

ISSN 2413-5526

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал

Т. 7 № 4

**Севастополь
2021**

Э 651 Энергетические установки и технологии: науч. журнал. – Севастополь: ФГАОУ ВО СевГУ, 2021. – Т. 7. - № 4. – 88 с.: ил.

В научный журнал «Энергетические установки и технологии», включены статьи, посвященные актуальным вопросам современной энергетики. Журнал состоит из разделов: тепловые и ядерные энергетические установки, электротехнические комплексы и системы, экологическая безопасность, химические технологии атомных станций, информационные технологии в энергетике, моделирование физических процессов, физика в ядерной энергетике, автоматизация процессов контроля и управления, судовые энергетические установки, холодильные установки, гидравлические энергоустановки, компьютерная инженерия и техническая диагностика.

Предназначен для научных работников, инженеров и специалистов, работающих на предприятиях и в организациях энергетики, аспирантов и студентов технических вузов. Журнал выходит 4 раза в год.

Редакционная коллегия:

Качур С.А. (главный редактор), д.т.н., доцент;
Омельчук Ю.А. (заместитель главного редактора), к.х.н., доцент;
Черкашина Н.И. (ответственный секретарь), к.т.н., доцент;
Сафонов В.А., д.т.н., профессор; *Пухлий В.А.*, д.т.н., профессор;
Пучков В.Н., д.т.н., профессор; *Акимов А.М.*, д.т.н., профессор;
Федоровский К.Ю., д.т.н., профессор; *Олейников А.М.*, д.т.н., профессор;
Тимошенко А.И., д.т.н., профессор; *Карницкий А.Б.*, д.т.н., профессор;
Высоцкий В.Е., д.т.н., профессор; *Краснодубец Л.А.*, д.т.н., профессор;
Прибатурин Н.А., д.т.н., профессор; *Кирияченко И.А.*, к.т.н., профессор;
Магдых Е.А., к.т.н., доцент; *Федорова С.А.*, к.пед.н., доцент;
Мирошниченко С.Т., к.т.н., доцент; *Свириденко И.И.*, к.т.н., доцент;
Матузаев К.Б., к.т.н., доцент; *Скидан А.А.*, к.т.н., доцент;
Углов А.В., к.т.н., доцент; *Шайтор Н.М.*, к.т.н., доцент;
Ерофеев В.А., к.т.н., доцент; *Ожиганова М.И.*, к.т.н., доцент;
Гусева Е.В., к.т.н., доцент; *Щекатурина Т.Л.*, д.х.н., доцент

Учредитель и издатель:

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет».
ул. Университетская, 33. Севастополь, 299053, Российская Федерация

Рекомендован к печати Ученым советом ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

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

Свидетельство ПИ № ФС 77 – 64120 от 25.12.2015 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Тепловые и ядерные энергетические установки	5
<i>Котельников Д.Ю., Кузнецов П.Н.</i> Применение искусственного интеллекта в ядерной энергетике	5
<i>Шаповаленко В.В., Матузаев К.Б., Аникевич К.П.</i> Зачем атомной энергетике нужны жидкосолевые реакторы?	12
Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии	16
<i>Довгаленко В.В., Матузаева О.В., Мирошниченко Е.В., Гайдук С.В., Петула Т.Е.</i> Получение солнечного кремния для ФЭП	16
<i>Канов Л.Н.</i> Оптимизация процесса пуска распределенного асинхронного электропривода	23
<i>Кувишинов В.В., Сперанский М.Ю., Власов Н.А., Скидан А.А., Лавренчук А.А.</i> Влияние коэффициента углового склонения на эффективность работы фотоэлектрических модулей	30
<i>Кувишинов В.В., Какушина Е.Г., Фисина М.А., Хайбуллин Р.Д., Ермолаев Д.А.</i> Монокремниевые фотопреобразователи для комбинированных солнечных установок	38
<i>Кувишинов В.В., Березняк В.А., Якимович Б.А., Сперанский М.Ю., Морозова Н.В.</i> Использование солнечных преобразователей для обеспечения бесперебойной работы медицинской техники	44
<i>Майорова Ю.А., Сперанский М.Ю., Кувишинов В.В., Скидан А.А., Смокталь Н.Н.</i> Возможности развития геотермальной энергетики Крыма	49
<i>Муровский С.П., Кувишинов В.В., Какушина Е.Г., Фисина М.А., Хайбуллин Р.Д.</i> Блок управления автоматической системы полива с использованием солнечных панелей	57
<i>Смирнов В.В., Гринченко Д.А.</i> Сравнительный анализ кабельных линий с бумажно-пропитанной изоляцией и из сшитого полиэтилена	62
Информационные технологии в энергетике	66
<i>Гончаренко Ю.Ю., Рыжкин А.С., Миронова А.О., Фролова А.Н.</i> Информационное противодействие терроризму на локальном объекте	66
<i>Миронова А.О., Гончаренко Ю.Ю., Гоголь А.С., Фролова А.Н.</i> Применение методики оценки угроз безопасности информации	71
Химические технологии	76
<i>Акимов А.М., Магдыч Е.А., Котельникова С.А.</i> Исследования возможности утилизации трихлорида мышьяка из сточных вод	76
<i>Безотосный С.С., Григорьева В.Н., Тишков В.Ф., Шевелев Д.В., Свириденко И.И.</i> Обеспечение безопасности применения технологии СВЧ-нагрева при плавлении радиоактивного битумного компаунда	80

CONTENTS

Thermal and nuclear power plant	5
<i>Kotelnikov D.Y., Kuznetsov P.N.</i> Applications of artificial intelligence in nuclear power	5
<i>Shapovalenko V.V., Matuzaev K.B., Anikevich K.P.</i> Why does nuclear power need liquid salt reactors?	12
Alternative and renewable energy sources	16
<i>Dovgalenko V.V., Matuzaeva O.V., Miroshnichenko E.V., Gaiduk S.V., Petula T.E.</i> Obtaining solar silicon for FEP	16
<i>Kanov L.N.</i> Optimization of starting process distributed asynchronous electromechanic drive	23
<i>Kuvshinov V.V., Speranskiy M.Yu., Vlasov N.A., Skidan A.A., Lavrenchuk A.A.</i> Influence of angular decline coefficient on efficiency of operation of photoelectric modules	30
<i>Kuvshinov V.V., Kakushina E.G., Fisina M.A., Xaibullin R.D., Ermolaev D.A.</i> Monosilicon photoconverters for combined solar installations	38
<i>Kuvshinov V.V., Bereznyak V.A., Yakimovich B.A., Speransky M.Yu., Morozova N.V.</i> The use of solar converters to ensure the smooth operation of medical equipment	44
<i>Mayorova Yu.A., Speransky M.Yu., Kuvshinov V.V., Skidan A.A., Smoktal N.N.</i> Development opportunities geothermal energy of Crimea	49
<i>Murovsky S.P., Kuvshinov V.V., Kakushina E.G., Fisina M.A., Xaibullin R.D.</i> Control unit of automatic irrigation system using solar panels	57
<i>Smirnov V.V., Grinchenko D.A.</i> Comparison of paper-impregnated and polyethylene-sewn cables	62
Information technologies in the energy sector	66
<i>Goncharenko Y.Y., Ryzhkin A.S., Mironova A.O., Frolova A.N.</i> Information counteraction to terrorism at a local facility	66
<i>Mironova A.O., Goncharenko Y.Y., Gogol A.S., Frolova A.N.</i> Automation of the selection of measures to ensure the safety of the KII facility of the significance category in modeling the threat	71
Chemical technology of nuclear power plants	76
<i>Akimov A.M., Magdych E.A., Kotelnikova S.A.</i> Studies of the possibility of utilization of arsenic trichloride from wastewater	76
<i>Bezotosnyi S.S., Grigoryeva V.N., Tishkov V.F., Shevelyov D.V., Sviridenko I.I.</i> Safety ensuring of the microwave heating technology application for radioactive bitumen compound melting	80

ТЕПЛОВЫЕ И ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

УДК 620.92 620.4, 004.891.2, 004.891.3

Применение искусственного интеллекта в ядерной энергетикеД.Ю. Котельников¹, П.Н. Кузнецов²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, ¹DYKotelnikov@ya.ru, ²PNKuznetsov@sevsu.ru

Статья поступила 23.11.2021 г.; после доработки 24.11.2021 г.

Аннотация

Процесс функционирования атомной электростанции (АЭС) требует наличия развитой системы обработки большого объема данных в режиме реального времени, способной осуществлять не только корректную идентификацию состояния станции, но и выполнять процедуры предиктивной аналитики планирования эффективных противоаварийных мероприятий. В связи с этим, реализация данной системы должна базироваться не только на классических методах обработки информации, но и на использовании современных подходов параллельной обработки данных. К наиболее эффективным подходам, позволяющим реализовать процедуру комплексного анализа больших данных, можно отнести искусственные нейронные сети. В статье приведен обзор перспективных решений, основанных на нейросетевых технологиях, для реализации систем поддержки операторов АЭС, проактивного управления эксплуатационными процессами станции, обнаружения аномалий в работе оборудования. Внедрение данных технологий, в дополнение к традиционным решениям, позволяет существенно увеличить надежность АЭС, минимизировать вероятность аварийных и внештатных ситуаций.

Ключевые слова: ядерная энергетика, искусственный интеллект, нейронные сети, проактивное управление.

Applications of artificial intelligence in nuclear powerD.Y. Kotelnikov¹, P.N. Kuznetsov²

Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,

¹DYKotelnikov@ya.ru, ²PNKuznetsov@sevsu.ru

Received 23.11.2021 y.; received in final form 24.11.2021 y.

Abstract

The process of functioning of a nuclear power plant (NPP) requires a well-developed system for processing a large amount of data in real time, capable of not only correctly identifying the state of the plant, but also performing predictive analytics procedures for planning effective emergency measures. In this regard, the implementation of this system should be based not only on classical methods of information processing, but also on the use of modern approaches of parallel data processing. Artificial neural networks can be attributed to the most effective approaches that make it possible to implement the procedure of complex analysis of big data. The article provides an overview of promising solutions based on neural network technologies for the implementation of support systems for NPP operators, proactive management of plant operational processes, detection of anomalies in equipment operation. The introduction of these technologies, in addition to traditional solutions, can significantly increase the reliability of nuclear power plants, minimize the likelihood of emergency and emergency situations

Keywords: nuclear power engineering, artificial intelligence, neural networks, proactive management.

Введение

Ядерная энергетика является одной из перспективных областей промышленности, поскольку может удовлетворить постоянно расту-

щие потребности общественности в экологически чистой электроэнергии.

Атомная промышленность стремится к инновациям, а компании, работающие на мировом энергетическом рынке, нацелены на разработку

новых технологий ядерных реакторов, как безопасных, чистых, доступных и надежных объектов.

Атомные электростанции (АЭС), являются сложными системами, состоящими из множества компонентов, подверженных воздействию высокودинамичных и нелинейных процессов (кинетические и теплогидравлические явления). Энергетическая политика государств, имеющих АЭС, ориентирована на повышение безопасности, снижение затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание. Ввиду чего, технологии по их оперативной диагностике, неразрушающему контролю и проведению планово-предупредительного ремонта постоянно развиваются и переходят на качественно новый уровень. Последние достижения в этой области относятся к III и IV поколению АЭС.

Как правило, оперативная диагностика, методы неразрушающего контроля, многократное резервирование и другие применяемые ранее решения, направлены не на долгосрочное предиктивное управление АЭС и предотвращение той или иной аварийной ситуации, а на устранение возникающих «здесь и сейчас» проблем. Однако, всё чаще, помимо уже существующих решений для контроля за состоянием оборудования и персонала АЭС применяются методы, базирующиеся на использовании искусственного интеллекта [1–3]. В статье представлен обзор сегментов ядерной промышленности, в которых применяются решения, основанные на использовании искусственного интеллекта.

Помощь операторам

Атомные станции – сложные, многокомпонентные системы, требующие непрерывного многопараметрического мониторинга для минимизации рисков возникновения чрезвычайных происшествий. Однако, не смотря на большое количество датчиков и высокую степень автоматизации, руководящим «органом» станции по-прежнему является человек (оператор). Поэтому, для минимизации вероятности возможных ошибок, вызванных человеческим фактором, а также помощи при возникновении аварийных ситуаций, представляется перспективным использование нейронных сетей. В последние годы эта технология нашла широкое применение, зарекомендовав себя в качестве эффективного интеллектуального советчика в различных предметных областях [4,5].

В работах [6,7] рассматриваются интеллек-

туальные системы принятия решений советующего типа, ориентированные на выявление первопричин возникновения аварийной ситуации. Данные системы предназначены для помощи операторам АЭС при возникновении внештатных и аварийных ситуаций. Они формируют ряд альтернативных решений для персонала и, в некоторых случаях, могут предсказать дальнейшее поведение всей системы исходя из принятого решения. Дополнительно, в ходе исследования [8] было определено, что оптимальным алгоритмом для поддержки оператора АЭС является алгоритм устойчивого обратного распространения.

Важно отметить и то, что в ходе работы такой сложной и дорогостоящей системы, как АЭС, операторам желательно полагаться на несколько инструментов по выявлению проблем и мониторингу станции, что успешно подтвердили Lee S. J. и Seong P. H. в [9]. Авторами разработана консультационная система диагностики несчастных случаев (Accident Diagnosis Advisory System). Данная система позволяет упростить процедуры обнаружения аварий, уменьшить вероятность ошибок и снизить рабочую нагрузку на операторов АЭС. Система основана на использовании двух отдельных нейронных сетей: Modified Dynamic Neural Network (MDNN) и Dynamic Neuro-Fuzzy Network (DNFN), что позволяет выполнять двойной анализ данных. В случае отличия результатов работы одной сети от другой, операторы должны усомниться в результатах и перепроверят их, а в случае совпадения – получают дополнительную уверенность в их точности. Итоговые тесты показали, что система успешно детектирует даже неподготовленные сценарии аварий. Авторы [10] призывают к совместному использованию математических и аналитических методов с новыми возможностями информационных технологий, обеспечивающихся искусственным интеллектом, для компенсации недостатков одних методов – достоинствами других.

Большинство систем поддержки оператора или традиционных комплексов мониторинга АЭС основываются на получении сигналов от датчиков, последующей их обработки и интерпретации в том или ином виде. Следовательно, состояние самих датчиков может сильно отразиться на системе мониторинга АЭС, а при их некорректной работе – привести к аварийной ситуации. Ввиду чего, Hou J. и др. в [11] было представлено решение для проверки информационных сигналов датчиков для детектирования их отказов, аномального поведения ввиду неисправности или кибератаки. Fantoni P. F. и

Mazzola A. в [12] разработали систему, способную обнаружить отказ сразу нескольких датчиков благодаря алгоритму моделирования случайных отказов, а также испытали свою систему в условиях сильной зашумленности сигналов.

