>1</sup>. Воздушные ЛЭП всего - 7 581,41 км (уменьшение к 2017 г – 19,23 %), в том числе: ВН - 158,66 км (осталось на прежнем уровне); СН - 2 334,18 км (уменьшились на 27,35%); НН - 5088,57 км (уменьшение к 2017 году составило 15,4%). Кабельные линии, всего 1909,75 км, в т.ч. ВН – нет; СН - 916,07 км (протяженность увеличилась на 1,02%); НН - 1026,09 км (увеличение на 03%). Трансформаторные подстанции 6-10 кВ – 1558,75 МВА (увеличение на 1,91%); 35 кВ – 239,54 МВА (увеличилось на 13,76%); 110 кВ – 19,4 МВА (увеличение на 18,29%). К сетям «Облкоммунэнерго» подключено более 390 тысяч потребителей как физических, так и юридических лиц, в том числе бюджетных организаций. Отпуск электроэнергии в сеть на конец 2018 года составил 3 988 066,777 кВт.ч (увеличение 4,6%), в том числе по сетям ВН - 1 980 970,532 кВт.ч (увеличение на 4,45%); СН - 2 005 014,044 кВт.ч (увеличение на 4,73%); НН - 2 082,201 кВт.ч (увеличение на 49,14%). Отпуск электроэнергии из сети, всего - 3 202 483,801 кВт.ч. (уменьшение на 19,7%), из них: ВН - 29026,920 кВт.ч (уменьшение на 40,4 5); СН - 824 119,498 кВт.ч (увеличение на 11,27%); НН - 2 349 337,384 кВт.ч. Потери электроэнергии всего составили 785 582,976 кВт.ч (увеличились на 4,11%), в том числе по электрическим сетям: ВН – 45 245, 377кВт.ч (2,28%, в 2017 - 0,14 %); СН – 398032,347кВт.ч (11,38 % в 2017 - 3,01%); НН – 342 305,253 кВт.ч. (12,72%, в 2017 - 22,10 %).

По данным [1] в России средний возраст оборудования электрических сетей составляет 34 года, а возраст 30% этого оборудования достигает 45 лет. И, даже несмотря на то, что аварийные отказы удалось за последние 5 лет снизить на 20 % за счет обновления сетевой инфраструктуры, а по итогам 2019 г. удельная аварийность электрических

сетей снизилась еще на 12%, проблема старения оборудования по-прежнему стоит очень остро.

Ежегодно, каждый филиал ОКЭ предоставляют отчетность о работе своего подразделения по следующим вопросам: баланс электрической энергии (отпуск электроэнергии в сеть и ее отпуск из сети), информацию об объектах электросетевого хозяйства, износ основных фондов, выполнение плана ремонта основных фондов, фактические и плановые значения показателей надежности и качества услуг на каждый расчетный период регулирования в пределах долгосрочного периода регулирования, а также сведения об отказах электроснабжения и их последствиях. Согласно исходной информации, планировалось отремонтировать в 2018 году 193,431 км воздушных и кабельных ЛЭП напряжением 0,38кВ; 10 кВ – 18,3 км; 35 кВ - 4,29 км; ЛЭП. По факту, на конец 2018 года отремонтировано: 0,38 кВ - 47,69 км (не выполнение плана – 74,39%); 6-10 кВ – 1, 68 км (недовыполнение – 90,8%); ЛЭП 35кВ – 2,21км (недовыполнение – 51, 5%). Вместе с этим, отремонтировано 34 трансформаторных подстанций 6-10/0,4 кВ, что не предусматривалось планом ремонта. При этом, износ всех ВЛЭП составил 87% (увеличение к 2017 году составило +6,25%); износ оборудования ТП – 81% (снижение за счет ремонта на 4%). Следует иметь в виду, что результаты по износу оборудования в значительной степени отличаются от старения. Старение это постепенное снижение физико-химических свойств объекта без учета влияния режима его работы. При износе же режим работы оборудования имеет непосредственное значение на снижение его свойств до достижения предельного состояния.

В большинстве стран для оценки уровня надежности электроснабжения Международным институтом инженеров по электротехнике и электронике (IEEE) устанавливаются специальные индексы, характеризующие связь между количеством (продолжительностью) возникших отказов и количеством потребителей, подключенных к шинам центров питания<sup>2</sup>. По оценкам экспертов, среднее значение этого показателя для ряда европейских стран колеблется

<sup>1</sup> <https://xn--38-9kciij3agjakafdg2a8b2l.xn--p1ai/about/statistics/technicalstate/>. Дата обращения 26.12.2020 г.

<sup>2</sup> SAIFI- средний индекс частоты прерывания системы; SAIDI- показатель средней продолжительности прекращения передачи электрической энергии; CAIDI- индекс средней продолжительности прерывания потребителя;

СТАИДИ- индекс общей средней продолжительности прерывания работы потребителя; CAIFI- средний индекс частоты прерываний потребителей; ASAI- средний индекс доступности услуг. Следует отметить, что в г. Минске за 2019 г. SAIFI составил 0,5635, SAIDI - 0,5271.

от 0,2 до 4,35. Например, индекс надежности энергосистем в следующих странах имеет средние значения: Австрия – 0,73; Великобритания – 0,53; Германия – 0,51; Норвегия – 1,59; Финляндия – 1,42 [2,3].

В соответствии с Приказа Министерства энергетики РФ от 29 ноября 2016 г. № 1256 “Об утверждении Методических указаний по расчету уровня надежности и качества поставляемых товаров и оказываемых услуг для организации по управлению единой национальной (общероссийской) электрической сетью и территориальных сетевых организаций”<sup>3</sup> показатель средней продолжительности прекращений передачи электрической энергии в каждом расчетном периоде регулирования в пределах долгосрочного периода регулирования (Пп) определяется по формуле:

$$Пп = Тпр / Nтп,$$

где Тпр - фактическая суммарная продолжительность всех прекращений передачи электрической энергии в отношении потребителей услуг сетевой организации за расчетный период регулирования, час; Nтп - максимальное за расчетный период регулирования число точек

присоединения потребителей услуг сетевой организации к электрической сети сетевой организации, шт.

Для электрических сетей ОКЭ по плану на 2018 год показатель Пп должен был составлять 0,0064. Фактически, по итогам 2018 года этот показатель составил 0,0031. Как видно, основной показатель, характеризующий уровень надежности электроснабжения потребителей, фактически снизился (в сравнении с планом более, чем в 2 раза), а по сравнению с 2017 годом (0,0055) в 1,77 раза. Это свидетельствует о значительной проведенной работе в сетях филиалов за год. Кроме того, по установленным показателям уровня качества оказываемых услуг и уровня качества осуществляемого технологического присоединения (Птпр и Птсо) информация следующая: планировалось удерживать эти показатели на уровне: 1,0000 и 0,8975, соответственно). Фактически значение этих показателей составило 1,0000 и 0,8756<sup>4</sup>. Для более наглядной картины отключений в электрических сетях ОКЭ проанализируем результаты отказов, происшедшие в электрических сетях филиалов ОКЭ в 2018 г.

Информация по функционированию рассматриваемых электрических сетях получена из годовых отчетов ОКЭ<sup>5</sup>.

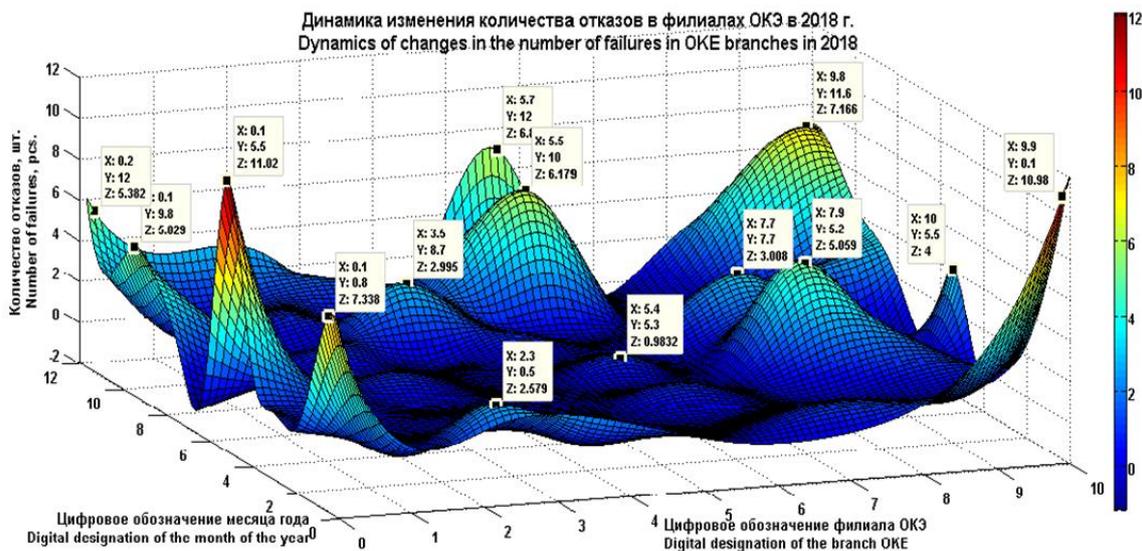


Рисунок 1. Временная диаграмма изменения количества отказов по филиалам ОКЭ в 2018 году  
Figure 1. Time chart of changes in the number of failures by OKE branches in 2018

3

<https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71478114/#131210>. Дата обращения 29.12.2020 г.

<sup>4</sup>В соответствии с <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71478114/#131210>, значение показателя Птпр=1 – является не улучшаемым значением.

<sup>5</sup> Информация взята из официального сайта: <https://irkobl.ru/sites/gkh/about/podvedomstva/OblKommunEnergo/?print=y>. Дата обращения 26.12.2020 г.

<sup>5</sup> Информация взята из официального сайта: <https://irkobl.ru/sites/gkh/about/podvedomstva/OblKommunEnergo/?print=y>. Дата обращения 26.12.2020 г.

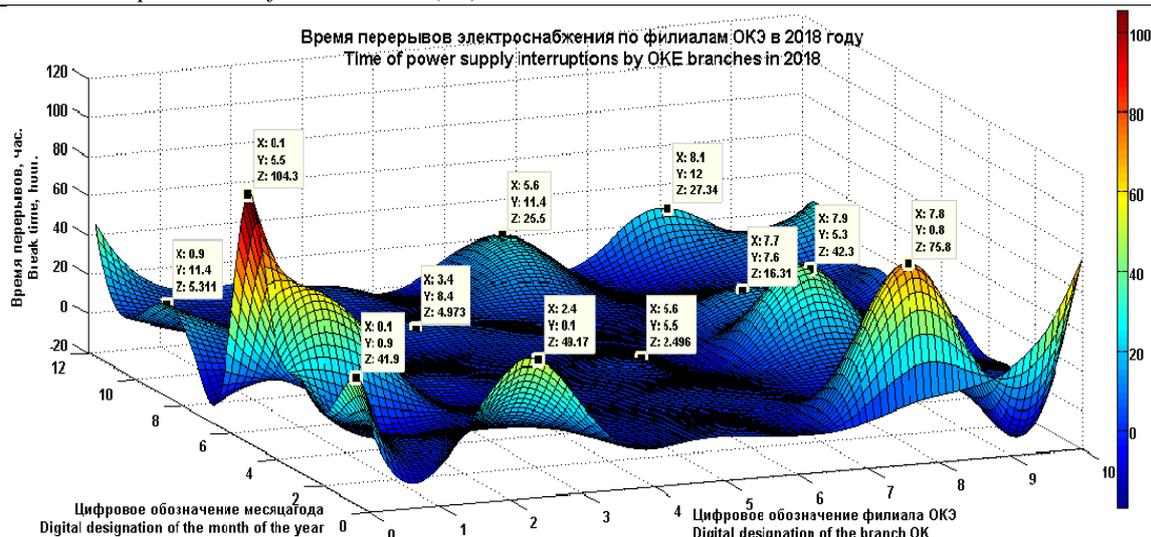


Рисунок 2. Временная диаграмма изменения времени перерыва электроснабжения в электрических сетях филиалов ОКЭ в 2018 году  
 Figure 2. Time diagram of changes in the time of power supply interruption in the electric networks of OKE branches in 2018

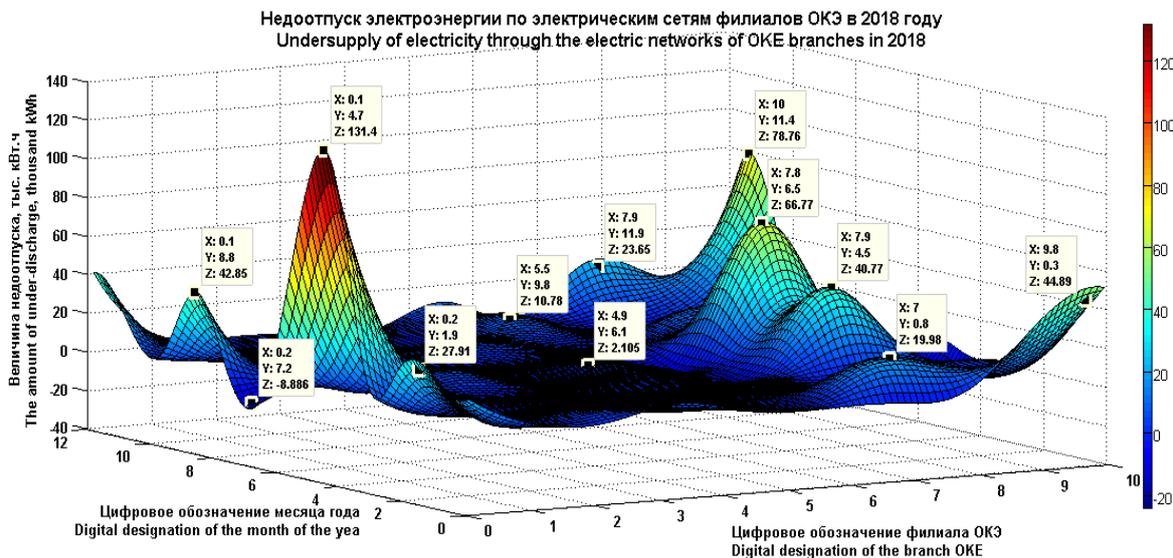


Рисунок 3. Временная диаграмма изменения величины недоотпуска электрической энергии в сетях филиалов ОКЭ в 2018 году  
 Figure 3. Time diagram of changes in the amount of electrical energy undersupply in the networks of OKE branches in 2018

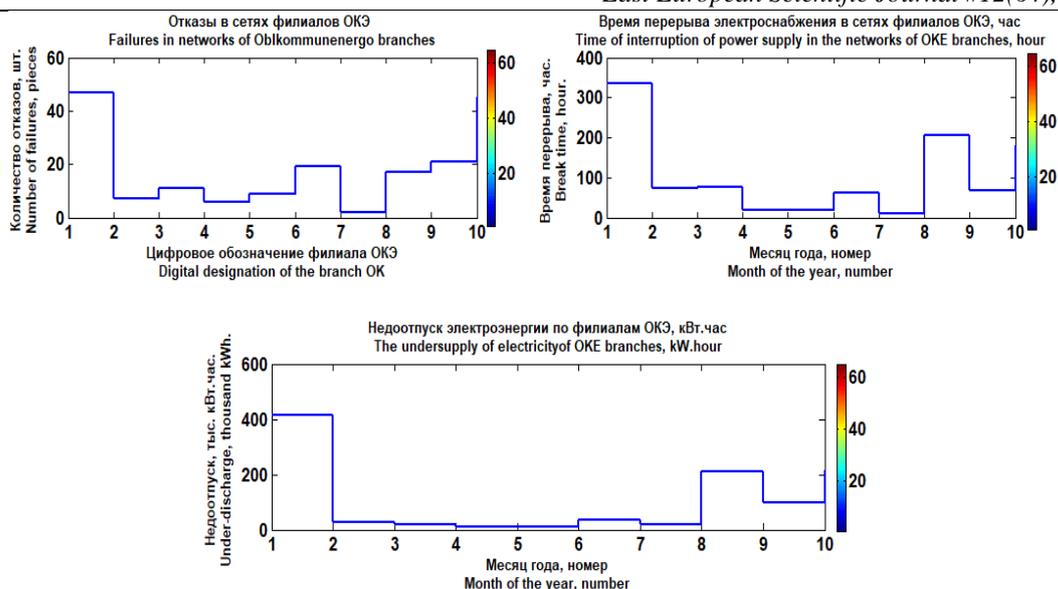


Рисунок 4. Диаграмма изменения общего количества отказов по филиалам ОКЭ и их последствия в 2018 году

Figure 4. Diagram of changes in the total number of failures by OKE branches and their consequences in 2018

В соответствии с полученной информацией по отказам и их последствиям, составлены алгоритм и программа для графического редактора *Matlab*, в соответствии с которыми получены диаграммы изменения количества отказов по месяцам года (рисунок 1), изменения времени перерывов электроснабжения (рисунок 2) и изменения величины недоотпуска электроэнергии в сетях филиалов ОКЭ (рисунок 3).