Кроме непосредственной помощи оператору АЭС в чрезвычайных ситуациях, важной задачей также является отслеживание состояния самого человека, для чего Wu Y. и др. в [13] предлагается модель прогнозирования умственной нагрузки оператора АЭС. В данной модели используется технология ай-трекинг (eye-tracking), ключевыми индексами которой являются частота моргания, направление взгляда, диаметр зрачка и количество саккадических (произвольных) движений глаз. Модель испытывалась на работниках АЭС и случайных людях. Процент корреляции между исходными и прогнозируемыми данными оказался выше 95%. Однако, применение данной модели непосредственно на АЭС, требует дополнительных корректировок.

Вышеописанные решения можно объединить в единую систему интеллектуальной помощи операторам АЭС, что позволит получить эффективный инструмент для повышения надёжности станции (рис. 1).

Проактивное управление эксплуатационными процессами

Технологии, использующиеся на АЭС, постоянно развиваются и совершенствуются, однако прежде чем переходить к их непосредственному тестированию на реальных станциях, необходимо провести комплекс предварительных экспериментальных и модельных исследований. Эти мероприятия являются необходимыми для предотвращения возможных внештатных и аварийных ситуаций. Модель АЭС, или её компонентов, позволит оценить ожидаемые преимущества и недостатки предлагаемых решений, а также приблизительно определить их эффективность. Помимо этого, модель поможет отсеять нецелесообразные решения, либо исправить допущенные в ходе расчётов ошибки.

Так, Hu G. и др. в [14] доказали превосходство методов машинного обучения для диагностики и моделирования компонентов реактора перед физическими моделями. Исследование проведено при использовании реальных данных АЭС. В [15] авторы предлагают модель, основанную на экспериментальных данных, для оценки запаса критичности реактора ВВР-ц, что позво-

лит проводить все необходимые расчёты, не прибегая к большим вычислительным мощностям. Помимо непосредственного моделирования процессов в реакторе, нейронные сети возможно использовать для оптимизации его эксплуатационных процессов [16].

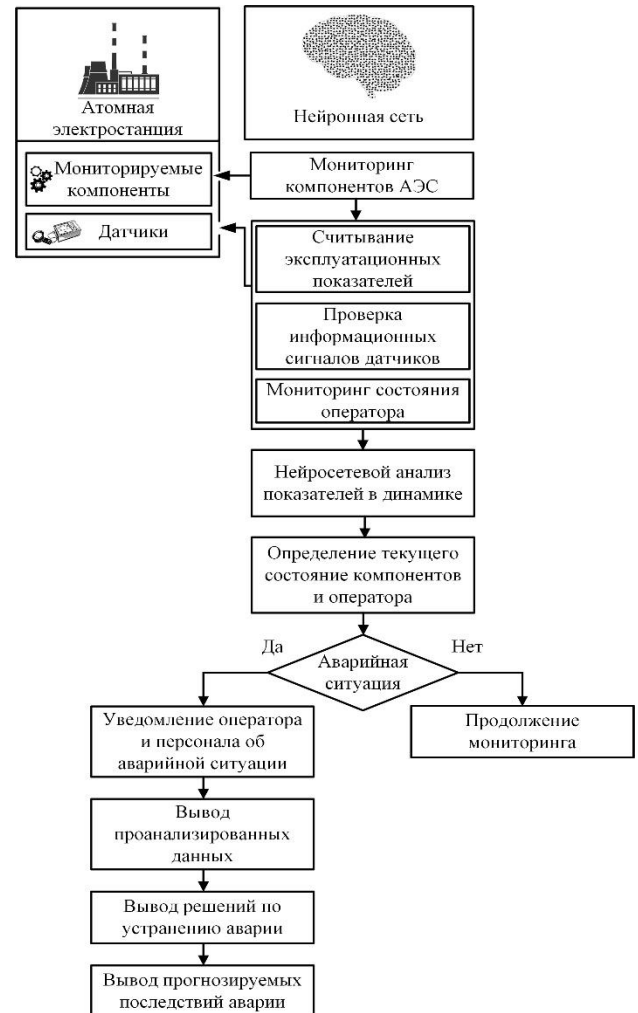


Рис. 1. Упрощённая схема интеллектуальной системы помощи операторам АЭС

Chan Y. K. и Gu J. C. в [17] смогли доказать, что предлагаемое ими решение для прогнозирования производительности турбогенератора с использованием адаптивной системы нейро-нечёткого вывода (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) превосходит коммерческий продукт от PEPSE по эффективности и надёжности. В [18] представлена гибридная нейронная сеть для моделирования термодинамического поведения АЭС с использованием реальных данных энергопотребления за летний период. Представленная модель является альтернативой традиционным процедурам моделирования, используемым в

других системах мониторинга теплового режима. Преимуществами данного решения являются: существенное сокращение времени обучения, возможность обучение нейронной сети на динамичных данных, а также минимальное расхождение ($<0.1\%$) между расчётами тепловых показателей и результирующими данными нейронной сети.

Также, помимо моделирования процессов, протекающих в различных системах АЭС, не следует забывать и о внешних факторах, таких как сейсмоустойчивость станции. Wang Z. и др. разработали нейросетевую модель для оценки сейсмоустойчивости конструкций АЭС. Технология позволяет предусмотреть необходимые мероприятия и конструкционные решения ещё на стадии строительства, что позволит избежать финансовые потери ввиду возможного разрушения станции [19]. Также, данная модель позволит дополнительно проверить устойчивость уже построенных объектов.

Диагностика

Многие применяемые системы диагностики АЭС основываются на непрерывном считывании различных эксплуатационных параметров АЭС, что влечёт за собой непрерывную обработку больших данных (Big Data). Стандартными системами диагностики корректно обработать такой поток информации не представляется возможным в режиме реального времени. Ввиду чего, для работы с Big Data используют искусственные нейронные сети, которые позволяют комплексно обрабатывать временные ряды с целью поиска возможных аномалий.

Аномалии (исчерпание ресурса, дефекты, отказы и т.п.) могут иметь вид резких скачков во временных рядах, а также проявляться себя, как постепенного убывающий или нарастающий процесс, незаметный для внешнего наблюдателя [20]. Нейронные сети должны быть обучены выявлять подобные аномальные (внештатные, переходные) процессы, а также отличать их от штатных [21].

В работах [22, 23] авторами приводятся комплексные подходы для диагностики АЭС, позволяющие обнаружить процессы перехода компонентов АЭС из нормального режима работы в аварийный. Yong-kuo L. и др. в [24] дополнительно предлагают решение, способное на определение местоположения текущей неисправности, а также цепочки возможных дальнейших неисправностей и уровня их серьёзности для стан-

ции. В [25] авторами предлагается алгоритм обнаружения аномалий в работе реакторного оборудования, основанный на использовании вариационного автоэнкодера, реализованного на основании функционирования двунаправленных рекуррентных нейронных сетей, использующих гауссово распределение для определения внутренней структуры временных рядов. К достоинствам предлагаемого алгоритма можно отнести обучение нейронной сети без учителя и относительно малый размер латентного пространства вариационного автоэнкодера. В работе [26] также рассматривается применение двухуровневой модели прогнозирования аномальных ситуаций, способной на определение необходимой процедуры решения проблемы и выявления её первопричины. Также, при интеллектуальном мониторинге состояния АЭС важно учесть то, что используемая нейронная сеть может быть не обучена распознавать некоторые аварийные сценарии. Ввиду чего, Embrechts M. J. и Benedek S. в [27] была разработана гибридная методология, способная корректно классифицировать немаркированные переходные процессы.

Помимо аномальных ситуаций, возникающих в компонентах АЭС, также следует учитывать экологическую опасность, которую несёт в себе теплоноситель. Так, Zhang Y. J. и Hu L. S. в своём исследовании [28], представили нейронную сеть для оценки содержания радионуклидов в воде первого контура реактора в режиме реального времени.

Выводы

Атомные электростанции являются сложными, многокомпонентными и дорогостоящими системами, снабжающими общество экологически чистой электроэнергией. Однако, при возникновении аварийных и внештатных ситуаций, они могут нанести серьёзный вред окружающей среде и обслуживающему персоналу, а также заставить государство, понести серьёзные финансовые и материальные издержки. Ввиду этого руководству АЭС необходимо уделять особое внимание комплексному мониторингу, диагностике и моделированию компонентов станции, что влечёт за собой внедрение новых технологий и совершенствование традиционных.

С появлением и развитием искусственных нейронных сетей, способных на комплексный анализ временных рядов, предиктивную аналитику и самообучение, стало ясно, что данный инструмент является оптимальным для решения за-

дачи мониторинга и диагностики сложных систем. В связи с чем, активное развитие получили такие направления ядерной энергетики, как: системы поддержки операторов АЭС, проактивное управление эксплуатационными процессами, обнаружение аномалий в работе оборудования и т.п. Внедрение технологий искусственного интеллекта, в дополнение к традиционным решениям, позволит увеличить надёжность станций, минимизировать вероятность аварийных и внештатных ситуаций. Однако, прежде чем повсеместно внедрять интеллектуальные технологии, они должны пройти дополнительные исследования и тестирования.

Работа была выполнена при поддержке «Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (Фонда содействия инновациям).

Список литературы

1. Tarey V., kumar Sharma P., Jain S. Design of Artificial Neural Network for Nuclear Reactor //International journal of emerging technology and advanced engineering. – 2012. – Т. 2. – №. 4. – С. 437-42.
2. Jouse W. C., Williams J. G. Safety control of nuclear power operations using self-programming neural networks //Nuclear science and engineering. – 1993. – Т. 114. – №. 1. – С. 42-54.
3. Guo Z., Uhrig R. E. Nuclear power plant performance study by using neural networks //IEEE transactions on nuclear science. – 1992. – Т. 39. – №. 4. – С. 915-918.
4. Nikolopoulos C., Fellrath P. A hybrid expert system for investment advising //Expert Systems. – 1994. – Т. 11. – №. 4. – С. 245-250.
5. Da Silva F. L. et al. Uncertainty-aware action advising for deep reinforcement learning agents //Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. – 2020. – Т. 34. – №. 04. – С. 5792-5799.
6. Поваров В. П. Обобщенная структура системы принятия решений в условиях потенциально опасных объектов атомной энергетики //Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2018. – Т. 14. – №. 2.
7. Santosh T. V. et al. Diagnostic system for identification of accident scenarios in nuclear power plants using artificial neural networks //Reliability Engineering & System Safety. – 2009. – Т. 94. – №. 3. – С. 759-762.
8. Santosh T. V. et al. Application of artificial neural networks to nuclear power plant transient diagnosis //Reliability Engineering & System Safety. – 2007. – Т. 92. – №. 10. – С. 1468-1472.
9. Lee S. J., Seong P. H. A dynamic neural network based accident diagnosis advisory system for nuclear power plants //Progress in Nuclear Energy. – 2005. – Т. 46. – №. 3-4. – С. 268-281.
10. Плиева М. Т., Силаев В. И. Искусственный интеллект в технологических процессах атомных электростанций //Современные тенденции развития информационных технологий в научных исследованиях и прикладных областях. – 2020. – С. 104-107.
11. Hou J., Ni K., Hawari A. An Artificial Neural Network Based Anomaly Detection Algorithm for Nuclear Power Plants //Transactions. – 2019. – Т. 120. – №. 1. – С. 219-222.
12. Fantoni P. F., Mazzola A. Multiple-failure signal validation in nuclear power plants using artificial neural networks //Nuclear technology. – 1996. – Т. 113. – №. 3. – С. 368-374.
13. Wu Y. et al. Using artificial neural networks for predicting mental workload in nuclear power plants based on eye tracking //Nuclear Technology. – 2020. – Т. 206. – №. 1. – С. 94-106.
14. Hu G., Zhou T., Liu Q. Data-Driven Machine Learning for Fault Detection and Diagnosis in Nuclear Power Plants: A Review //Frontiers in Energy Research. – 2021. – Т. 9. – С. 185.
15. Легчиков Д. К. и др. Построение нейросетевой модели реактора ВВР-ц для прогнозирования запаса критичности //Научное развитие технологий в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе. – 2014. – с. 10.
16. Белявцев И. П., Старков С. О. Моделирование и оптимизация эксплуатационных процессов на атомных электростанциях с использованием методов искусственного интеллекта // Научное развитие технологий в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе. – 2014. – С. 4.
17. Chan Y. K., Gu J. C. Modeling of turbine cycles using a neuro-fuzzy based approach to predict turbine-generator output for nuclear power plants //Energies. – 2012. – Т. 5. – №. 1. – С. 101-118.
18. Guo Z., Uhrig R. E. Use of artificial neural networks to analyze nuclear power plant performance //Nuclear Technology. – 1992. – Т. 99. – №. 1. – С. 36-42.
19. Wang Z. et al. Seismic fragility analysis with artificial neural networks: Application to nuclear power plant equipment //Engineering Structures. – 2018. – Т. 162. – С. 213-225.
20. Yong-kuo L. et al. Research and design of distributed fault diagnosis system in nuclear power plant //Progress in Nuclear Energy. – 2013. – Т. 68. – С. 97-110.
21. Nabeshima K. et al. Real-time nuclear power plant monitoring with neural network //Journal of nuclear science and technology. – 1998. – Т. 35. – №. 2. – С. 93-100.
22. Mo K., Lee S. J., Seong P. H. A dynamic neural network aggregation model for transient diagnosis in nuclear power plants //Progress in nuclear energy. – 2007. – Т. 49. – №. 3. – С. 262-272.
23. Wang H. et al. Advanced fault diagnosis method for

nuclear power plant based on convolutional gated recurrent network and enhanced particle swarm optimization //Annals of Nuclear Energy. – 2021. – Т. 151. – С. 107934.

24. Yong-kuo L. et al. A cascade intelligent fault diagnostic technique for nuclear power plants //Journal of Nuclear Science and Technology. – 2018. – Т. 55. – №. 3. – С. 254-266.
25. Трыков Е. Л., Трыкова И. В., Коцоев К. И. Обнаружение аномалий в работе реакторного оборудования с помощью нейросетевых алгоритмов. – 2020.
26. Kim J. M. et al. Abnormality diagnosis model for nuclear power plants using two-stage gated recurrent units //Nuclear Engineering and Technology. – 2020. – Т. 52. – №. 9. – С. 2009-2016.
27. Embrechts M. J., Benedek S. Hybrid identification of nuclear power plant transients with artificial neural networks //IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2004. – Т. 51. – №. 3. – С. 686-693.
28. Zhang Y. J., Hu L. S. Real time estimation of radionuclides in the receiving water of an inland nuclear power plant based on difference gated neural network //Radiation Physics and Chemistry. – 2020. – Т. 176. – С. 109019.