На рисунках 1-3 по оси X расположено цифровые обозначения филиалов электрических сетей ОКЭ, соответственно: 1 – Ангарский, 2 – Черемховский, 3 – Саянский, 4 – Нижне-Удинский, 5 – Тайшетский, 6 – Усть-Кутский, 7 – Киренский, 8 – Мамско-Чуйский, 9 – Усть-Ордынский, 10 – Иркутский.

Анализ представленных временных диаграмм (рисунки 1-3) показал следующее. Общее количество отключений по 10 филиалам составило 184. Это вдвое больше, чем количество отключений в 2017 году (91). Наиболее повреждаемыми являются электрические сети Ангарского филиала (47). На их долю приходится 25,5 % всех отключений, причем наибольшее количество отказов приходится на июнь месяц (23,4 %). При этом общее время перерыва электроснабжения в этом филиале сетей составило более 336 часов, а недоотпуск 415430 кВт.ч. Другими филиалами ОКЭ, электрические сети которых наиболее подвержены повреждениям, являются сети Усть-Ордынского и Иркутского филиалов (11,41 и 24,46 % всех повреждений). Общая величина недоотпуска на сети Ангарского, Усть-Ордынского и Иркутского филиалов составила 727080 кВт.ч. (68,5%). Наименее повреждаемыми являются

электрические сети Киренского филиала ОКЭ. За 12 месяцев 2018 года в них произошел только два отказа продолжительностью 10 часов, за которые произошел недоотпуск 18960 кВт.ч электроэнергии. Общему количеству (184) отказов по электрическим сетям десяти филиалов (перерыв составил 1046 часов) соответствует недоотпуск 1061450 кВт.ч электроэнергии. При средней стоимости электроэнергии в 2018 году 1,06 руб. для городского населения (для сельского населения 0,742 руб.) за 1 кВт.ч<sup>6</sup> общий ущерб от недоотпуска составил 1 125 137 руб.

Причины отказов весьма разнообразны. Как правило, в журналах регистрации отказов ВЛЭП, фиксируются следующие повреждения: нарушения в сетях потребителей, повреждение изоляторов, повреждение проводов, разрядников, опор ВЛЭП; ветровая нагрузка, снег, гололед, перекрытие изоляции и другие. Наибольшее количество отключений в странах ЕС происходит по причинам повреждения оборудования (26,5% от общего числа повреждений) и повреждения в сетях потребителей (16, 5%). В частности, в Финляндии при повреждении ЛЭП этого класса напряжения основными причинами являются: снеговая нагрузка (35%), падение деревьев (27%), перенапряжения (6%). В Северной Америке на долю повреждений при «неблагоприятной погоде» (дождь, снег, лед) приходится до 60%, падение деревьев 19%, неисправность оборудования 14%, молниевые разряды 9%, по неустановленным причинам 17%. В штате Массачусетс отказы, вызванные влиянием на ЛЭП деревьев распределены таким образом: 63% от сломанных ветвей (которые, падая на провода ЛЭП, приводят

<sup>6</sup> <https://sbyt.irkutskenergo.ru/qa/6604.html>. Население, проживающее в городских населенных пунктах в домах, оборудованных в установленном

порядке стационарными электроплитами и (или) электроотопительными установками, и приравненные к ним (одноставочный тариф).

к замыканиям), 11% от упавших деревьев, 2% от разрастания деревьев [4].

В России отключения в сетях этого класса напряжения обусловлены следующими причинами: повреждение в сетях потребителя около 11%; обрыв провода до 42%, повреждение предохранителей 6%, повреждение коммутационной аппаратуры более 7% [5]. Ситуация с отказами в ЛЭП также во многом зависит от климатических особенностей территорий, по которым трассируются эти ВЛЭП. Информация по соответствующим показателям надежности для воздушных линий электропередачи 6-10 кВ России, которые являются самыми протяженными, и, в основном, самыми повреждаемыми, очень различается. Это связано с территориальными и климатическими особенностями регионов, по которым эти ЛЭП проходят. В [6] утверждается, что 54,0% всех отключений связано с динамическим поведением проводов при воздействии ветровых и гололедно-ветровых нагрузок. Эти отключения вызваны одним из следующих повреждений: обрыв провода (24,9%) или проволочной вязки провода к изолятору (9,8%), пережоги проволочек проводов при их опасных сближениях и склестываниях (17%), срыв изолятора с крюка или штыря (2,3%). дополнительное техническое обслуживание и ремонт, усиленный контроль технического состояния, техническое перевооружение. Критическое состояние имеет физический износ более 0,75. При этом эксплуатация таких ВЛЭП недопустима. Требуется срочное воздействие на оборудование.

В качестве примера причин повреждений непосредственно в сетях филиалов ОЭК рассмотрим отказы, произошедшие в июне месяце 2016 г. (рисунок 5).

Анализ диаграммы (рисунок 5) показал следующее. 1 отказ произошел в 17-30 час (по Иркутскому времени) 30 мая и продолжался до 18-50 час 1 июня общей продолжительностью 26 ч. Отказ произошел из-за аварийного отключения ВЛ-35кВ «Слюдянка-Луговский» в результате обрыва ЛЭП, без централизованного электроснабжения был п. Луговский, п. Согдиондон. Недоотпуск электроэнергии составил 7,5 тыс. кВт.ч, а материальный ущерб – 9 тыс. руб. Второй крупный отказ произошел в 11:20 3 июня и продолжался до 24:00 30 июня. Перерыв электроснабжения продолжался 648 часов из-за аварийного отключения ВЛ-35кВ «Мусковит-Слюдянка» в Мамско-Чуйском филиале ОКЭ. Отключение произошло вследствие торнадо, шквалистого ветра, в результате чего произошло обрушение ЛЭП. В результате без централизованного электроснабжения остался поселок Согдиондон. В поселке работала ДЭС. Общий недоотпуск составил 56,5 тыс. кВт.ч, материальный ущерб – около 68000 руб. Четыре последующих отказов произошли в период других отказов произошли с 3 по 19 июня в сетях 10 кВ в Черемховском, Тайшетском и Иркутском филиалах. Общая продолжительность составила 57 часов, недоотпуск – 22 тыс. кВт.ч. Материальный ущерб составил 27 тыс. руб. Причинами стали: повреждение разъединителя, обрыв провода и падение дерева (2 случая). Последний, 7 отказ произошел в электрических сетях Ангарского филиала ОКЭ. Причина – выход из строя силового трансформатора 35 / 6 кВ. Вследствие замены трансформатора без электроснабжения в течении 12 часов остались три садоводства, деревня и оздоровительный лагерь, недоотпуск энергии составил 50,3 кВт.ч, материальный ущерб 60.4 тыс. руб.

Отказы и их последствия в сетях Облкоммуэнергo за июнь 2016 г.  
Failures and their consequences in Oblkommunenergo networks for June 2016

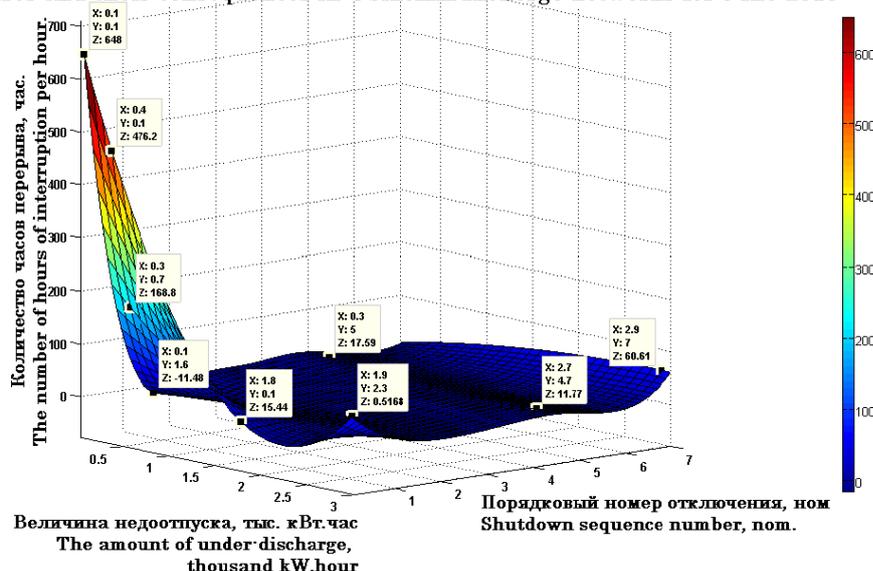


Рисунок 5. Последствия отказов в июне 2016 г. в электрических сетях ОКЭ  
Figure 5. Consequences of failures in June 2016 in AKE electric networks

### Заключение

На основании анализа повреждаемости электрических сетей филиалов ОКЭ можно сделать следующие выводы:

1. Повреждаемость исследуемых сетей достаточно высока. Среднемесячное количество отказов составляет 91.

2. Наиболее повреждаемыми элементами рассматриваемых ВЛЭП являются: провода, опоры, изоляторы, и коммутационные аппараты. Характерными причинами, которые приводят к их повреждениям, являются: ветровая нагрузка, повреждение коммутационных аппаратов.

3. Схлестывание и перехлест проводов связан с разбалансировкой стрел провеса проводов, приводящей к разным уровням амплитуд их колебаний при шквалистой ветровой нагрузке. В рассматриваемых ЛЭП необходим тщательный визуальный мониторинг и осуществление на его основе перетяжки проводов.

5. Повреждение коммутационной аппаратуры (в основном это включение разъединителей на «закоротку» и отключение их «под нагрузкой») в большинстве случаев связано с неправомерным действием оперативного персонала и невыполнении предусмотренных нормативными документами плановых мероприятий и ремонтов в полном объеме. Необходимо повысить уровень квалификации технического персонала путём организации и прохождения ими специальных курсов повышения квалификации, а также внеочередного квалификационного контроля знаний ПТЭЭ и ПТБ.

6. Оперативное реагирование на повреждения и сокращение недоотпуска электроэнергии связано также с модернизацией уровня автоматизации и средств РЗ и внедрением новых технологий телемеханики. В этой связи рекомендуется организация устройства реклоузлов в узловых точках ВЛЭП, что в значительной степени повысит «наблюдаемость» этих сетей.

7. Повреждения, вызванные «падением деревьев» можно значительно сократить, осуществляя предварительные мероприятия по расчистке трасс прохождения ЛЭП (в сельской местности), а также осуществление мониторинга по определению «угрожающих» деревьев вдоль трасс ЛЭП городских и районных сетей.

### Литература

1. И. Дубровин. Износ электросетевой инфраструктуры в России. Масштабы и перспективы, 26 ноября 2017г.

2. StatNet. Arasstatistikk 2007-2016. Available at: <http://www.statnett.no/Kraftsystemet/Nedlastingssenter/Feilstatistikk>.

3. Council of European Energy Regulators. CEER Benchmarking Report 6.1 on the Continuity of Electricity supply: Data update. Issued by Council of European Energy Regulators ASBL. Brussels: CEER.

4. Li Wang. The Fault Causes of Overhead Lines in Distribution Network / MATEC Web of Conferences 61, 02017 (2016). APOP2016//DOI:10.1051/matecconf/2016610 APOP2016, 2017:1-5.

5. Наумов И.В., Карпова Е.Н. Анализ причин повреждаемости распределительных электрических сетей 10 кВ (На примере Южных электрических сетей г. Иркутска)/ Надежность и безопасность энергетики, 2018, том 11; (4): 299-304.

6. Кабашов Владимир Юрьевич. Повышение надежности сельских воздушных линий электропередачи 10 (6) кВ в условиях воздействия ветровых и гололедных нагрузок /автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва, 2012.

### References

1. I. Dubrovin. Deterioration of the power grid infrastructure in Russia. The scope and prospects, 26 Nov 2017.

2. StatNet. Arasstatistikk 2007-2016. Available at: <http://www.statnett.no/Kraftsystemet/Nedlastingssenter/Feilstatistikk>.

3. Council of European Energy Regulators. CEER Benchmarking Report 6.1 on the Continuity of Electricity supply: Data update. Issued by Council of European Energy Regulators ASBL. Brussels: CEER.

4. Li Wang. The Fault Causes of Overhead Lines in Distribution Network / MATEC Web of Conferences 61, 02017 (2016). APOP2016 / / DOI: 10.1051 / matecconf / 2016610 APOP2016, 2017: 1-5.

5. Naumov I. V., Karpova E. N. Analysis of the causes of damage to distribution electric networks of 10 kV (On the example of Southern electric networks of Irkutsk)/ Reliability and Safety of Energy, 2018, volume 11; (4): 299-304.

6. Kabashov Vladimir Yuryevich. Improving the reliability of rural overhead power lines of 10 (6) kV under the influence of wind and ice loads /abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Moscow, 2012.

**Поперешняк С.В.**

кандидат фізико-математичних наук,  
доцент кафедри програмних систем і технологій,  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

## АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ПСЕВДОВИПАДКОВИХ БІТОВИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ

**Popreshnyak S.V.**

candidate of physical and mathematical sciences,  
associate professor of the department of software systems and technology,  
Taras Shevchenko National University of Kyiv

### ANALYSIS OF APPROACHES FOR TESTING PSEUDORANDOM BIT SEQUENCES

**Анотація.** Стаття, присвячена систематизації наукових позицій щодо статичного тестування послідовностей, широко застосовуваних у криптографічних системах захисту інформації для отримання ключової та додаткової інформації (випадкові числа, вектори ініціалізації тощо). Розглядаються існуючі підходи до тестування псевдовипадкових послідовностей. Наведено основні переваги та недоліки найвідоміших тестових пакетів для аналізу послідовностей на випадковість. Отримана інформація надає змогу обрати найбільш оптимальний підхід і тести для перевірки бітової послідовності на випадковість в залежності від наявних характеристик цієї послідовності. Виявлено, що для послідовностей довжиною до 100 біт недостатньо існуючих статистичних пакетів і даний напрямок потребує подальших і ґрунтовних досліджень.

**Summary.** An article devoted to the systematization of scientific positions on static testing of sequences widely used in cryptographic information security systems to obtain key and additional information (random numbers, initialization vectors, etc.). Existing approaches to testing pseudo-random sequences are considered. The main advantages and disadvantages of the most well-known test packages for sequence analysis for randomness are presented. The information obtained allows you to choose the most optimal approach and tests to check the bit sequence for randomness, depending on the available characteristics of this sequence. It was found that for sequences up to 100 bits there are not enough existing statistical packets and this direction requires further and thorough research.

**Ключові слова:** бітова послідовність, тестування, випадкові послідовності; псевдовипадкова послідовність; статистичне тестування.

**Key words:** bit sequence, testing, random sequences; pseudorandom sequence; statistical testing.

#### Вступ.

Той, хто, так або інакше, стикався з криптографією, знає, що без генераторів випадкових чисел в цій справі не обійтися. Одне з можливих застосувань таких генераторів, наприклад, - генерація ключів. Але не кожен при цьому замислюється, а які переваги має той чи інший генератор серед множини інших. А якщо і замислювався, то стикався з тим фактом, що в світі не існує будь-якого єдиного «офіційного» набору критеріїв, який би оцінював, наскільки дані випадкові числа застосовні саме для даної області криптографії. Якщо послідовність випадкових чисел передбачувана, то навіть найстійкіший алгоритм шифрування, в якому дана послідовність буде використовуватися, виявляється, вразливий - наприклад, різко зменшується простір можливих ключів, які необхідно «перебрати» зловмисникові для отримання деякої інформації, за допомогою якої він зможе «зламати» всю систему.