References

1. Tarey V., kumar Sharma P., Jain S. Design of Artificial Neural Network for Nuclear Reactor //International journal of emerging technology and advanced engineering. – 2012. – Т. 2. – №. 4. – С. 437-42.
2. Jouse W. C., Williams J. G. Safety control of nuclear power operations using self-programming neural networks //Nuclear science and engineering. – 1993. – Т. 114. – №. 1. – С. 42-54.
3. Guo Z., Uhrig R. E. Nuclear power plant performance study by using neural networks //IEEE transactions on nuclear science. – 1992. – Т. 39. – №. 4. – С. 915-918.
4. Nikolopoulos C., Fellrath P. A hybrid expert system for investment advising //Expert Systems. – 1994. – Т. 11. – №. 4. – С. 245-250.
5. Da Silva F. L. et al. Uncertainty-aware action advising for deep reinforcement learning agents //Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. – 2020. – Т. 34. – №. 04. – С. 5792-5799.
6. Povarov V. P. Generalized structure of the decision-making system in the conditions of potentially dangerous nuclear power facilities //Bulletin of the Voronezh State Technical University. – 2018. – Vol. 14. – No. 2.
7. Santosh T. V. et al. Diagnostic system for identification of accident scenarios in nuclear power plants using artificial neural networks //Reliability Engineering & System Safety. – 2009. – Т. 94. – №. 3. – С. 759-762.
8. Santosh T. V. et al. Application of artificial neural networks to nuclear power plant transient diagnosis //Reliability Engineering & System Safety. – 2007. – Т. 92. – №. 10. – С. 1468-1472.
9. Lee S. J., Seong P. H. A dynamic neural network based accident diagnosis advisory system for nuclear power plants //Progress in Nuclear Energy. – 2005. – Т. 46. – №. 3-4. – С. 268-281.
10. Plieva M. T., Silaev V. I. Artificial intelligence in technological processes of nuclear power plants //Modern trends in the development of information technologies in scientific research and applied fields. – 2020. – pp. 104-107.
11. Hou J., Ni K., Hawari A. An Artificial Neural Network Based Anomaly Detection Algorithm for Nuclear Power Plants //Transactions. – 2019. – Т. 120. – №. 1. – С. 219-222.
12. Fantoni P. F., Mazzola A. Multiple-failure signal validation in nuclear power plants using artificial neural networks //Nuclear technology. – 1996. – Т. 113. – №. 3. – С. 368-374.
13. Wu Y. et al. Using artificial neural networks for predicting mental workload in nuclear power plants based on eye tracking //Nuclear Technology. – 2020. – Т. 206. – №. 1. – С. 94-106.
14. Hu G., Zhou T., Liu Q. Data-Driven Machine Learning for Fault Detection and Diagnosis in Nuclear Power Plants: A Review //Frontiers in Energy Research. – 2021. – Т. 9. – С. 185.
15. Legchikov D. K. et al. Building a neural network model of the VVR-c reactor for predicting the criticality margin //High-tech technologies in instrumentation and mechanical engineering and the development of innovative activities in the university. – 2014. – p. 10.
16. Belyavtsev I. P., Starkov S. O. Modeling and optimization of operational processes at nuclear power plants with the use of artificial intelligence methods // High-tech technologies in instrumentation and mechanical engineering and the development of innovative activities at the university. – 2014. – p. 4.
17. Chan Y. K., Gu J. C. Modeling of turbine cycles using a neuro-fuzzy based approach to predict turbine-generator output for nuclear power plants //Energies. – 2012. – Т. 5. – №. 1. – С. 101-118.
18. Guo Z., Uhrig R. E. Use of artificial neural networks to analyze nuclear power plant performance //Nuclear Technology. – 1992. – Т. 99. – №. 1. – С. 36-42.
19. Wang Z. et al. Seismic fragility analysis with artificial neural networks: Application to nuclear power plant equipment //Engineering Structures. – 2018. – Т. 162. – С. 213-225.
20. Yong-kuo L. et al. Research and design of distributed fault diagnosis system in nuclear power plant //Progress in Nuclear Energy. – 2013. – Т. 68. – С. 97-110.
21. Nabeshima K. et al. Real-time nuclear power plant monitoring with neural network //Journal of nuclear science and technology. – 1998. – Т. 35. – №. 2. – С. 93-100.
22. Mo K., Lee S. J., Seong P. H. A dynamic neural network aggregation model for transient diagnosis in

- nuclear power plants //Progress in nuclear energy. – 2007. – Т. 49. – №. 3. – С. 262-272.
23. Wang H. et al. Advanced fault diagnosis method for nuclear power plant based on convolutional gated recurrent network and enhanced particle swarm optimization //Annals of Nuclear Energy. – 2021. – Т. 151. – С. 107934.
 24. Yong-kuo L. et al. A cascade intelligent fault diagnostic technique for nuclear power plants //Journal of Nuclear Science and Technology. – 2018. – Т. 55. – №. 3. – С. 254-266.
 25. Trykov E. L., Rykova I. V., Kotsoev K. I. Detection of anomalies in the operation of reactor equipment using neural network algorithms. - 2020.
 26. Kim J. M. et al. Abnormality diagnosis model for nuclear power plants using two-stage gated recurrent units //Nuclear Engineering and Technology. – 2020. – Т. 52. – №. 9. – С. 2009-2016.
 27. Embrechts M. J., Benedek S. Hybrid identification of nuclear power plant transients with artificial neural networks //IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2004. – Т. 51. – №. 3. – С. 686-693.
 28. Zhang Y. J., Hu L. S. Real time estimation of radionuclides in the receiving water of an inland nuclear power plant based on difference gated neural network //Radiation Physics and Chemistry. – 2020. – Т. 176. – С. 109019.

УДК 621.039.5:621.039.7

Зачем атомной энергетике нужны жидкосольевые реакторы?

В.В. Шаповаленко¹, К.Б. Матузаев², К.П. Аникевич³¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33 г. Севастополь, 299053, Россия, ¹shapovalenkova@rambler.ru, ²matuzaev@mail.ru, ³anikonst@mail.ru

Статья поступила 25.11.2021 г. ; после доработки 27.11.2021 г.

Аннотация

Рассмотрены достоинства и недостатки эксплуатации жидкосольевого реактора и перспективы его использования в двухкомпонентном замкнутом ядерном топливном цикле.

Ключевые слова: гомогенный реактор, жидкосольевой реактор, минорные актиниды, утилизация радиоактивных отходов.

Why does nuclear power need liquid salt reactors?

V.V.Shapovalenko¹ K.B.Matuzaev², K.P.Anikevich³

Sevastopol stat university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,

¹shapovalenkova@rambler.ru, ²matuzaev@mail.ru, ³anikonst@mail.ru

Received 25.11.2021 y. ; received in final form 27.11.2021 y.

Abstract

The advantages and disadvantages of operating a liquid salt reactor are considered. Prospects of using the reactor in a two-component closed nuclear fuel cycle.

Keywords: homogeneous reactor, liquid salt reactor, minor actinides, radioactive waste disposal.

Введение

Жидкосольевые реакторы – проекты реакторов, которые остались на уровне исследовательских реакторов и не получили своего развития из-за отсутствия видения перспектив их применения в ядерной энергетике. Те немногие проекты жидкосольевых реакторов, которые были построены, вскоре были остановлены.

Предпочтение было отдано развитию гетерогенным водоохлаждаемым реакторам: водяным реакторам под давлением (PWR, ВВЭР) и реакторам корпусного и канального типа с водным кипящим теплоносителем. Это направление и на сегодняшний день является приоритетным.

Почему же именно сейчас обратили внимание на давно забытый проект жидкосольевых реакторов. А все дело в том, что атомной энергетике пришлось столкнуться с решением глобаль-

ной проблемы - утилизацией огромного количества радиоактивных отходов.

Цель и постановка задачи

Обзор конструктивных решений жидкосольевых ядерных реакторов, изучение направлений его применения в ядерной энергетике.

Концептуальные проекты жидкосольевых реакторов.

Жидкосольевой реактор- это высокотемпературный реактор, в котором используется расплав солей.

Жидкосольевой реактор может работать как на тепловом, так и на быстром спектре нейтронов. Активная зона реактора может быть гомогенного исполнения, в этом случае однородная

смесь топлива, замедлителя и теплоносителя используется в виде раствора или расплавов, либо гетерогенного исполнения, когда теплоноситель, замедлитель и ядерное топливо конструктивно разделены между собой.

Для гомогенного жидкосолевого реактора активную зону формирует гомогенная расплавленная смесь из фторидов солей и фторида делящегося материала (урана, плутония или тория). Топливная композиция одновременно служит теплоносителем первого контура.

Имеется практический опыт эксплуатации жидкосолевых реакторов. За рубежом в 1960-х годах был построен реактор MSRE (Molten-Salt Reactor Experiment) тепловой мощностью 7,4 МВт с гомогенным исполнением активной зоны, где в расплаве соли $2\text{LiF}\cdot\text{BeF}_4$ содержится топливо в виде раствора фторидов урана и тория (UF_4 и ThF_4).

Реактор MSRE работал на среднеэнергетическом тепловом спектре нейтронов. В качестве делящегося изотопа использовался изотоп урана ^{233}U , который образуется в результате взаимодействия тепловых нейтронов с торием ^{232}Th . Проработав пять лет, был остановлен из-за нерентабельности и отсутствия финансирования исследовательской программы.

Проработки концепций реализации жидкосолевых реакторов продолжаются.

Специалисты из компании Kairos Power и Materion рассматривают другой подход к формированию активной зоны жидкосолевого ядерного реактора. Согласно описанию проекта, в качестве теплоносителя будет использоваться расплав фторида бериллия.

Расплавленные фториды обладают идеальными свойствами: хорошая теплопередача, химическая стойкость, способность удерживать радиоактивные продукты деления, которые впоследствии могут быть извлечены для утилизации. Топливом будет TRISO — твэлы шарообразной формы, состоящие из трех слоев: сердечника из оксида урана, графитового замедлителя и металлической или керамической оболочки. Тепловая схема АЭС с жидкосолевым реактором с шарообразной засыпкой твэлами активной зоны представлена на рисунке 1.

В России в программе развития атомной энергетики значится разработка технического решения жидкосолевого реактора и предполагаемое его строительство совместно с комплексом производства и переработки топлива на площадке Горно-химического комбината.

НИКИЭТ назначен главным конструктором жидкосолевой исследовательской реакторной

установки, вопросами изготовления, переработки топлива и обращения с радиоактивными отходами будет заниматься ВНИИНМ им. А. А. Бочвара, расчетами нейтронно-физических характеристик активной зоны — РФЯЦ-ВНИИТФ, НИЦ «Курчатовский институт».

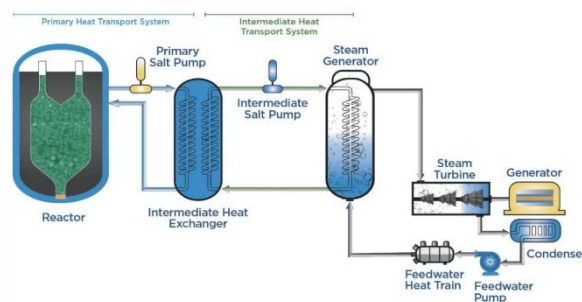


Рис.1. Тепловая схема АЭС с жидкосолевым ядерным реактором с шарообразными твэлами

Возможно, в рамках отдельного проекта будет создан фрагмент петли жидкосолевого реактора на базе сооружаемого реактора МБИР.

Тепловая мощность проектируемого для Горно-химического комбината исследовательского жидкосолевого реактора составит 10 МВт.

В качестве топливной составляющей планируется использовать тетрафторид плутония, растворенный в смеси фторидов лития и бериллия (соль FLiBe). Рассматриваются и другие сочетания, например, соль на основе фторидов лития, натрия и калия FLiNaK . В смесь также будут добавлять фториды минорных актинидов (амерიცия, нептуния, кюрия) для их выжигания. У FLiNaK растворимость делящихся материалов по сравнению с FLiBe выше. Но пока нет готового конструкционного материала, коррозионно-устойчивого к расплаву фторидов лития, натрия и калия. Поэтому с целью обеспечения безопасности на данный момент отдается предпочтение FLiBe в связи с меньшим коррозионным воздействием на имеющиеся материалы, используемые в ядерной энергетике для изготовления основного оборудования АЭС.

Следует отметить основные особенности эксплуатации гомогенных жидкосолевых ядерных реакторов:

- реакторы обладают свойством «естественной безопасности»: температурный и пустотный коэффициенты реактивности в нем отрицательны, что исключает тяжелые аварии;
- является высокотемпературным реактором, в котором нагрев расплава солей может достигать 700°C , при этом давление в контуре

опыта создания и эксплуатации жидкосолевого реактора, необходимость проведения большого объема научно-исследовательской, материаловедческой работы в области создания материалов, способных длительное время обеспечивать надежность конструкции при взаимодействии с жидкосолевым расплавом, отсутствие отработанной технологии выделения из топливной композиции отработанного ядерного топлива тепловых реакторов фторидов плутония, нептун

ия, америция и кюрия для стартовой загрузки, последующих перегрузок и введение этих добавок в несущую соль жидкосолевого реактора.

Заключение

Таким образом, жидкосольевой реактор может рассматриваться не только как установка для сжигания радиоактивных отходов, но и как наработчик плутония. Плутоний в последующем может быть выделен из топливной композиции жидкосолевого реактора и использован для создания смешанного уран-плутониевого топлива для быстрых реакторов с жидкометаллическим теплоносителем.

Выделение и утилизация высокорadioактивных отходов позволит реализовать «приповерхностное» хранение отходов, что значительно снизит затраты на его хранение.

Литература

1. Комментарии специалистов Росатома газета «Страна Росатом», «Лаборатория» № 3–4 (62–63).
2. Матвеев В.И. Техническая физика быстрых реакторов с натриевым теплоносителем / В.И. Матвеев, Ю.С. Хомяков; под ред. чл.-корр В.И. Рачкова – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 356
3. С.В. Широков Ядерные энергетические реакторы. – Киев.: Киевский политехнический институт, 1997г.

References

1. Comments of Rosatom specialists newspaper “Strana Rosatom”, “Laboratory” No. 3-4 (62-63).
2. Matveev V.I. Technical physics of fast reactors with sodium coolant / V.I. Matveev, Yu.S. Khomyakov; under the editorship of Corresponding Member V.I. Rachkov – M.: MPEI Publishing House, 2012. – 356
3. S.V. Shirokov Nuclear Power Reactors. – Kiev: Kiev Polytechnic Institute, 1997.

НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

УДК 621.315.592.669

Получение солнечного кремния для ФЭП

Довгаленко В.В., Матузаева О.В., Мирошниченко Е.В., Гайдук С.В.,
Петула Т.Е.

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Курчатова, 7 г. Севастополь, 299015, Россия,
fizik71@yandex.ru, olga.matuzaeva@mail.ru, evgenijamir@50gmail.com, yursvetden@mail.ru,
amelitte236@gmail.com.

Статья поступила 08.11.2021 г. ; после доработки 10.11.2021 г.

Аннотация

В данной статье приведены основные методики получения кремния солнечной чистоты, дан их анализ в разрезе наибольшей практичности и экономичности. Приведено краткое описание крупнейших компаний мира с точки зрения ожидаемых производственных мощностей к концу 2021 года.

Одной из перспективнейших отраслей альтернативной энергетики на сегодняшний день является развитие фотовольтаики. Данный факт связан с созревающим энергетическим кризисом, обострением экологической ситуации в мире, а также ростом цен на традиционное топливо.

Ключевые слова: ФЭП (фотоэлектрические преобразователи), энергоресурсы, поликремний, фотоэлектрические модули, хлорсилановый метод, альтернативная технология получения моносилана, разработки новой бесхлорной алкоксилановой технологии.