Використання випадкових чисел в криптографії, один з найпотужніших і ефективних методів захисту інформації. В криптографії

ключову роль відіграють послідовності бітів - двійкових послідовностей, що складаються з випадкових розділених значень "0" і "1".

#### Актуальність

Для низки криптографічних перетворень використовуються випадкові первинні стани або цілі послідовності. Отже, стійкість криптоалгоритму, що використовує такі стани або послідовності, безпосередньо залежить від алгоритму генерації випадкових чисел і послідовностей, точніше від ступеня випадковості вихідних послідовностей.

Широта і важливість випадкових послідовностей, їх визначальна роль у забезпеченні високого рівня захисту інформації, робить їх актуальним для подальшого вивчення.

#### Аналіз останніх публікацій

Серед генераторів псевдовипадкових послідовностей (ГПВЧ), які стали широко поширеними і застосовуються у вирішенні проблем з серйозними вимогами до якості створеної послідовності, виділяють апаратні, програмні та програмно-апаратні засоби (змішані) (рис. 1).

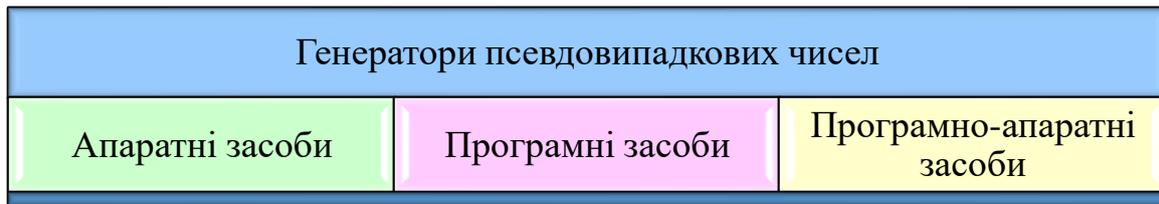


Рис. 1. Класифікація генераторів псевдовипадкових чисел

Апаратний генератор випадкових чисел – це пристрій, який генерує послідовність випадкових чисел на основі вимірюваних, хаотично змінюються параметрів протікає фізичного процесу. При апаратному способі генерації випадкові числа є прямим або побічним продуктом вимірювань деякої фізичної величини, яка є надійним джерелом ентропії. Зазвичай це процеси, що протікають в неживій природі. Теоретично такі процеси абсолютно непередбачувані, однак на практиці отримані таким чином випадкові числа доводиться піддавати перевірці за допомогою спеціальних статистичних тестів. Незважаючи на кращі статистичні властивості і, відповідно, більш високу ступінь випадковості, апаратним генераторам притаманні такі недоліки:

- потенційно високі тимчасові і матеріальні витрати на конструювання, встановлення та налаштування в порівнянні з програмними ГПВЧ;
- нижча швидкість генерації випадкових чисел, ніж при програмній реалізації ГПВЧ [1, 2];
- неможливість відтворення раніше згенерованих чисел (що в деяких випадках є небажаним).

Програмні (алгоритмічні) генератори (генератори псевдовипадкових послідовностей) засновані на детермінованих алгоритмах. У отриманих таким чином послідовностей завжди існує період (нехай іноді і дуже великий), а також спостерігаються і інші відхилення від випадковості. Будь ГПВЧ з обмеженими ресурсами рано чи пізно 12 зациклюється - починає повторювати одну і ту ж послідовність чисел. Період ГПВЧ залежить від типу генератора і його параметрів [3-6].

#### Постановка проблеми

Якщо породжувана послідовність ГПВЧ має занадто короткий період, то такий ГПВЧ стає непридатним для багатьох практичних застосувань. Більшість простих арифметичних генераторів хоча і володіють великою швидкістю, але страждають від багатьох серйозних недоліків:

- занадто короткий період;
- послідовні значення не є незалежними;
- деякі біти «менш випадкові», ніж інші;
- нерівномірний розподіл;
- оборотність.

Вимоги для якісного генератора випадкових чисел:

1. Непередбачуваність результатів роботи: у невідомому ключі/початковий стан генератора на

основі відомої кінцевої частини псевдовипадкової послідовності (ПВП), неможливо визначити як її подальший елемент (пряма непередбачуваність, або непередбачуваність права) і попередній (зворотна непередбачуваність, непередбачуваність ліворуч);

2. Схожість статистичних властивостей, що генеруються ПВП від аналогічних властивостей дійсно випадкової послідовності;

3. Тривалий період послідовності;

4. Можливість ефективної апаратної та програмної реалізації.

На практиці важка переконатися, що всі ці умови виконані, тим більше, що часто ці умови є взаемовиключними. Тому важливим питанням, що постає є адекватний і швидкий вибір найбільш підходящого тесту для перевірки ПВП та ГПВЧ.

**Метою** даної роботи є систематизація та аналіз наукових позицій щодо існуючих підходів до тестування псевдовипадкових бітових послідовностей та генераторів псевдовипадкових послідовностей, які є широко застосовувані у криптографічних системах захисту інформації для отримання ключової та додаткової інформації (випадкові числа, вектори ініціалізації тощо).

#### Виклад основного матеріалу

Тестування генераторів псевдовипадкових послідовностей

Генератори псевдовипадкових послідовностей можна використовувати для виконання різноманітних функцій. Крім усього іншого, вони можуть бути використані для важливих завдань, включаючи захист даних. Тому необхідно якісно перевірити властивості генераторів, таких як близькість вихідної послідовності до істинно випадкових з точки зору її статистичних властивостей і непередбачуваність вихідних значень.

Існують дві основні напрями аналізу псевдовипадкових послідовностей (рис. 2):

- Криптографічний. Мета цього напрямку полягає в тому, щоб знайти такі закономірності послідовності в дослідженні, так що вся послідовність може бути відновлена по його частині.

- Статистичний. Цей напрям орієнтований на знаходження відхилень у статистичних властивостях псевдовипадкової послідовності, на основі яких можна передбачити наступні та попередні значення членів послідовності з імовірністю понад 0,5.

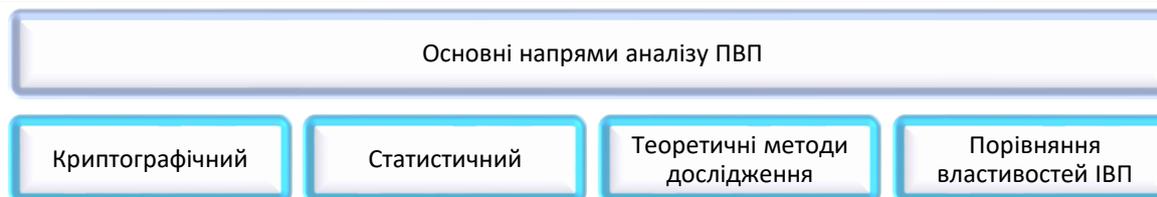


Рис 2. Основні напрями аналізу псевдовипадкових послідовностей

Строге доведення непередбачуваності псевдовипадкових генераторів послідовності є складною проблемою, яка ще не вирішена. У випадку з криптографічно стійким генераторами псевдовипадкових послідовностей, як правило, вважається, що ворог не буде мати достатньо ресурсів (таких, як час, обчислювальні ресурси, і матеріальних ресурсів), щоб визначити наступний біт послідовності з ймовірністю більш ніж 0,5.

Існують теоретичні методи дослідження псевдовипадкових послідовностей, які використовують різні підходи до визначення випадковості. До них відносяться, наприклад, частотний підхід (вперше запропонований фон Мізесом), алгоритмічний підхід Мартіна-Лефа, комплексного підхід Колмогорова [5, 7]. Однак в даний час такі теоретичні розробки не надають практичних інструментів для оцінки ступеня випадковості послідовності.

Існує ще один підхід, який припускає, що певний набір статистичних властивостей псевдовипадкової послідовності повинні відповідати аналогічним властивостям істинної випадкової послідовності. Тобто, псевдовипадкова послідовність в проходженні статистичних тестів повинна вести себе як по-справжньому випадкова послідовність.

На практиці, підтвердження ступеня випадковості результатів роботи ГПВЧ означає перевірку відсутності статистичних закономірностей в послідовності і взаємозв'язку між послідовностями.

Історично, перші необхідні (але не достатні) умови статистичної подібності періодичних бінарних ПВП і істинно випадковими послідовностями були сформульовані в 1967, як постулати Голомба [8]:

1. Число одиниць і число нулів в кожному періоді ПВП повинні відрізнятися не більше ніж на одиницю.

2. У кожному періоді ПВП половина серій, тобто підпослідовностей, що складаються з однакових символів, повинна мати довжину один, одна чверть - мати довжину два тощо; до того ж для кожної з цих довжин повинно бути майже однакове число серій нулів і одиниць.

3. Автокореляційна функція, що є мірою подібності послідовності і її зсуву на будь-яке число бітів  $t$ , нерівний періоду, приймає різні значення в міру того, як  $t$  проходить всі допустимі значення.

Сенс останнього постулату можна трактувати наступним чином: знання попереднього значення

послідовності не дозволяє зробити припущення про поточний її значення.

Однак виконання цих постулатів не гарантує випадковий характер даної послідовності. Для аналізу рівня випадковості послідовності розроблені і розробляються спеціальні статистичні тести. В даний час такі тести стали основним інструментом оцінки якості генераторів псевдовипадкових послідовностей.

Такі тести дозволяють:

- оцінювати можливість використання ПВП в криптографічних додатках;
- визначати генератори, що виробляють послідовності, що істотно відрізняються від СП;
- перевіряти правильність реалізації генераторів ПВП;
- розробляти нові генератори ПВП.

Статистичні тести – це емпіричні тести для оцінки якості ГПВП і виявлення їх «слабких місць» шляхом розрахунку статистичних характеристик ПВП і порівняння їх з аналогічними характеристиками ІСП [3-5, 7]. Статистичні тести використовуються також для оцінки якості криптографічних примітивів (шифрів, хеш-функцій) шляхом перевірки криптографічних властивостей вироблюваних ними послідовностей (лавинного ефекту зміни вихідних даних при викривленні елементів вхідних даних, кореляції проміжних і вихідних послідовностей).

Розв'язання таких завдань засноване на перевірці деяких гіпотез щодо властивостей ПВП, вироблених генераторами. Як статистичної гіпотези може використовуватися довільна припущення про характер розподілу і властивості випадкової величини. Істинність або хибність такого припущення підтверджується або відхиляється за допомогою методів математичної статистики.

Загальний механізм перевірки статистичних гіпотез полягає в наступному. Висуваються дві гіпотези: нульова ( $H_0$ ) та альтернативна ( $H_a$ ). Припустимо, нульова гіпотеза полягає в тому, що тестована ПВП істинно випадкова (з точки зору конкретного тесту), а альтернативна - що ПВП не випадкова [5, 7, 9-10].

Для кожного тесту вибирається деяка обчислюється функція (статистика), яка зводить властивість випадковості тестованих даних до одного числового значення (що спостерігається зі статистикою). Статистика тесту представляється як реалізація випадкової величини. Для того щоб виконати оцінку проходження тесту, необхідно знати розподіл тестової статистики в припущенні,

що нульова гіпотеза вірна. Часто цю роль грають нормальний розподіл і розподіл  $\chi^2$  (Пірсона) [5, 10].

Перерахуємо кілька найбільш відомих інструментів статистичного тестування псевдовипадкових послідовностей [3, 4, 11]:

- добірка Кендалла і Бабінгтон-Сміта;
- тести Д. Кнута;
- тести DIEHARD (Дж. Марсали);
- пакет тестів NIST (А. Rukhin і ін.);
- пакет TestU01 (П. Л'Екуйє);
- Crypt-XS (Helen Gustafson);
- John Walker (Autodesk, Inc.), ENT;
- Dieharder (Robert G. Brown).

Крім пакетів, що містять набори тестів для всебічного вивчення статистичних властивостей ГПВП, існують окремі тести, які спрямовані на більш точний і повний аналіз ПВП.

Слід розуміти, що тестування не може замінити криптоаналіз. Проте, воно є обов'язковим етапом аналізу стійкості криптографічного генератора. В умовах існування великої кількості різних статистичних тестів, як широко і давно поширених, так і нових, важливий обґрунтований вибір, пов'язаний зі специфікою вирішуваних завдань захисту інформації.

Перевірка генератора або послідовності випадкових чисел на непередбачуваність є важливим процесом щоб забезпечити правильну і ефективну роботу системи яка буде їх використовувати. Для виконання цієї задачі існує широкий набір пакетів тестування, що надають теоретичну основу випробувань та їх програмну реалізацію. Незважаючи на великий вибір тестів, кожен з них перевіряє тільки одну певну характеристику, тому ніякий з можливих тестів або їх наборів не може дати стовідсоткової відповіді на питання про випадковість послідовності. Багатовимірні статистики орієнтовані на декілька властивостей, що дозволяє більш точно оцінити коротку послідовність, але має свої недоліки в тестуванні довгої через надмірно велику кількість варіантів комбінацій статистик. В роботах [12-15] описані методи багатовимірних статистик для тестування бітових послідовностей.

Зазвичай, тестування проводиться безпосередньо на створеній генератором послідовності, але деякі з існуючих тестів, наприклад з пакету Diehard, передбачають створення послідовності відповідно до заданої тестом специфікації. Також, в залежності від випробування, можуть використовуватися різні розподіли та властивості послідовності. Найчастіше, випробування засновано на використанні двох гіпотез:

$H_0$  – гіпотеза, що послідовність яку тестують є дійсно випадковою;

$H_a$  – гіпотеза, що послідовність не є випадковою.

Під час тесту, обчислюється статистичне значення послідовності відповідно до специфікації. Приймаючи нульову гіпотезу як основну, рішення про випадковість приймається на основі

порівняння отриманої статистики і теоретичних властивостей випадкової послідовності. Рівень впевненості в результатах тесту визначається статистичною значимістю (довірчим інтервалом), що може складати 0.1, 0.05 або 0.01 в залежності від сфери використання та початкових вимог до точності. Так, при значимості  $\alpha = 0.1$  вірогідність коректності результату буде складати 99%. Після проведення тесту робиться один з наступних можливих висновків:

• Прийняти гіпотезу  $H_0$  коли послідовність дійсно є випадковою;

• Прийняти гіпотезу  $H_0$  коли послідовність не є випадковою (помилка першого типу);

• Прийняти гіпотезу  $H_a$  коли послідовність є випадковою (помилка другого типу);

• Прийняти гіпотезу  $H_a$  коли послідовність дійсно не є випадковою.

#### **Набори тестів для перевірки послідовностей на випадковість.**

Проведемо опис найвідоміших наборів тестів для перевірки ГПЧ, АГВЧ та бітових послідовностей. Варто зауважити, що деякі з методів випробувань в наборах збігаються, адже вони всі засновані на одному математичному підрунті. **NIST Statistical Test Suite**

NIST STS - специфікація та відповідна бібліотека на мові C, що були випущені Інститутом Стандартів та Технологій США. Пакет складається з 15 тестів для аналізу бітових послідовностей що були згенеровані ГПЧ або АГВЧ. Далі подано коротку інформацію про цілі та специфіку тестів, повний опис тестів доступний в [16].

#### **Частотний тест**

В основі тесту лежить пошук пропорції між нулями та одиницями що входять в бітову послідовність. Ціль тесту – перевірити чи є відношення одиниць та нулів наближеним до того, яке було б у дійсно випадкової послідовності, тобто 0.5.

#### **Частотний тест у блоці**

Тест заснований на визначенні пропорції між кількістю нулів та одиниць в блоках бітів фіксованої довжини які входять в досліджувану послідовність. Ціль тесту – перевірити наскільки відношення є наближеним до властивості дійсно випадкової послідовності.