Obtaining solar silicon for FEP

Dovgalenko V.V., Matuzaeva O.V., Miroshnichenko E.V., Gaiduk S.V.,
Petula T.E.

Sevastopol state university, Kurchatova, 7 Sevastopol, 299015, Russia,
fizik71@yandex.ru, olga.matuzaeva@mail.ru, evgenijamir@50gmail.com, yursvetden@mail.ru,
amelitte236@gmail.com.

Received 08.11.2021 y. ; received in final form 10.11.2021 y

Abstract

This article presents the main methods of obtaining silicon of solar purity, their analysis is given in the context of the greatest practicality and economy. A brief description of the world's largest companies in terms of expected production capacity by the end of 2021 is given.

One of the most promising branches of alternative energy today is the development of photovoltaics. This fact is associated with the maturing energy crisis, the aggravation of the environmental situation in the world, as well as rising prices for traditional fuel.

Keywords: FEP (photovoltaic converters), energy resources, polysilicon, photovoltaic modules, chlorosilane method, alternative technology for monosilane production, development of new chlorine-free alkoxy silane technology.

Введение

Энергоресурсы являются важнейшим ком-

понентом развития любого государства и человеческого общества в целом. В то же время обострение экологических проблем, сокращение

запасов ископаемых энергоресурсов и стремление к независимости от энергопоставщиков подталкивают человечество к развитию и поиску доступных экологически чистых возобновляемых источников энергии, среди которых важной место занимает солнечная энергетика. Европарламент принял директиву, согласно которой страны-члены Европейского Союза должны увеличить долю возобновляемых источников энергии в общей выработке электроэнергии до 32% к 2030 году, при этом производители солнечной энергии отметили, что их доля составила не более 20%. Новая версия Директивы о ВИЭ (Возобновляемых Источников Энергии) (Renewable Energy Directive) предполагает большой скачок, нынешний документ повышает планку до 40%. Такое различие спроса и предложения в солнечной энергетике связано с отсутствием необходимых мощностей в условиях стимулированного развития солнечной энергетики и высокими ценами на солнечную энергию. Развитие технологий получения поликристаллического кремния для солнечных элементов позволит снизить стоимость данного источника энергии, что повлечет за собой увеличение спроса на фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) и, соответственно, на поликремний.

Структура рынка

Кремний в значительной степени удовлетворяет условиям «идеальных» полупроводниковых материалов для создания фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) [1]. Преимуществами кремния являются его высокая распространенность в природе (более трети всех полезных ископаемых содержат кремний), нетоксичность и относительная дешевизна. Эти обстоятельства, а также широкое развертывание индустрии по производству приборов полупроводниковой электроники привели к тому, что к концу 2020 года доля ФЭП на основе кремния составила 90 %.

Основным недостатком однопереходных ФЭПов на основе солнечного кремния является относительно невысокий КПД (не более 21 % на современном этапе развития производства).

Быстрый рост промышленности фотоэлектрических преобразователей с 2000 года привел к ситуации, когда в период между 2004 и началом 2008 года спрос на поликремний опередил поставки от полупроводниковой промышленности. Цены на очищенный кремний начали резко расти в 2007 году и в 2008 году достигли максимума - около 500 \$/кг, что привело к повышению

цен на фотоэлектрические модули. Этот экстремальный рост цен вызвал значительное расширение мощностей уже существующих кампаний, а также к появлению новых.

В настоящее время в мире более 100 компаний производят или запускают производство поликремния. По итогам доклада немецкой компании Bernreuter Research 2020 года, китайский производитель Tongwei стал крупнейшим производителем поликремния с общей производственной мощностью 96000 тонн. За ним следуют китайская GCL-Poly с 90000 т, немецкая Wacker Chemie с 84000 т, китайские Daqo New Energy и Xinte Energy с 80000 т и китайский производитель East Hope с 40000 тонн.

Polysilicon capacities of the Big Six in 2020

No.	Manufacturer	Capacity
1	Tongwei	96,000 MT
2	GCL-Poly	90,000 MT
3	Wacker	84,000 MT
4	Daqo New Energy	80,000 MT
5	Xinte Energy	80,000 MT
6	East Hope	40,000 MT
	Total	470,000 MT



Six manufacturers will form a new polysilicon super league – Chart: Bernreuter Research

Анализ производственных мощностей крупнейших компаний-производителей солнечного кремния для ФЭПов позволяет сделать следующие выводы – наибольшие мощности сосредоточены в следующих регионах: юго-восточная Азия (Китай, Тайвань, Япония); центральная и западная Европа; северная Америка (США).

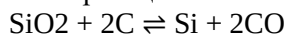
Развитие данной отрасли в регионах обусловлено следующими факторами: высокая плотность населения и большая концентрация промышленных объектов, требующих колоссальных затрат энергии; ограниченный запас топливных природных ископаемых, таких как нефть, уголь, газ; высокий научно-технический потенциал, позволяющий создавать новейшие разработки; наличие инвестиционной составляющей и государственной поддержки, позволяющей внедрять в жизнь «зелёные проекты».

Методы получения кремния «солнечного» качества

Для получения кремния необходимой чистоты используют следующие методы: классический хлорсилановый метод получения полупроводникового кремния, газотранспортные методы (моносилановый и йодидный) получения кремния высокой чистоты, получение металлургического кремния с последующей его доочисткой до

уровня кремния мари «солнечный», электрохимический метод, неклассические методы восстановления кремния из кремнезема и фторсиликатов.

По классической технологии получения металлургического кремния восстановление кремнезема проводят в рудовосстановительных электрических печах при температуре 2073 – 2673 К по реакции:

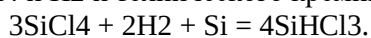


В качестве восстановителей используют ретортный древесный уголь, нефтяной кокс и молодые малозольные каменные угли. Получаемый таким способ кремний содержит большое количество примесей, которые поступают как из исходного кремнезема, так и из используемого восстановителя [2]. Также примесью является и сам восстановитель. Полученный продукт химическим путем переводят в газообразное состояние

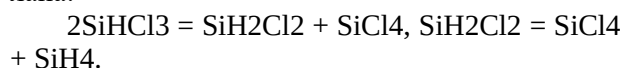
SiHCl_3 , SiH_4 , SiH_2X_2 , SiH_3X , где $\text{X} = \text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$.

Далее, посредством газотранспортных реакций и ректификации, очищают его, и водородным восстановлением или термическим пиролизом восстанавливают до кремния полупроводниковой чистоты [3]. Получаемый хлорсилановым способом кремний отличается высокой чистотой, но в тоже время имеет ряд существенных недостатков, таких как: высокая энергоемкость метода (до 300 кВт·ч/кг кремния [4]), сложность организации небольшого производства [5] и экологическая небезопасность метода. Классическая технология широко известна и освоена на уровне близком к теоретическому [3].

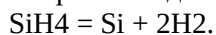
Моносилановый метод получения полупроводникового кремния проходит в три этапа. Первый этап – синтез трихлорсилана из оборотных SiCl_4 и H_2 и технического кремния.



Реакция протекает при 500оС, 30 МПа и присутствии катализатора. Второй этап – каталитическое диспропорционирование трихлорсилана:



Каталитическая реакция протекает при 6000С и 0,3 МПа. На заключительном этапе происходит пиролиз силана при температуре 800-1000оС в реакторе свободного пространства или в реакторе с псевдожизненным слоем:

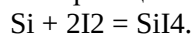


Получаемый данным способом высокочистый кремний имеет относительно невысокую стоимость за счет невысоких температур проведения процессов и почти 100%-ному извлечению

кремния. Важным минусом описанного способа является высокая взрывоопасность моносилана.

В дихлорсилановом методе начальная стадия аналогична описанному выше моносилановому методу, а заключительная стадия как у трихлорсиланового метода. Степень извлечения кремния в данном способе составляет 40 % [3].

Йодидная технология получения кремния является классическим примером применения газотранспортных реакций для получения высокочистых веществ. В основе метода лежит равновесная реакция

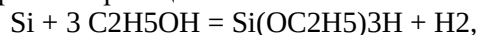


Равновесие в данной системе легко смещается при относительно небольшом изменении температуры. Так взаимодействие кремния с йодом начинается при температуре 700 – 800оС, а температура пиролиза тетраиодида кремния – 1100 – 1200оС. Приводятся данные о двух технологических воплощениях данного процесса: монореакторный, в котором происходит взаимодействие кремния с йодом при температуре 700 – 800оС и там же, на раскаленной до необходимой температуры нити, пиролиз SiI_4 ; и отдельный синтез и пиролиз, с очисткой промежуточного тетраиодида кремния в дистилляционной колонне. Образующийся в результате пиролиза йод рециркулирует [2].

Данный метод высокое потребление энергии, что приводит к увеличению стоимости полупроводникового кремния.

Существует альтернативная технология получения моносилана, отличающаяся от рассмотренной выше моносилановой технологии одним этапом. Вместо используемого в традиционном методе диспропорционирования хлорсиланов используют взаимодействие тетрахлорсилана с гидридом лития. Образующийся в результате LiCl направляется на электролиз и гидрирование, после чего снова вступает в каталитический цикл [5].

В 2000-2003 годах проводились совместные российско-американские разработки новой бесхлорной алкоксисилановой технологии получения полупроводникового кремния, в которой также использовался металлургический кремний и газотранспортные реакции. Суть технологии заключалась во взаимодействии металлургического кремния с абсолютизированным этиловым спиртом по реакции:



которая проходила при температуре 280оС и в присутствии медного катализатора. Далее проводили каталитическое диспропорционирование триэтоксисилана в присутствии этилата

натрия по схеме:



Образующийся моносилан разлагали пиролитически при температуре 850-900°C. Образующийся в результате реакции $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ подвергали гидролизу с образованием кремнезоля как побочного продукта реакции и этилового спирта, который возвращали на первую стадию. В результате была создана пилотная установка производительностью 400 кг/год [6]. Недостатком этого способа является большое количество побочных продуктов в виде тетраэтоксисилана, который используют для получения кремнезоля и диоксида кремния.

Еще один путь металлургического кремния, приближающего его к солнечному, – очистка до ультраметаллургического (UMG) [6]. Так норвежское предприятие ELKEM Solar в 2004 году произвела кремний «солнечного» качества по технологии очистки расплава технического кремния. Использовались химические методы очистки, такие как: отжиг, травление, декантация, сплавление под флюсом и др. Произведенные из данного кремния ФЭП имели КПД 16 - 18 %. Другим примером очистки технического кремния является японская компания JFE Steel [5]. Особенностью их подхода является применение физических методов очистки технического кремния (плазменный нагрев, электронная пушка). Все примеси в продукте находятся на уровне до 0,1 ppm, а производство составляет 200-800 тонн/год. Канадская компания Timmisco сообщило о создании технологии очистки «солнечного» кремния из металлургического. Был заключен контракт с производителем ФЭП, и производство в 2008 году составило 600-800 тонн/год. Кремний, получаемый очисткой технического кремния, может достигать значений чистоты близких к солнечному и использоваться в производстве солнечных элементов либо индивидуально, либо в качестве добавки к полупроводниковому сырью [6]. Существуют попытки очистки не только продукта металлургического восстановления кремния, но и исходных реагентов с целью получения на выходе все того же кремния повышенной чистоты. Такие компании как SINTIF, SolSil, Siemens, Kawasaki Steel Corp. и др. получают поликремний карботермическим восстановлением очищенного кварца особо чистым углеродом [3]. При этом кремнезем очищают перекристаллизацией, кислотным травлением мелкодисперсного порошка или используют природные формы особо чистого кварца. В качестве особо чистого углеродного восстановителя используют графит, обработанный соляной

кислотой либо прокаленный в парах фтороуглерода, а также особо чистая сажа, полученная термическим разложением углеводородов и других органических соединений [3].

Электрохимический метод позволяет получать кремний в виде порошка или поликристаллической пленки из растворов галогенидов кремния в органических растворителях или из смесей на основе галогенидов кремния и диоксида кремния в среде расплавленных солей. Российскими исследователями была предложена фторидная технология, использующая электрохимическое восстановление кремния: кварцевый песок сжигают в оборотном фторе с образованием SiF_4 . Образующийся в результате реакции тетрафторид кремния электролитически восстанавливают до поликремния и фтора, который используют многократно [6]. Более отрицательные, чем кремний, примеси остаются на аноде, благодаря чему удается получить на катоде кремний с содержанием бора, титана, железа, ванадия, хрома, молибдена < 1 ppm. Электролитобразующие примеси (K, Li, F) содержатся в продукте на уровне нескольких ppm. В целом метод имеет хорошие перспективы, но существуют определенные проблемы с организацией процесса в промышленном масштабе. При выращивании из расплава такого кремния монокристалла образуется шлак. В тоже время при использовании в процессе кварцевого тигля происходит его растекание, что приводит к аварийной остановке процесса [2]. Также к электрохимическим методам можно отнести очистку технического кремния в расплаве путем электропереноса примесей в магнитном поле, направленном перпендикулярно направлению электрического тока в расплаве [3].

Неклассические технологии получения кремния можно разделить на несколько групп: фторидные, плазменные и металлические.

Фторидные технологии получили довольно широкую популярность в связи с накоплением отходов других производств, содержащих в своем составе кремний в виде связанной формы SiF_4 .

В свободном виде тетрафторид кремния может быть получен при переработке фторсодержащих отходов. К такому сырью относятся отходы апатитов и отвальный UF_6 . Так в Белоруссии H_2SiF_6 , являющуюся отходом апатитов, переводят в Na_2SiF_6 , который при термическом разложении дает SiF_4 . Тетрафторид кремния далее восстанавливают до моносилана с использованием CaH_2 . Образующийся моносилан подвергается пиролизу в реакторе «кипящего слоя»

[6]. Существует способ получения моноизотопного кремния для приборостроения и солнечной энергетики с использованием отвального гексафторида урана и мелкодисперсного кремнезема. Гетерогенная реакция протекает при 700°C. Выделяющийся в ходе реакции SiF_4 конденсируют, разделяют в центробежном поле на изотопы и используют во второй стадии процесса. Смесь аммиака и тетрафторида кремния подают через коаксиальную форсунку в реактор, футерованный кремнием, при температуре 850-900 °C. Образующийся кремний кристаллизуется на нагретой поверхности реактора, другие продукты реакции из реактора удаляются.

Данные технологии позволяют утилизировать отходы содержащие кремний. Данный метод является относительно молодым и поэтому не может считаться базовой технологией получения полупроводникового кремния.

В более ранних источниках [2] отмечалось, что восстановление тетрафторида кремния возможно только при высоких температурах и процессы на его основе только изучались. Сейчас же существует ряд исследований показывающих, что использование такого активного восстановителя как атомарный водород позволяет проводить процесс восстановления кремния из SiF_4 . Описан способ, позволяющий проводить восстановление кремния из высокочистой гексафторкремниевой кислоты атомарным водородом. Процесс протекает при электролизе воды на поверхности электрода, обладающего каталитическими свойствами атомизации молекул водорода. Существует способ, в котором описано восстановление SiF_4 также с участие активированного водородного восстановителя. В отличие от рассмотренного выше примера, в котором использовалась каталитическая диссоциация водорода, в данном случае «активатором» реакции выступает низкотемпературная плазма, генерируемая лазером.