#### **Тест на подібні послідовності**

Тест полягає у знаходженні числа послідовних однакових біт та порівнянні отриманого значення з очікуваним для дійсно випадкової послідовності. Також, випробування вказує на характер осциляції між нулями та одиницями.

#### **Тест на найбільшу послідовність одиниць в блоці**

В основі тесту лежить порівняння найдовших послідовностей одиниць в блоці зі значенням яке теоретично має дійсно випадкова послідовність. В цьому тесті закономірності між одиницями будуть вказувати і на закономірності між нулями, тому необхідний лише один тест.

#### **Тест рангів бінарних матриць**

Тест полягає у перевірці рангів матриць створених з неперервних бітів послідовності. Мета випробування - перевірити наявність лінійної залежності між рядками фіксованої довжини що входять в послідовність. Цей тест також зустрічається в бібліотеці тестів Diehard.

#### **Спектральний тест**

Тест полягає в пошуку кількості піків дискретної трансформації Фур'є вхідної послідовності. Ціль - визначити періодичні властивості послідовності, що можуть вказувати на відхилення від гіпотези про випадковість. Для прийняття рішення про випадковість кількість піків що перевищують границю в 95% повинна бути наближена до 5%.

#### **Тести на шаблони що перетинаються/не перетинаються**

Тест заснований на знаходженні входжень шаблонів до блоків послідовності. Ціль тесту – виявити генератори чисел що створюють дуже багато однакових шаблонів.

#### **Універсальний тест Маурера**

Ціль тесту – визначити чи може послідовність бути суттєво стиснута без втрати інформації за допомогою перевірки кількості бітів між подібними шаблонами. Послідовність яка добре піддається стисненню не є випадковою.

#### **Тест на лінійну складність**

В основі тесту лежить пошук довжини регістру зсуву з лінійним зворотнім зв'язком. Випробування визначає чи є послідовність достатньо складною щоб бути дійсно випадковою. Чим менша довжина регістру, тим більша вірогідність що рядок бітів не є випадковим.

#### **Тест на послідовності та тест на приблизну ентропію**

Тести полягають у пошуку частоти входження всіх шаблонів довжин  $M$ ,  $M-1$  та  $M+1$  в бітовий рядок. Цілі тестів – визначити наскільки наближеними є частоти появи шаблонів до дійсно випадкової послідовності. Випадкові послідовності відповідають рівномірному розподілу, а тому частота появи кожного шаблону повинна бути однаковою. Тест на послідовності використовує шаблони що не перетинаються, а тест на приблизну ентропію – ті що перетинаються.

#### **Тест кумулятивних сум**

Мета тесту – визначити, чи є сукупна сума часткових послідовностей, що виникають в досліджуваній занадто великою або занадто малою щоб послідовність могла вважатися дійсно випадковою.

#### **Тест на довільні виключення**

Тест полягає у знаходженні кількості циклів, що мають точно  $K$  відвідувань, у кумулятивній сумі випадкового блукання. Мета - визначити, чи відповідає кількість відвідувань певного стану протягом циклу тому, що можна було б очікувати від випадкової послідовності.

#### **Тест на довільні виключення з варіантом**

В основі тесту лежить пошук загальної кількості відвідувань певного стану в кумулятивній

сумі випадкового блукання. Мета цього тесту - виявити відхилення від очікуваного числа відвідувань різних станів у випадковому блуканні.

#### **Тести Diehard**

Батарей статистичних тестів призначена для виміру якості ГПЧ та АГВЧ, що була створена Джорджем Марсаглія у 1995 році. В основі більшості тестів лежить використання генератора для побудови послідовності відповідно до наданої специфікації і порівняння її характеристик з очікуваними від випадкової. Деякі з наведених випробувань можна виділити в групи за подібністю, а інші являють собою один тест. Більше інформації про тести можна знайти в [17, 18].

#### **Тест днів народжень**

В тесті генеруються  $m$  «днів народжень» в «році» що складається з  $n$  днів і визначаються інтервали між днями народжень. Для дійсно випадкової послідовності інтервали повинні мати експоненційний розподіл.

#### **Тест перестановок довжини 5, що перетинаються**

Тест полягає в оцінці перестановок шаблонів з послідовності великої довжини. Ціль тесту – визначити наскільки відношення всіх варіантів перестановок відповідає теоретичному в дійсно випадковій послідовності (всі перестановки повинні з'являтися з однаковою вірогідністю).

#### **Тести мавп**

Дані тести засновані на теоремі про нескінченну мавпу і пропонують розглядати послідовності з декількох біт як «слова». Підраховується кількість «слів» що перетинаються, а слова що не з'являються мають відповідати певному розподілу, щоб послідовність можна було вважати дійсно випадковою.

#### **Тести на підрахунок одиниць**

В основі тестів лежить підрахунок кількості послідовних або обраних байтів. На основі отриманих даних, кожен з байтів перетворюється на літеру і відбувається порівняння частоти появи «слів» що складаються з 5-ти літер з даними дійсно випадкової послідовності.

#### **«Тест паркінгу»**

Тест полягає у використанні генератора для додавання кіл розміром 1 од. до квадрату розміром 100 на 100 од.. Коло що було «успішно припарковано» не повинно перетинатися з іншими. Після 12000 спроб, кількість «успішних» кіл повинна відповідати нормальному розподілу.

#### **Тест на мінімальну відстань**

Для тесту необхідно випадковим чином розташувати в квадраті  $10000 \times 10000$  од. 8000 точок, і знайти мінімальну відстань між парами точок. Для дійсно випадкової величини відстані повинні мати експоненційний розподіл з певним середнім значенням.

#### **Тест випадкових сфер**

В тесті генерується 4000 точок в кубі з ребром 1000 од., і в кожній точці будується сфера з радіусом що дорівнює мінімальній відстані до

іншої точки. Об'єм найменшої сфери повинен мати експоненційний розподіл з певним середнім значенням щоб послідовність можна було вважати дійсно випадковою.

#### **Тест на стиснення**

В основі тесту лежить розбиття  $k=2^{31}$  на випадкові дробові числа. Припускають кількість ітерацій необхідну для того щоб  $k$  стало дорівнювати 1, та повторюють процедуру 100000 разів. Якщо отримані дані відповідають еталонному розподілу, то генератор вважається дійсно випадковим.

#### **Тест сум що перетинаються**

Тест полягає у пошуку характеристик сум послідовності що складається з дробових чисел. Сукупності послідовних частин довжиною 100 додаються і для них визначається середнє значення та дисперсія. Якщо числові характеристики відповідають еталонним, то роблять висновок про те, що послідовність є дійсно випадковою.

#### **Тест на подібні послідовності**

В тесті використовується послідовність дробових чисел для якої рахуються зростаючі та спадаючі послідовності бітів. Ціль тесту – перевірити наскільки кількості спадаючих і зростаючих бітів наближені до очікуваних значень для випадкової послідовності.

#### **Тест «Крепс»**

Тест засновано на грі «Крепс» - проводиться симуляція 200000 партій, для кожної яких визначається кількість вигравів та кидків необхідних щоб закінчити гру. На основі відповідності еталонним даним, робиться висновок про випадковість послідовності.

#### **TestU01**

Об'ємна бібліотека тестів на мові C, що включає реалізацію ГПЧ, тести та батареї тестів. Всі випробування що надаються, поділені в групи відповідно до модулів програми [19]:

- smultin - тестування рівномірності та незалежності ГПЧ;
- sentrop - тести на основі дискретних та безперервних емпіричних ентропій;
- sprair - тести на основі відстані між найближчими точками в вибірці  $n$  рівномірно розподілених точок в  $t$  розмірностях;
- sknuth - реалізує класичні статистичні тести для ГПЧ, описані в книзі Д.Кнута;
- smarsa - реалізує тести описані Д. Маргсалія, та його співробітниками;
- svaria – тести на рівномірність засновані на простій статистиці;
- swalk – тести засновані на випадковому блуканні через множину цілих чисел;
- scomr – тести засновані на еволюції лінійної складності по мірі зростання бітової послідовності і тест заснований на її стисненні;
- sspectral – тести засновані на спектральних методах;
- sstring – тести що застосовуються до рядків випадкових бітів за рахунок їх поєднання;

- sspacings – тести на основі функцій суми інтервалів між відсортованими спостереженнями вибірки рівномірних розподілів.