Действительно, использование плазменных технологий позволяет расширить арсенал методов получения «солнечного» кремния. Кремниевое сырье обычно содержит кремний в термодинамически устойчивом состоянии и довольно тяжело заставить такие вещества вступать в химическое взаимодействие. Использование плазмы решает сразу несколько проблем. Высокая температура в зоне реакции переводит твердые вещества в более активное жидкое и газообразное состояние. Изменяется термодинамика процесса в сторону диссоциации веществ, что выгодно при получении простых веществ или же рекомбинации сложных. В плазме образуются новые

активные частицы – ионизированные атомы и молекулы, электроны, возбужденные молекулы. Наличие таких высокоэнергетических частиц делает возможным протекание невозможных при нормальных условиях реакций. Высокая температура реакции имеет высокую концентрацию и может быть отделена от стенок реактора газовыми потоками, а использование ВЧ и СВЧ разрядов решает проблему загрязнения реакционной смеси материалом электродов. Выше был рассмотрен патент восстановления тетрафторида кремния атомарным водородом в плазме. Идеальным же вариантом является прямое восстановление доступного и экологичного кремнезема. Советскими учеными еще 60-70х года были проведены такие исследования. Было обнаружено, что восстановление водородом протекает эффективнее в неравновесном СВЧ разряде при одинаковых параметрах с ВЧ разрядом. Ключевую роль в данном процессе играет образование большого количества атомов, которые имеют большую проникающую способность и «уносят» кремний с поверхности, что дает «побочный» продукт восстановления – силан [7]. По аналогии с металлургическим карботермическим восстановлением кремнезема с особо чистыми реагентами, исследована возможность прямого плазмохимического восстановления диоксида кремния метаном, но для протекания реакции необходима добавка газа с более высокой энтальпией [3]. Но наиболее распространенным среди плазмохимических методов получения кремния является двустадийный процесс через монооксид кремния [7].

Активные металлы являются сильнейшими восстановителями. Ранее были рассмотрены кремний, водород и углерод, которые не относятся к ним.

Известны методы получения кремния высокой чистоты с использованием Na, Mg, Zn, Al. Натриевая технология получения кремния из отходов фосфатного производства представляет собой замкнутый контур, в котором циркулирует натрий. В него подается кремнийсодержащее сырье (Na_2SiF_6 и K_2SiF_6), являющееся отходами фосфатного производства. Магниева технология нашла свое воплощение в т.н. GREEN-процессе.

Суть процесса можно кратко описать последовательностью стадий: получение силицида магния взаимодействием кремнезема с металлическим магнием; кислотное гидрирование силицида магния с получением силана; очистка SiH_4 ; пиролиз в «реакторе кипящего слоя». И исторически первый метод Бекетова, заключающийся в

цинкотермическом восстановлении тетрахлорсилана: $\text{SiCl}_4 + 2 \text{Zn} = 2 \text{ZnCl}_2 + \text{Si}$ [2]. Последнее время интенсивное развитие наблюдается у алюмотермического метода восстановления кремния из кварцитов.

Проведены исследования сотрудниками Физико-технического института г. Алматы (Казахстан) по получению данным способом кремния повышенной чистоты для солнечной энергетики.

Подобран оптимальный состав шихты и обнаружено, что чистота исходного сырья слабо влияет на чистоту получаемого кремния за исключением примесей бора и фосфора. Применяемая авторами технология шлаковой рафинации привела к резкому снижению фаз CaAl_2Si_2 и $\text{CaAl}_2\text{Si}_{1,5}$ и увеличению доли свободного кремния.

Проведена очистка продукта химическим методом и кристаллизационная очистка. Характеристики выращенного монокристалла кремния: примеси бора и алюминия не более 2 ppm, фосфора не более 7 ppm и удельное сопротивление 1–1,5 Ом·см [8]. В Институте проблем горения при КазНУ было исследовано алюмотермическое горение оксида кремния в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

Изучены кинетические закономерности влияния модификаций оксида кремния и добавок серы на процесс восстановления [9].

В украинском патенте приведен пример алюмотермического восстановления кварцитов (99,5–99,8% SiO_2 мас.) в расплаве легкоплавких металлов (Sn, Zn) и сплавов (Sn-Pb). Реакция проводилась при температуре 1100–12000С в случае использования в качестве растворителя олова или сплава олова со свинцом или при 9000С при использовании цинка.

Метод позволяет выращивать кристаллический кремния с удельным сопротивлением 0,25 Ом·см непосредственно из раствора образующегося кремния. Кристаллизация проходит путем постоянного переохлаждения не менее, чем на 50С на лицевой стороне затравки кремния. Использование полученного кремния при выращивании монокристаллического кремния методом Чохральского позволяет получить слитки с удельным сопротивлением 5 Ом·см, что делает их перспективным сырьем для производства высокоэффективных солнечных элементов. Запатентована установка для получения слитков кремния по данной технологии.

Недостатком данной технологии является включение примесных атомов растворителя в

структуру выращиваемого кристалла.

Выводы

Таким образом, высокие темпы развития отрасли в наиболее индустриально развитых регионах мира и заинтересованность в применении для изготовления ФЭП именно солнечного кремния, как оптимального материала, позволяет сделать вывод о необходимости и актуальности работ в области развития новых нестандартных методов получения более дешёвого и качественного материала для изготовления солнечных элементов.

Список литературы

1. Алфёров Ж.И. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики. // Ж.И. Алфёров, В.М. Андреев, В.Д. Румянцев // ФТП. – 2004. – Т 38, вып. 8. – С. 937–948.
2. Фалькевич Э.С. Технология полупроводникового кремния // Э.С. Фалькевич и др. // – М.: Металлургия, 1992.
3. Абдюханов И.М. Исследование и разработка метода получения кремния для солнечной энергетики карботермическим восстановлением с последующим плазменным рафинированием. // И.М. Абдюханов // Дис. канд. техн. наук: 05.16.02. – М.: РГБ, 2003.
4. Mauk G.M. Feedstock for Crystalline Silicon Solar Cells // G.M. Mauk, P.E. Sims, R.B. Hall // – Proc. 1th NREL Conf., AIP, Denver, CO, USA, 1997. – p.p. 27.
5. Грибов Б.Г. Нужен ли России собственный кремний? Судьба стратегического материала // Б.Г. Грибов // - Электроника: Наука, Технология, Бизнес, №6, 2006. – С. 5–7.
6. Грибов Б.Г. Получение высокочистого кремния для солнечных элементов // Б.Г. Грибов, К.В. Зиновьев // – Неорганические материалы, том 39, №7, 2003. – С. 775–785.
7. Fridman A. Plasma Chemistry // A. Fridman // Cambridge University Press. Hardback. May 2008. – P. 424, 426, 432–433.
8. Турмагамбетов Т.С. Металлургический кремний повышенной чистоты для фотоэнергетики // Т.С. Турмагамбетов и др. // Цветные металлы, № 4. 2010. – С. 85–88.
9. Дильмухамбетов Е.Е. Макрокинетика твердофазного алюмотермического горения оксида кремния в присутствии серы / Е.Е. Дильмухамбетов / Отчет о НИР № 0103РК00155. Институт проблем горения при КазНУ. 2003.

Reference

1. Alferov Zh.I. Trends and prospects of the development of solar photovoltaics. // I. Alferov, V. M. Andreev, V. D. Rumyantsev // FTP. – 2004. – Т 38,

- issue. 8. – P. 937-948.
2. Falkevik E. S. Technology of semi-conductor silicon // E. S. Falkevik etc. / / – M.: Metallurgiya, 1992.
 3. Anduganov I. M. Research and development of a method of producing cream-tion for solar energy Kar-Botanicheskiy recovery, with subsequent plasma of rapini-tion. // I.M. Abdyukhanov // Dissertation of the Candidate of Technical Sciences: 05.16.02. - Moscow: RGB, 2003.
 4. Mauk G.M. Feedstock for Crystalline Silicon Solar Cells // G.M. Mauk, P.E. Sims, R.B. Hall // – Proc. 1st NREL Conf., AIP, Denver, CO, USA, 1997– - p.p. 27.
 5. Gribov B.G. Does Russia need its own silicon? The fate of strategic material // B. G. Gribov // - Elektronika: Nauka, Tekhnologiya, Biznes, No. 6, 2006. – P. 5-7.
 6. Fungi B. G. Getting vysokosci-grained silicon for solar cells // B. G. Gribov, K. V. Zinoviev // Inorganic materials, vol 39, No. 7, 2003. – P. 775-785.
 7. Fridman A. Plasma Chemistry // A. Fridman // Cambridge University Press. Hardback. May 2008. – R. 424, 426, 432-433.
 8. Turmagambetov T. S. Metallurgical silicon of high purity for PV // T. S. Turma-humbetov etc. // Tsvetnye metally, No. 4. 2010. – P. 85-88.
 9. Dilmukhambetov E. E. Macrokinetic-ka solid alu-mothermic, the burning of silicon oxide in the presence of sulfur / E. E. Delacombe-tov / Research Report No. 0103RK00155. Gorenje Institute of Combustion Problems at Kaz-NU. 2003.

УДК 620.92

Оптимизация процесса пуска распределенного асинхронного электропривода

Л.Н. Канов

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, lkanov48@mail.ru

Статья поступила 13.10.2021 г.; после доработки 15.10.2021 г.

Аннотация

Представлена возможность математического моделирования системы распределенного асинхронного электропривода, состоящего из асинхронных двигателей, получающих питание от удаленного преобразователя через кабельные линии. Показано, что непосредственный пуск приводит к неодновременному разгону двигателей. Предложены варианты оптимизации процесса пуска путем широтно-импульсного управления напряжением преобразователя при изменении амплитуды и длительности импульсов напряжения.

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, распределенный электропривод, кабельная линия, математическое моделирование, напряжение преобразователя, длительность процесса пуска, оптимизация переходного процесса

Optimization of starting process distributed asynchronous electromechanic drive

L.N. Kanov

Sevastopol State University, 33, Universitetskaya st.,
Sevastopol, 299053, Russia, lkanov48@mail.ru

Received 13.10.2021 y. ; received in final form 15.10.2021 y

Abstract

Possibility of mathematical design of the system of the up-diffused asynchronous electromechanic drive, consisting of asynchronous engines, recipient a feed from a remote transformer through cable busses is presented. It is demonstrated that over the direct starting brings to the unsimultaneous acceleration of engines. The variants of optimization of starting process are offered by a latitudinal-impulsive management tension of transformer at the change of amplitude and duration of impulses of tension.

Keywords: asynchronous electric motor, distributed electromechanic drive, cable bus, mathematical design, tension of transformer, duration of starting process, optimization of transient

Введение

В электрооборудование портовых и судовых погрузочно-разгрузочных комплексов обычно входят несколько электродвигателей переменного тока, чаще всего асинхронных. Общим признаком работ по управлению состоянием группы электродвигателей от одного электронного преобразователя является учет взаим-

ного пространственного расположения преобразователя относительно двигателей. Таким образом, энергия, поступающая к каждому электродвигателю, не подается непосредственно из силовой сети, а поступает через преобразователь – инвертор напряжения. В настоящее время считается, что один электронный преобразователь, работающий на один электродвигатель, невыгоден

[1].

Актуальна ситуация, когда один электронный преобразователь работает на несколько электродвигателей и управляет одновременно их режимами [2]. При наличии в системе электропитания нескольких электродвигателей возникает вопрос анализа влияния их друг на друга. Особую актуальность этот вопрос представляет с ростом мощности электродвигателей, соизмеримой с мощностью преобразователя.

Преобразователи могут быть расположены в непосредственной близости от двигателей. В этом случае параметрами соединительных кабелей при анализе режимов электроэнергетической системы можно пренебрегать. Однако во многих вариантах электроснабжения многодвигательных электроприводов преобразователи находятся на расстояниях в сотни метров от двигателей. При этом пренебрегать параметрами кабельной сети и взаимным влиянием электродвигателей друг на друга уже нельзя. Таким образом, рост мощности электродвигателей, соизмеримость этих мощностей с мощностями преобразователей, наличие протяженных кабельных линий приводит к необходимости учета влияния изменений в режиме одного из двигателей на состояние остальных и на состояние системы электроснабжения в целом.

В портовых и судовых погрузочно – разгрузочных системах, конвейерных линиях, в системах электроснабжения электроприводов горных машин задача разработки алгоритмов управления автономным преобразователем, обеспечивающим управление группой электродвигателей, удаленными как от самого преобразователя, так и друг от друга, является актуальной. Возникает необходимость построения математической модели сети электроснабжения сложной конфигурации с электродвигательной нагрузкой в виде асинхронных электродвигателей и решения задачи управления состоянием электродвигателей при формировании удаленных от объектов управления управляющих воздействий от одного преобразователя.

В [1 – 3] построена математическая модель системы электромеханического преобразования электроэнергии с асинхронными двигателями, в которой кабели заменяются их сопротивлениями и индуктивностями. Однако представляет интерес учет и емкости кабелей. Кроме того, необходимо получить оптимальное управление двигателями, когда их скорости в процессе пуска изменяются одинаково, и достижение стационарной рабочей скорости происходит одновременно. Особенно актуально это для конвейерных

электроприводов.

Цель и задачи исследования

Целью настоящей работы является построение оптимального управления группой электродвигателей для их одновременного синхронного пуска на основе математической модели системы электроснабжения.

Для достижения этой цели поставлены и решены следующие задачи:

- построение математической модели системы распределенного двухдвигательного электропривода;
- расчет оптимального управления электродвигателями для их одновременного пуска; критерием оптимальности выбрана разность в моментах выхода двигателей на стационарный режим.

Математическое описание системы распределенного асинхронного электропривода

Для целей исследования применим уравнения асинхронного двигателя относительно магнитных потоковосцеплений в ортогональных координатных осях d, q , вращающихся с синхронной скоростью ω при опережающем вращении поперечной оси [4]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_{sd}}{dt} &= U_{sd} + \omega_s \psi_{sq} - r_s i_{sd}; \\ \frac{d\psi_{sq}}{dt} &= U_{sq} - \omega_s \psi_{sd} - r_s i_{sq}; \\ \frac{d\psi_{rd}}{dt} &= (\omega - p\Omega) \psi_{rq} - r_r i_{rd}; \\ \frac{d\psi_{rq}}{dt} &= -(\omega - p\Omega) \psi_{rd} - r_r i_{rq}; \\ J \frac{d\Omega}{dt} &= -k_{TP} \omega_r - M_H(\omega_r) + M_{ЭМ} \end{aligned} \right\}. \quad (1)$$

В этих формулах обозначены:

$$\psi_{sd} = L_s i_{sd} + M_{sr} i_{rd}; \psi_{rd} = L_r i_{rd} + M_{sr} i_{sd}$$

$$\psi_{sq} = L_s i_{sq} + M_{sr} i_{rq}; \psi_{rq} = L_r i_{rq} + M_{sr} i_{sq}$$

– составляющие магнитного потоковосцепления обмоток статора и ротора вдоль продольной и поперечной координатных осей;

$i_{sd}, i_{sq}, i_{rd}, i_{rq}$ – составляющие токов фазы обмоток статора и ротора вдоль продольной и поперечной координатных осей;

r_s, r_r, L_s, L_r – активные сопротивления и

индуктивности фазы обмоток статора и ротора;

M_{sr} – коэффициент взаимной индукции

между обмотками фаз статора и ротора;

p – число пар полюсов обмотки статора;

k_{TP} – коэффициент пропорциональности

между моментом сопротивления трения и скоростью вращения двигателя;

$M_H(\Omega)$ – момент нагрузки на валу двигателя;

$M_{\mathcal{O}M} = M_{sr} \cdot (i_{sq} i_{rd} - i_{sd} i_{rq})$ – электромагнитный вращающий момент двигателя;

J – момент инерции ротора с учетом приведенного момента инерции нагрузки;

ω – синхронная угловая частота напряжения статора;

Ω – угловая скорость вращения ротора.