#### **Висновки**

Розглянуті пакети статистичних тестів мають вагоме математичне підґрунтя і готову програмну реалізацію. Будь-який з них можна використати для оцінки послідовності або генератора і мати високий рівень впевненості в якості результатів. Однак, в статистичних тестах на випадковість можна виділити наступні тренди:

- ✓ Найявна велика кількість різних тестів та пакетів, що часто підходять до вирішення задачі з зовсім різних сторін;
- ✓ Відсутні чіткі лідери, тобто, тести які можна рекомендувати для вирішення більшості проблем чи окремої предметної галузі;
- ✓ Неможливо отримати точний висновок про випадковість послідовності навіть після виконання всіх можливих тестів;
- ✓ Майже всі окремі пакети та тести мають деякі обмеження або недоліки.

Логічним буде висновок, що область перевірки випадковості далеко не є завершеною і потребує додаткового дослідження та покращення існуючих підходів. Можна виділити наступні проблеми, які притаманні більшості тестів:

Для проведення якісного дослідження потрібні послідовності великої довжини. Наприклад, мінімальна рекомендована довжина послідовностей для NIST варіюється від 100 до  $10^6$ , а деякі з тестів Diehard потребують по 100-200 тисяч біт. Звісно, якість результату покращується при збільшенні вибірки в будь-якому статистичному дослідженні, але не існує альтернативи для перевірки коротких послідовностей.

Деякі з параметрів тестів неможливо змінити. Це здебільшого стосується тестів Diehard, які потребують генерації послідовності фіксованої довжини відповідно до специфікації. Зміна параметрів має ключове значення для проведення якісного дослідження.

Рішення про проходження тесту приймає тільки два значення (так/ні). Результатами тесту повинні також бути точні та значущі числові значення. Це дозволить порівнювати результати різних тестів або одного тесту для різних послідовностей.

Відсутність програмних пакетів для тестування. Розробка пакетів для дослідження випадкових чисел без програмного забезпечення є доволі сумнівною роботою, адже область застосування повністю складається з інформаційних технологій.

Отже, в методах перевірки бітових послідовностей є достатньо проблем для вирішення та підходів для покращення. Особливий інтерес для дослідження складає відсутність тестів, що можуть дати адекватні результати на коротких послідовностях.

**Список літератури:**

1. Herrero-Collantes M., Garcia-Escartin J.C. Quantum Random Number Generators // *Review of Modern Physics*. – 2016. – Vol. 89. – No. 1. – Pp. 1–54.
2. Stipcevic M., Кос С.К. True random number generators. *Open Problems in Mathematics and Computational Science*. – Springer, 2014. – Pp. 275–315.
3. Кнут Д.Э. Искусство программирования. Том 2. Получисленные алгоритмы. – М.: Вильямс, 2007. – 832 с.
4. Иванов М.А., Чугунков И.В. Теория, применение и оценка качества генераторов псевдослучайных последовательностей. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2003. – 240 с.
5. Слеповичев И.И. Генераторы псевдослучайных чисел. – Саратов: СГУ, 2017. – 118 с.
6. Шнайер Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си. – М.: Триумф, 2002. – 816 с.
7. Иванов М.А., Чугунков И.В. Криптографические методы защиты информации в компьютерных системах и сетях. – М.: НИЯУ МИФИ, 2012. – 400 с.
8. Жданов О.Н. Методика выбора ключевой информации для алгоритма блочного шифрования. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 88 с.
9. Буре В.М., Парилина Е.М. Теория вероятностей и математическая статистика. – С.-Петербург: Лань, 2013. – 416 с.
10. Ивановский Р.И. Теория вероятностей и математическая статистика. Основы, прикладные аспекты с примерами и задачами в среде Mathcad. – С.-Петербург: БХВ-Петербург, 2008. – 528 с.
11. Рябко Б.Я., Фионов А.Н., Шокин Ю.И. Криптография и стеганография в информационных технологиях. Новосибирск: Наука, 2015. – 239 с.
12. Svitlana Popereshnyak, Georgi P. Dimitrov The Testing of Pseudorandom Sequences using Multidimensional Statistics *Proceedings of the 1st International Workshop on Digital Content & Smart Multimedia (DCSMart 2019) Lviv, Ukraine, December 23-25, 2019*. - p. 151-161
13. V. Masol, S. Popereshnyak Statistical analysis of local sections of bits sequences // *Journal of Automation and Information Sciences*. Vol. 51. 2019. - p. 31-45. DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v51.i10.30
14. V. Masol, S. Popereshnyak Checking the Randomness of Bits Disposition in Local Segments of the (0, 1)-Sequence // *Cybernetics and Systems Analysis* 56(3). 2020. - P. 1-8 DOI: 10.1007/s10559-020-00267-0
15. S. Popereshnyak, "One Way of Testing of Lightweight Pseudorandom Number Generator for Securing the Internet of Things," 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, 2020, pp. 580-585, doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235499.
16. A. Rukhin, A Statistical Test Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications. National Institute of Standards and Technology. 2010. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-22r1a.pdf>.
17. DIEHARD Statistical Tests URL: <https://stat.fsu.edu/pub/diehard/>.
18. Diehard tests. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Diehard\\_tests](https://en.wikipedia.org/wiki/Diehard_tests).
19. TestU01: A software library in ANSI C for empirical testing of random number generators. Department d'Informatique et de Recherche Operationnelle, University of Montreal. 2013. URL: <http://simul.iro.umontreal.ca/testu01/guideshorttestu01.pdf>.

#12(64), 2020 часть 1  
Восточно Европейский научный журнал  
(Москва, Россия)  
Журнал зарегистрирован и издается в России  
В журнале публикуются статьи по всем  
научным направлениям.  
Журнал издается на русском, английском,  
польском и немецком языках.

Статьи принимаются до 30 числа каждого  
месяца.  
Периодичность: 12 номеров в год.  
Формат - А4, цветная печать  
Все статьи рецензируются  
Каждый автор получает одну бесплатную  
печатную копию журнала  
Бесплатный доступ к электронной версии  
журнала.

Редакционная коллегия

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

Rada naukowa

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków  
Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska  
im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków  
Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet  
Warszawski)

#12(64), 2020 part 1  
Eastern European Scientific Journal  
(Moscow, Russia)  
The journal is registered and published in Russia  
The journal publishes articles on all scientific areas.  
The journal is published in Russian, English,  
Polish and German.

Articles are accepted till the 30th day of each  
month.  
Periodicity: 12 issues per year.  
Format - A4, color printing  
All articles are reviewed  
Each author receives one free printed copy of the  
journal  
Free access to the electronic version of journal

Editorial

Editor in chief - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

The scientific council

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków  
Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska  
im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków  
Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet  
Warszawski)

**Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Peter Clarkwood(University College London)**  
**Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Rogowski (Uniwersytet Jagielloński)**  
**Kehan Schreiner(Hebrew University)**  
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Anthony Maverick(Bar-Ilan University)**  
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)**  
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)**  
**Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)**  
**Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**  
**Redaktor naczelny - Adam Barczuk**

1000 экземпляров.  
Отпечатано в ООО «Логика+»  
125040, г. Москва, Россия  
проспект Ленинградский, дом 1,  
помещение 8Н, КОМ. 1  
«Восточно Европейский Научный Журнал»  
Электронная почта: [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com),  
<https://eesa-journal.com/>

**Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Peter Clarkwood(University College London)**  
**Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Rogowski (Uniwersytet Jagielloński)**  
**Kehan Schreiner(Hebrew University)**  
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Anthony Maverick(Bar-Ilan University)**  
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)**  
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)**  
**Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)**  
**Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**  
**Editor in chief - Adam Barczuk**

1000 copies.  
Printed by Logika + LLC  
125040, Moscow, Russia  
Leningradsky prospect, building 1,  
8N, flat. 1  
"East European Scientific Journal"  
Email: [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com),  
<https://eesa-journal.com/>