Для численного решения представим уравнения двигателя в форме токов. После подстановки потокосцеплений в уравнения (1) получаем производные продольных составляющих

токов $\frac{di_{sd}}{dt}, \frac{di_{rd}}{dt}$:

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_{sd}}{dt} &= \frac{1}{\Delta} \cdot \left[L_r (U_{sd} - r_s i_{sd} + (L_s i_{sq} + M_{sr} i_{rq}) \omega) - \right. \\ &\quad \left. - M_{sr} (-r_r i_{rd} + (L_r i_{rq} + M_{sr} i_{sq}) \cdot (\omega - p\Omega)) \right] \\ \frac{di_{rd}}{dt} &= \frac{1}{\Delta} \cdot \left[L_s (-r_r i_{rd} + (L_r i_{rq} + M_{sr} i_{sq}) \cdot (\omega - p\Omega)) - \right. \\ &\quad \left. - M_{sr} (U_{sd} - r_s i_{sd} + (L_s i_{sq} + M_{sr} i_{rq}) \cdot \omega) \right] \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

Аналогично, из второго и четвертого уравнений в системе (1) выразим производные поперечных составляющих токов $\frac{di_{sq}}{dt}, \frac{di_{rq}}{dt}$:

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_{sq}}{dt} &= \frac{1}{\Delta} \cdot \left[L_r (U_{sq} - r_s i_{sq} - (L_s i_{sd} + M_{sr} i_{rd}) \omega) - \right. \\ &\quad \left. - M_{sr} (-r_r i_{rq} - (L_r i_{rd} + M_{sr} i_{sd}) \cdot (\omega - p\Omega)) \right] \\ \frac{di_{rq}}{dt} &= \frac{1}{\Delta} \cdot \left[L_s (-r_r i_{rq} - (L_r i_{rd} + M_{sr} i_{sd}) \cdot (\omega - p\Omega)) - \right. \\ &\quad \left. - M_{sr} (U_{sq} - r_s i_{sq} - (L_s i_{sd} + M_{sr} i_{rd}) \cdot \omega) \right] \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

В этих формулах обозначен определитель

$$\Delta = \begin{vmatrix} L_s & M_{sr} \\ M_{sr} & L_r \end{vmatrix}.$$

Структура и математическое описание кабельных линий

Примем типичную систему распределенного асинхронного электропривода, получающего питание от одного преобразователя, показанную на рис.1 [2]. Два одинаковых асинхронных двигателя получают питание от преобразо-

вателя напряжения через систему кабелей с длинами l_1, l_2, l_0 . Кабели характеризуются индуктивностями L_l и сопротивлениями r_l жил, а также сопротивлениями $R(t)$ и емкостями C жил относительно оболочки.

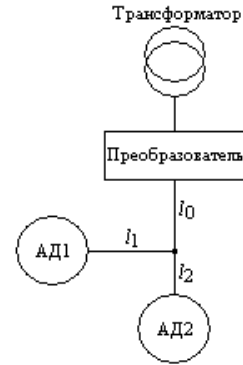


Рис.1. Блок-схема распределенного асинхронного электропривода

Предложенная схема замещения с учетом параметров кабелей изображена на рис.2.

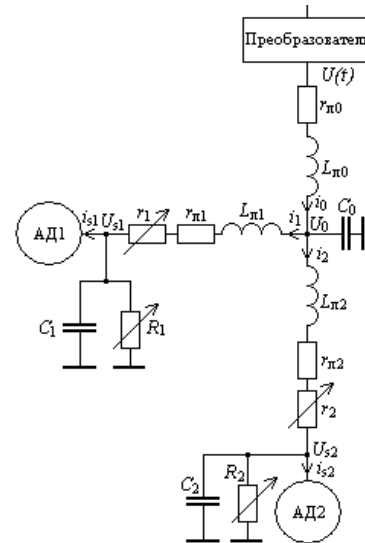


Рис.2. Схема замещения системы распределенного электропривода

На схеме обозначены:

$r_{л0}, r_{л1}, r_{л2}, L_{л0}, L_{л1}, L_{л2}$ – активные сопротивления и индуктивности жил кабеля;

C_0, C_1, C_2 – емкости жил кабеля относительно оболочки;

$r_1(t), r_2(t)$ – последовательные переменные сопротивления;

$R_1(t), R_2(t)$ – параллельные переменные

сопротивления.

Изменение переменных последовательных сопротивлений $r_1(t)$, $r_2(t)$ позволяет «включать» или «выключать» соответствующие кабели. Изменение переменных параллельных сопротивлений $R_1(t)$, $R_2(t)$ позволяет «включать» или «выключать» соответствующие асинхронные двигатели. Малые величины $R_1(t)$, $R_2(t)$ закорачивают двигатели, большие величины – «разрешают» двигателям получать питание.

Получим математическое описание жилы кабеля l_0 , соединяющего выход преобразователя частоты и точку 0 разветвления. Уравнение линии по второму закону Кирхгофа имеет вид

$$U - U_0 = r_{\lambda 0} i_0 + L_{\lambda 0} \frac{di_0}{dt}, \quad (4)$$

Здесь U – напряжение на выходе преобразователя; U_0 – напряжение на точке разветвления.

Представляя в уравнении (4) напряжения U , U_0 и ток i_0 через ортогональные составляющие по продольной и поперечной осям $U_d, U_q, U_{0d}, U_{0q}, i_{0d}, i_{0q}$ [4, 5], получаем уравнения для составляющих напряжений и тока в линии, соединяющей выход преобразователя и точки разветвления:

$$\left. \begin{aligned} U_d - U_{0d} &= r_{\lambda 0} i_{0d} + L_{\lambda 0} \frac{di_{0d}}{dt} - L_{\lambda 0} i_{0q} \omega; \\ U_q - U_{0q} &= r_{\lambda 0} i_{0q} + L_{\lambda 0} \frac{di_{0q}}{dt} + L_{\lambda 0} i_{0d} \omega. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Полностью аналогично получаем уравнения для составляющих напряжений и тока в линии l_1 , соединяющей точку разветвления с напряжением U_0 и асинхронный двигатель 1 с напряжением на нем U_{s1} :

$$\left. \begin{aligned} U_{0d} - U_{s1d} &= (r_1(t) + r_{\lambda 1}) i_{1d} + L_{\lambda 1} \frac{di_{1d}}{dt} - L_{\lambda 1} i_{1q} \omega; \\ U_{0q} - U_{s1q} &= (r_1(t) + r_{\lambda 1}) i_{1q} + L_{\lambda 1} \frac{di_{1q}}{dt} + L_{\lambda 1} i_{1d} \omega. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Уравнения для составляющих тока i_2 в линии l_2 , соединяющей точку разветвления 0 с

напряжением U_0 и асинхронный двигатель 2 с напряжением U_{s2} получаем аналогично (6) заменой индекса 1 на индекс 2

$$\left. \begin{aligned} U_{0d} - U_{s2d} &= (r_2(t) + r_{\lambda 2}) i_{2d} + L_{\lambda 2} \frac{di_{2d}}{dt} - L_{\lambda 2} i_{2q} \omega; \\ U_{0q} - U_{s2q} &= (r_2(t) + r_{\lambda 2}) i_{2q} + L_{\lambda 2} \frac{di_{2q}}{dt} + L_{\lambda 2} i_{2d} \omega. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Далее получим уравнения для напряжений в узле разветвления U_0 и на статорах двигателей U_{s1} и U_{s2} . Формула первого закона Кирхгофа для узла разветвления имеет вид

$$i_0 = i_1 + i_2 + C_0 \frac{dU_0}{dt}.$$

В ортогональных d, q – координатах получаем для составляющих токов и напряжения в узле разветвления

$$\left. \begin{aligned} i_{0d} &= i_{1d} + i_{2d} + C_0 \frac{dU_{0d}}{dt} - C_0 U_{0q} \omega; \\ i_{0q} &= i_{1q} + i_{2q} + C_0 \frac{dU_{0q}}{dt} + C_0 U_{0d} \omega. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Аналогично, в соответствии с первым законом Кирхгофа получаем уравнения для напряжений и токов в узлах 1 и 2 на статорах двигателей

$$\begin{aligned} i_1 &= i_{s1} + \frac{U_{s1}}{R_1(t)} + C_1 \frac{dU_{s1}}{dt}; \\ i_2 &= i_{s2} + \frac{U_{s2}}{R_2(t)} + C_2 \frac{dU_{s2}}{dt}. \end{aligned}$$

В этих формулах слагаемые $\frac{U_{s1}}{R_1(t)}$ и $\frac{U_{s2}}{R_2(t)}$ дают токи в регулирующих сопротивлениях $R_1(t)$, $R_2(t)$ на статорах двигателей.

Для продольных и поперечных составляющих напряжений и токов в узлах 1 и 2 получаем уравнения

$$\left. \begin{aligned} i_{1d} &= i_{s1d} + \frac{U_{s1d}}{R_1(t)} + C_1 \frac{dU_{s1d}}{dt} - C_1 U_{s1q} \omega; \\ i_{1q} &= i_{s1q} + \frac{U_{s1q}}{R_1(t)} + C_1 \frac{dU_{s1q}}{dt} + C_1 U_{s1d} \omega; \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} i_{2d} &= i_{s2d} + \frac{U_{s2d}}{R_2(t)} + C_2 \frac{dU_{s2d}}{dt} - C_2 U_{s2q} \omega; \\ i_{2q} &= i_{s2q} + \frac{U_{s2q}}{R_2(t)} + C_2 \frac{dU_{s2q}}{dt} + C_2 U_{s2d} \omega. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Таким образом, математическое описание

переходных процессов в рассматриваемой системе распределенного электропривода по рис.2 составляет по 5 уравнений вида (2), (3) для асинхронных двигателей 1 и 2; а также уравнения (5) ... (10).

Неуправляемый переходный процесс пуска системы двигателей

Этот процесс рассчитан при неизменном напряжении преобразователя $U = 380$ В и частоте $\omega = 314$ с⁻¹. Параметры асинхронных двигателей мощностью по 160 кВт принимаем следующими: $r_{s1} = r_{s2} = 0,272$ Ом;

$$r_{r1} = r_{r2} = 0,191 \text{ Ом}; L_{s1} = L_{s2} = 0,049 \text{ Гн};$$

$$L_{r1} = L_{r2} = 0,048 \text{ Гн};$$

$$M_{sr1} = M_{sr2} = 0,046 \text{ Гн};$$

$$J_1 = J_2 = 0,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; k_{H1} = k_{H2} = 0,1.$$

Параметры кабельных линий:

$$r_{л0} = 0,125 \text{ Ом}; L_{л0} = 0,00159 \text{ Гн};$$

$$C_0 = 176 \text{ мкФ}; r_{л1} = 0,5 \text{ Ом};$$

$$L_{л1} = 0,003185 \text{ Гн}; C_1 = 239 \text{ мкФ};$$

$$r_{л2} = 0,125 \text{ Ом}; L_{л2} = 0,00159 \text{ Гн};$$

$$C_2 = 47,7 \text{ мкФ}.$$

Продольные переменные сопротивления нормально полагаем малыми: $r_1(t) = r_2(t) \approx 0$; поперечные переменные сопротивления полагаем большими: $R_1(t) = R_2(t) = 10^4$ Ом.

Таким образом, напряжение и ток преобразователя U, i_0 через линию 0, преодолевая сопротивление и индуктивность кабеля 0, попадают в узел разветвления 0 и далее расходятся по линиям 1 и 2 к двигателям: i_1, i_2, U_{s1}, U_{s2} . Так как параметры линий существенно отличаются, пуск двигателей происходит неодинаково: первый двигатель достигает установившейся скорости гораздо позднее, чем второй. Графики моментов и скоростей нерегулируемого пуска изображены на рис.3.

Рисунок показывает, что пусковые моменты двигателей отличаются. Напряжение, ток и момент первого двигателя гораздо меньше, чем второго.

Поэтому время запуска первого двигателя значительно больше, что неблагоприятно сказывается на работе всей системы электропривода. Эти моменты существенно зависят от частоты и величины напряжения преобразователя.

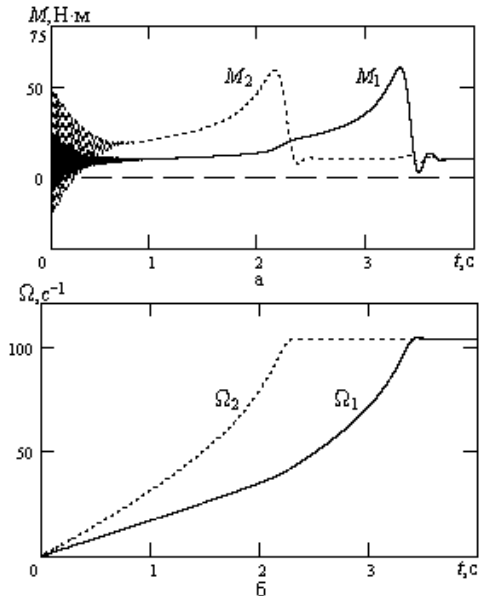


Рис.3. Неуправляемый пуск распределенного электропривода:

а) вращающие моменты двигателей;
б) скорости двигателей

Оптимизация процесса пуска

Предлагаемый способ управления основан на поочередном подключении двигателей к преобразователю на равные небольшие интервалы времени Δt . В течение одного интервала к инвертору подключается первый двигатель установкой значений сопротивлений резисторов $r_1(t) = 0$, $R_1(t) = 10^4$ Ом. Преобразователь на этом интервале обеспечивает выходное напряжение $U = U_1$. Второй двигатель на это время закорачивается на небольшое сопротивление $R_2(t) \approx 0$, и устанавливается сопротивление резистора $r_2(t) = 10^4$ Ом.

В следующий интервал к преобразователю подключается второй двигатель установкой сопротивлений резисторов $r_2(t) = 0$ и $R_2(t) = 10^4$ Ом. Преобразователь обеспечивает выходное напряжение $U = U_2$. Первый двигатель на это время закорачивается на небольшое сопротивление $R_1(t) \approx 0$, а сопротивление последовательного резистора устанавливается максимальным $r_1(t) = 10^4$ Ом. Частота напряжения все это время не изменяется и остается на уровне $\omega = 314$ с⁻¹. Изменяя уровни напряжений U_1 и U_2 , можно регулировать величины пусковых моментов двигателей практически независимо друг от друга и обеспечивать одинаковое время разгона двигателей. Этим достигается плавный,

без рывков переходный процесс системы распределенного электропривода. Интервал времени задаем $\Delta t = 5$ мс.

Поиск напряжений U_1 и U_2 выполним симплексным методом Нелдера Мида [6], который не требует вычисления градиента критерия оптимизации. Решением уравнений (2) – (10) определяем значения критерия ΔT в трех точках на вершинах исходного симплекса с координатами: $U_{11} = 650$ В, $U_{21} = 1225$ В, $U_{12} = 450$ В, $U_{22} = 1250$ В, $U_{13} = 500$ В, $U_{23} = 1400$ В: $\Delta T_1(U_{11}, U_{21}) = 0,4$ с; $\Delta T_2(U_{12}, U_{22}) = 0,57$ с; $\Delta T_3(U_{13}, U_{23}) = 0,41$ с. После трех итераций на плоскости напряжений получаем оптимальную точку с координатами $U_{10} = 625$ В, $U_{20} = 1450$ В. Значение критерия в этой точке $\Delta T_0 = 0,012$ с, что с достаточной степенью точности дает оптимальный переходный процесс одновременного пуска двух двигателей с малой разностью длительностей пуска, которые составляют в этой точке $T_0 = 2,05$ с.

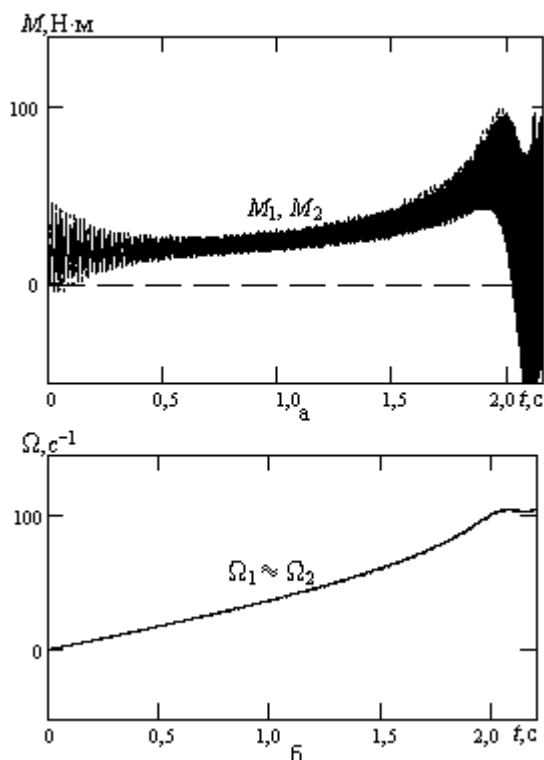


Рис.4. Оптимальный пуск электропривода:
а) вращающие моменты двигателей;
б) скорости двигателей

Графики моментов и скоростей оптимального переходного процесса пуска изображены на рис.4. Моменты двигателей сопровождаются вы-

соочастотными колебаниями, которые при выходе на стационарный режим и установления штатного напряжения питания исчезают. Графики скоростей двигателей практически сливаются, что показывает высокую степень синхронности переходного процесса пуска.

При оптимизации первоначальный симплекс на плоскости напряжений был выбран произвольно. При выборе другой формы начального симплекса процесс оптимизации приводит в другую оптимальную точку с другой длительностью синхронного процесса пуска.

Оценим возможность не изменять уровни напряжения $U = U_1 = U_2$, а для организации оптимального переходного процесса пуска регулировать длительности малых интервалов Δt_1 и Δt_2 . Для этого длительности интервалов рассчитаем по выражениям для сопротивлений r_1, r_2, R_1, R_2 через управляющий параметр dU :

$$r_1(t) = \text{if } (500 \sin 3140 t + dU > 0, \text{ then } r_{\pi 1}, \text{ else } 10^4) ;$$

$$R_1(t) = \text{if } (500 \sin 3140 t + dU > 0, \text{ then } 10^4, \text{ else } 0) ;$$

при этом $U_1 \approx U, U_2 \approx 0$;

$$R_2(t) = \text{if } (500 \sin 3140 t + dU > 0, \text{ then } 0, \text{ else } 10^4) .$$

$$r_2(t) = \text{if } (500 \sin 3140 t + dU > 0, \text{ then } 10^4, \text{ else } r_{\pi 2}) ;$$

при этом $U_2 \approx U, U_1 \approx 0$.

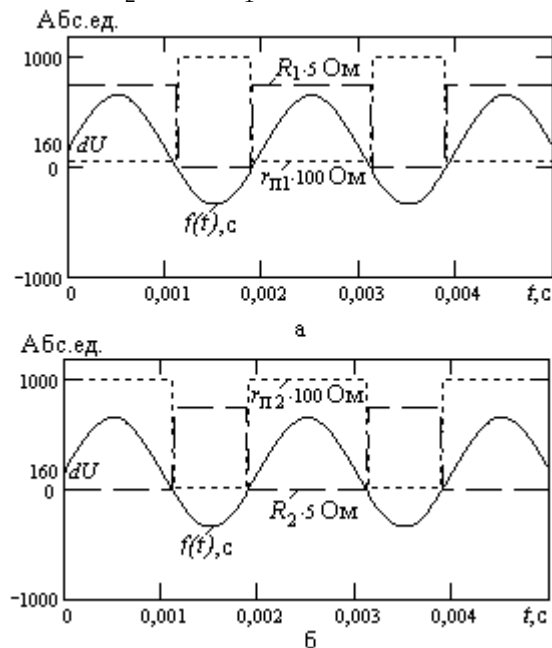


Рис.5. Управление сопротивлениями линий:
а) первая линия; б) вторая линия

Графики изменения этих сопротивлений показаны на рис.5. Смещая синусоиду $500 \sin 3140 t$ вверх или вниз посредством изменения параметра dU , получаем возможность изменять длины интервалов Δt_1 и Δt_2 и регулировать время разгона двигателей. Следовательно, величина dU является единственной регулирующей переменной, изменяя которую можно находить точку минимума времени рассогласования $\Delta T \rightarrow 0$.

Поиск минимума функции $\Delta T(dU)$ по единственной переменной выполнен методом квадратичной аппроксимации [6]. После расчетов найдена точка минимума $dU_0 = 160$ со значением критерия $\Delta T_0 = 0,01$ с. Длительность процесса при этом составляет $T_0 = 1,9$ с при напряжении на двигателях $U = U_1 = U_2 = 900$ В. Повторение аналогичного расчета при других значениях напряжения показало, что точка минимума сохраняется на величине $dU_0 = 160$, а длительность процесса пуска сокращается с ростом напряжения и наоборот. При отклонении регулирующего параметра от оптимального значения рассогласование по времени пуска двигателей увеличивается тем больше, чем меньше напряжение питания.

Аналогичного результата можно достичь и изменением частоты ω_1 и ω_2 на интервалах Δt_1 и Δt_2 , а также одновременным изменением и напряжения и частоты и длительностей интервалов. Актуальной представляется математическое и конструирование подобных алгоритмов.

Заключение

Показано, что существует принципиальная возможность управления состоянием группы асинхронных двигателей путем формирования необходимых величин электромагнитных моментов, находящихся в реальной сети электропитания при помощи одного преобразователя.

Применение подобного подхода к расчетной практике позволяет разрабатывать программное обеспечение, что дает возможность задавать конфигурацию системы электропитания, длины и параметры ветвей кабелей, количество двигателей и их параметры, последовательности включения двигателей для расчета реальных процессов пусков и отключений приводов погрузочно – разгрузочных комплексов, характера нагрузки на двигателях при моделировании

режимов работы портовых и судовых механизмов.

Список литературы

1. Ещин Е.К. Модель асинхронного электродвигателя в системе электроснабжения / Е.К.Ещин // Электротехника, 2002. – № 1. – С.40 - 43.
2. Ещин.Е.К. Управление состоянием группы асинхронных электродвигателей в сети электроснабжения // Изв.ВУЗов. Электромеханика. – 2020. – Т.63. – № 1. – С.62 – 68. DOI: 10.17213/0136 – 3360 – 2020 – 1 – 62 – 68.
3. Усихин В.Н. О влиянии нагрузки на токи в электроустановках переменного тока до 1 кВ // Промышленная энергетика. – 2001. – № 1. – С.29 – 33.
4. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. – М.: изд-во «Высшая школа», 2001. – 431 с.
5. Ковач К., Рац И. Переходные процессы в машинах переменного тока. – М., Л.: изд-во «Высшая школа», 2001. – 528 с.
6. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс. – М.: изд-во «Радио и связь», 1988. – 128 с.

References

1. Eshchin E.K. *Model asinchronnogo elektrodvigatelya v ssisteme elektrosnabzheniya* [A Model of Asynchronous electric motor is in the System of Electrosupply]. *Electrotechnique*. – 2002. No.1. – PP.40-43.
2. Eshchin E.K. *Upravlenie sostoyaniem gruppy asinchronnykh elektrodvigatelei v seti elektrosnabzheniy* [A Control the State of Group of Asynchronous electric motors is in the Network of Electrosupply]. *News of higher educational establishments. Electromechanics*. – 2020. Vol. 63, No.1. – PP.62-68. DOI: 10.17213/0136 – 3360 – 2020 – 1 – 62 – 68.
3. Usikhin V.N. *O vliyani nagruzki na toki v elektroustanovkakh peremennogo toka do 1 kV* [About Influence of Loading on Currents in Electroplants of Alternating current to 1 kV]. *Industrial Energetic*. – 2001. – No.1. – PP.29 – 33.
4. Kopylov I.P. *Matematicheskoe modelirovanie elektricheskikh mashin* [Mathematical Modeling of Electric machines]. Moscow: Izd. «Higher school», 2001. – 431 p.
5. Kovach K., Rats I. *Perekhodnye protsessy v mashinakh peremennogo toka* [Transients are in the Machines of Alternating current]. Moscow, Leningrad: Izd. «Higher school», 2001. – 528 p.
6. Bandi B. *Metody optimizatsii. Vvodnyi kurs* [Methods of Optimization. Introductory year]. Moscow: Izd. «Radio and Connection», 1988. – 128 p.

УДК 620.92

Влияние коэффициента углового склонения на эффективность работы фотоэлектрических модулей

В.В. Кувшинов¹, М.Ю. Сперанский², Н.А. Власов³, А.А. Скидан⁴,
А.А. Лавренчук⁵

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия,

¹kuvshinov.vladimir@gmail.com, ²MYSperanskiy@sevsu.ru, ³mr.asphodel@mail.ru, ⁴a.a.skidan@sevsu.ru,
⁵AALavrenchuk@sevsu.ru.

Статья поступила 10.11.2021 г.; после доработки 12.11.2021 г.

Аннотация

Использование солнечных установок в России позволяет значительно сократить выбросы в атмосферу вредных веществ и углекислого газа. Для увеличения концентрации потока солнечной энергии, что перерабатывается серийными фотоэлектрическими модулями, авторами статьи были применены сравнительно недорогие плоские зеркала, в результате использования которых была значительно увеличена эффективность работы солнечных модулей.

Ключевые слова: солнечные установки, фотоэлектрический модуль, эффективность работы.

Influence of angular decline coefficient on efficiency of operation of photoelectric modules

V.V. Kuvshinov¹, M.Yu. Speranskiy², N.A. Vlasov³, A.A. Skidan⁴,
A.A. Lavrenchuk⁵

Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,

¹kuvshinov.vladimir@gmail.com, ²MYSperanskiy@sevsu.ru, ³mr.asphodel@mail.ru, ⁴a.a.skidan@sevsu.ru,
⁵AALavrenchuk@sevsu.ru.

Received 10.11.2021 y.; received in final form 12.11.2021 y.

Abstract

The use of solar installations in Russia can significantly reduce emissions of harmful substances and carbon dioxide into the atmosphere. To increase the concentration of the solar energy flow, which is processed by serial photovoltaic modules, the authors of the article used relatively inexpensive flat mirrors, as a result of which the efficiency of the solar modules was significantly increased.

Keywords: solar installations, photovoltaic module, work efficiency.

Введение

Энергетика большинства стран, так же как и России, как и раньше, базируется в основном на использовании органического топлива с негативным влиянием на окружающую среду.

Внедрение технологий энергосбережения и электроустановок, использующих экологически

чистые возобновляемые источники энергии, на локальном уровне в сумме позволит значительно снизить эти негативные явления. И, кроме того, будет способствовать сбережению ресурсов (угля, воздуха, воды, нефти и газа).

Согласно подписанным международным договорам, наше государство – Российская Федерация, обязуется наращивать производство

электроэнергии за счет внедрения нетрадиционных возобновляемых источников, а также согласно подписанному Киотскому протоколу нашей державе выгодно ограничивать выбросы в атмосферу углекислого газа.

Актуальность темы

Применение солнечных установок для обеспечения индивидуальных и промышленных потребителей электрической энергией позволяет снизить использование природного газа и другого органического топлива [1-3], необходимых для производства электроэнергии, а также позволяет существенно сократить вредные выбросы в атмосферу, образующиеся в результате сгорания различных видов топлив на тепловых электростанциях. Использование вместо органических топлив в промышленности и коммунальном хозяйстве солнечных установок позволяет значительно сократить выбросы в атмосферу углекислого газа, уменьшить парниковый эффект и глобальное потепление на планете.

Солнечные электростанции, в отличие, не только от традиционных электростанций, но и от электростанций, преобразовывающих возобновляемые источники энергии (ветроэлектростанции, геотермальные, приливные, гидроэлектростанции) можно устанавливать в непосредственной близости от потребителя. Это, пожалуй, единственные из известных электростанций, которые можно устанавливать непосредственно в центре густонаселенных городов, для обеспечения электроэнергией промышленных предприятий.

При этом кремниевые фотоэлектрические установки могут иметь достаточно долгий срок службы (при хорошем качестве исполнения и правильной эксплуатации их срок службы может достигать 20-40 лет, а по прогнозам и до 100 лет) [4-6]. Цены на сами солнечные батареи год от года существенно снижаются. Все это позволяет повысить их конкурентоспособность на рынке электрооборудования.

Постановка цели и задач научного исследования

Одним из направлений снижения себестоимости фотоэлектрических модулей, может являться использование для концентрации светового потока на рабочую поверхность солнечных установок, плоских концентраторов. Основным элементом концентратора, представляющего

собой линейную конструкцию (фоклин), являются плоские зеркала с селективным или не селективным покрытием, расположенные под определенным углом к нормали. Предел концентрации светового потока для плоских фоклинов составляет 3 раза. Себестоимость зеркал на порядок ниже себестоимости фотоэлектрических элементов. Увеличение освещенности в 2-3 раза не требует дополнительного отвода тепла от рабочей поверхности солнечного модуля. Все это позволяет в целом уменьшить себестоимость солнечных установок при использовании предложенных авторами статьи плоских концентраторов в отличие от концентрирующих систем, предлагаемых ранее различными исследователями [8-9].

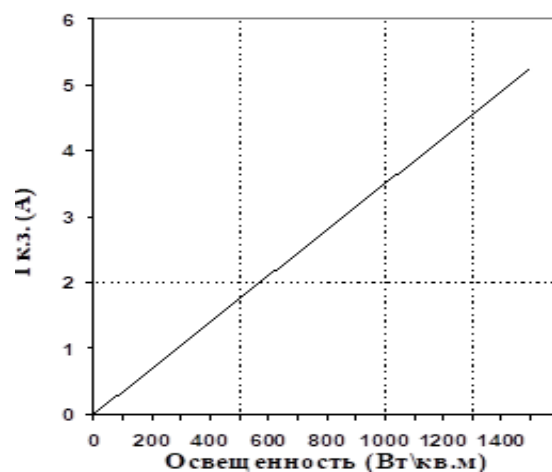


Рис. 1. Зависимость тока короткого замыкания от освещенности солнечной батареи.

Результаты исследования

Исследования работы солнечных батарей с плоскими концентраторами излучения были проведены на фотоэлектрических модулях, выпускаемых российскими предприятиями.

При увеличении освещенности солнечной батареи ток, вырабатываемый ей, увеличивается в прямой зависимости (см. рис. 1). модуля, чего в реальности не происходит. Соответственно изменяются и мощностные характеристики модуля, а соответственно и выработка электроэнергии. В таблице 1 приведены теоретические и экспериментальные значения различных параметров фотоэлектрических модулей в зависимости от угла установки. При измерениях рабочая поверхность модуля изначально была сориентирована перпендикулярно солнцу, что соответствовало углу установки 56° . Затем измерения проводились при изменениях угла подъема фотоэлектрической панели относительно по-

верхности земли. Измерения проводились в ясный солнечный день, показания освещенности соответствовало постоянному значению 870 Вт/м², измерялись ток и напряжение в рабочей точке, а также ток $I_{к.з.}$.

По нашим экспериментальным данным, приведенным ниже, мы видим, что угол наклона модуля по отношению к падающим солнечным лучам сильно влияет на энергетические показатели солнечных батарей, причем эти показатели не соответствуют теоретическим. Например, теоретические значения $I_{к.з.}$ (см.рис.1) должны прямо пропорционально зависеть от освещенности

Данные в таблице 1 получены для начала марта на широте Севастополя (45° с.ш.). Максимальное значение солнечной освещенности и энергетических показателей модуля для этого времени года соответствует углу установки в 50° от горизонтальной поверхности.

Таблица 1

Параметры	Характеристики фотоэлектрического модуля ISM-50											
Угол установки модуля (по отношению к горизонтальной поверхности земли)	-5°	5°	15°	25°	35°	45°	55°	65°	75°	85°	95°	
$I_{к.з.}(A)$ – теоретическое значение	2,09	2,49	2,815	3,055	3,2	3,25	3,2	3,055	2,815	2,49	2,09	
$I_{к.з.}(A)$ – эксперимент. значение	1,6	2,1	2,6	2,9	3,15	3,25	3,15	2,9	2,6	2,1	1,6	
$I_{мк.з.}(A)$ – эксперимент. значение	1,28	1,848	2,368	2,655	2,8	2,72	2,8	2,655	2,368	1,848	1,28	
$U_{мк.з.}(B)$ – эксперимент. значение	10	12,5	14	14,5	15	16	15	14,5	13	12,5	10	
$P_{мк.з.}(Bт)$ – эксперимент. значение	12,8	23,1	33,15	38,5	42	43,5	42	38,5	33,15	23,1	12,8	
$P_{мк.з.}(Bт)$ – теоретическое значение	27,97	33,32	37,67	40,89	42,85	43,5	42,85	40,89	37,67	33,32	27,97	

Данные получены при освещенности 870 Вт/м²

Как видно из таблицы, прибавка в мощности у фотоэлектрического модуля составляла для данных измерений до 40%. При большей естественной освещенности, как показали дальнейшие исследования, прибавка в мощности солнечной батареей еще весомее. Т.е. для ясных солнечных дней целесообразно применять концентраторы. Как показали температурные исследования фотоэлектрического модуля, нагрев рабочей поверхности происходит практически также как и при работе солнечной батареи без концентратора. Так как мы использовали отражающие системы с малым коэффициентом концентрации светового потока, то какого-либо дополнительного падения мощности элементов за счет нагрева при использовании плоского концентратора не происходит. В этом и состоит

преимущество плоских концентраторов, кроме их низкой себестоимости.

Значение освещенности активной поверхности солнечной батареи вычисляется по формуле (1) и напрямую зависит от косинуса угла падения лучей на рабочую поверхность модуля и плотности потока падающей солнечной радиации[5].

$$E_{бат} = I_{пов} F_{\gamma} \cos \gamma \quad (1)$$

Где $I_{нов}$ – интенсивность потока солнечной радиации у поверхности земли, а F_{γ} – коэффициент оптической прозрачности покрытия солнечного элемента. Серийный фотоэлектрический модуль, выпускаемый различными предприятиями, может иметь несколько защитных покрытий. Эти покрытия предотвращающих поломку модуля при таких атмосферных явлениях, как сильный ливень, ветер, град и др. Поэтому в нашем случае необходимо ввести в формулу не величину F_{γ} , а сумму величин $F_{\gamma i}$ – коэффициентов оптической прозрачности различных покрытий фотоэлектрического модуля, причем умноженных на косинус угла падения лучей на отдельные поверхности внутри модуля (см.формулу 2), (i – количество покрытий солнечной батареи).

$$E_{бат} = I_{нов} \cos \gamma \sum_i F_{нов} \cos \beta_i \quad (2)$$

При изменении угла наклона рабочей поверхности, при использовании концентратора, необходимо в формулу (2) ввести ещё один дополнительный коэффициент, учитывающий уменьшение освещенности отражающей поверхности зеркал и как следствие уменьшение концентрации солнечного потока.

Соответственно при некоторых значениях угла установки α , солнечная батарея практически не будет вырабатывать электрический ток, или её энергетические характеристики будут в несколько раз меньше теоретических значений.

Исходя из всего описанного выше, можно утверждать, что для целесообразной работы фотоэлектрических модулей необходимо использовать систему ориентации на Солнце. Установка такой системы, исходя из данных приведенных в таблице 1, способна повысить выработку электроэнергии фотоэлектрической батареей в 2-3 раза, в отличие от теоретических данных, в которых говорится о том, что система ориентации способна поднять производительность солнечной батареи на 30 %. Это несоответствие происходит из-за того, что данные по зависимости энерговыработки солнечных установок от освещенности проводятся для гелиоколлекторов у которых практически все

падающее солнечное излучение идет на нагрев абсорбера.

С учетом использования системы ориентации мы можем говорить о том, что для повышения эффективности работы солнечных батарей необходимо устанавливать на панели плоские концентраторы.

В статье излагаются результаты исследования, проведенного в 2004-2020 годах в Севастопольском государственном университете, Институте ядерной энергетики и промышленности на кафедре «Возобновляемых источников энергии и электрических систем и сетей» с целью изучения работы фотоэлектрических модулей [7].

Задачей нашего коллектива являлось исследование серийных фотоэлектрических преобразователей, сборка фотоэлектрических модулей с использованием выпускаемых серийно солнечных элементов и плоских зеркал в качестве концентраторов солнечного излучения для солнечных батарей.

Как уже ранее упоминалось в статье, в качестве концентраторов мы использовали фокусники линейной конструкции.

При проведении исследований из графиков, приведенных выше видно, что при применении концентраторов светового потока мощность, вырабатываемая фотоэлементом, увеличивалась до 80 %. Напряжение и ток в рабочей точке менялись, причем напряжение при увеличении освещенности немного падало, что свидетельствует о смещении рабочей точки, а ток и мощность в целом возрастали.

На рисунках 2-9 приведены вольт-амперные характеристики модулей в различное время года.

Большое значение при увеличении мощности имеют геометрические размеры солнечных модулей и плоских зеркал. Так для модуля ISM-50 – площадью 0,46 м² увеличение мощности составляет 35 %, а для модуля AXR-12, площадью 0,12 м² – до 75 % при одинаковой площади зеркал.

В целом плоские концентраторы могут быть применены, как в производстве переносных солнечных модулей, так и в производстве крупных солнечных электростанций, фотоэлектрические модули для которых выпускаются на различных российских и зарубежных предприятиях.

Различие в увеличении мощности для 50-ти и 12-ти ваттного элемента (до 35 и до 75 %) объясняется большей концентрацией светового потока на единицу площади приемной поверхно-

сти.

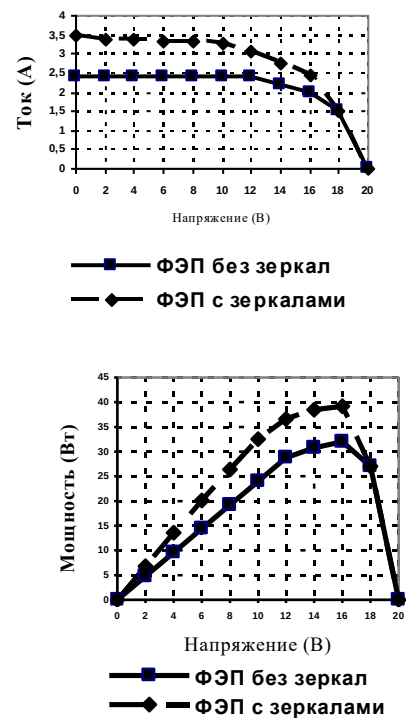


Рис. 2. Вольт-амперная и мощностная характеристики фотоэлектрического модуля ISM-50 (данные получены в январе).

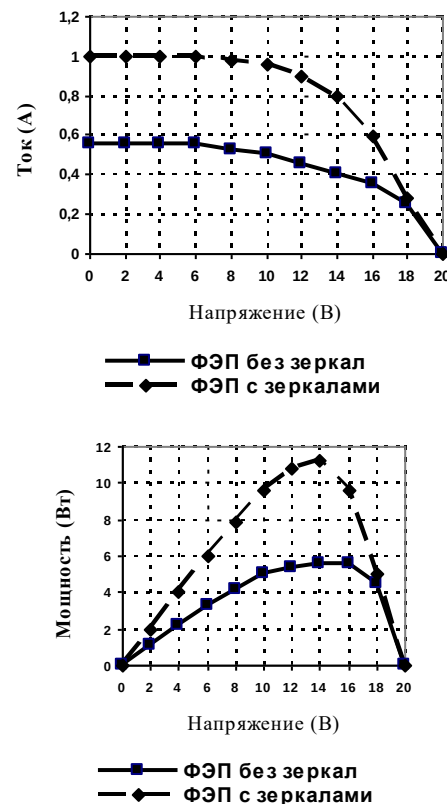


Рис. 3. Вольт-амперная и мощностная характеристики фотоэлектрического модуля AXR-12 (данные получены в январе).

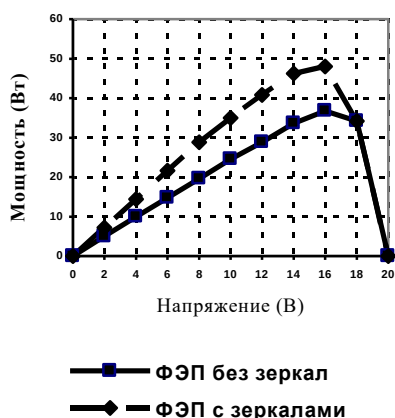
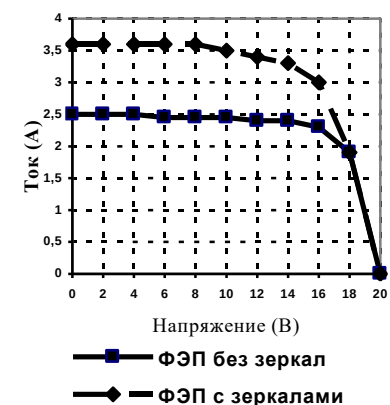


Рис. 4. Вольтамперная характеристика фотоэлектрического модуля ISM-50 (данные получены в марте).

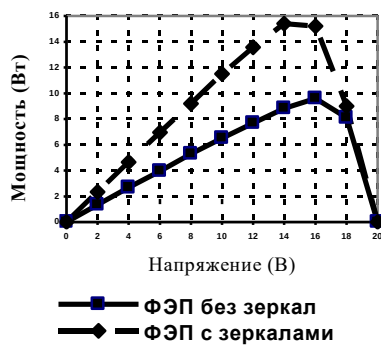
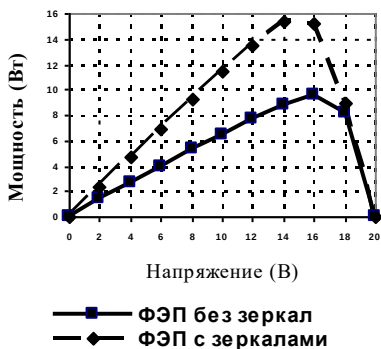


Рис. 5. Вольтамперная характеристика фотоэлектрического модуля AXR-12 (данные получены в марте).

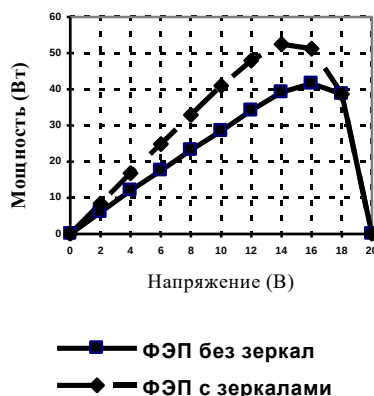
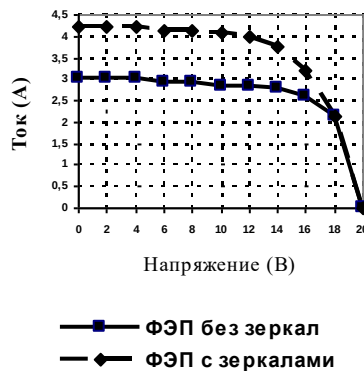


Рис. 6. Вольтамперная характеристика фотоэлектрического модуля ISM-50 (данные получены в апреле).

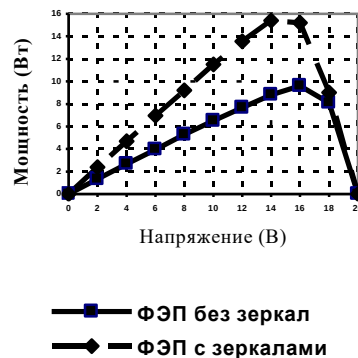
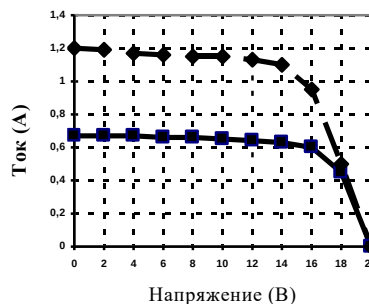


Рис. 7. Вольтамперная характеристика фотоэлектрического модуля AXR-12 (данные получены в апреле).

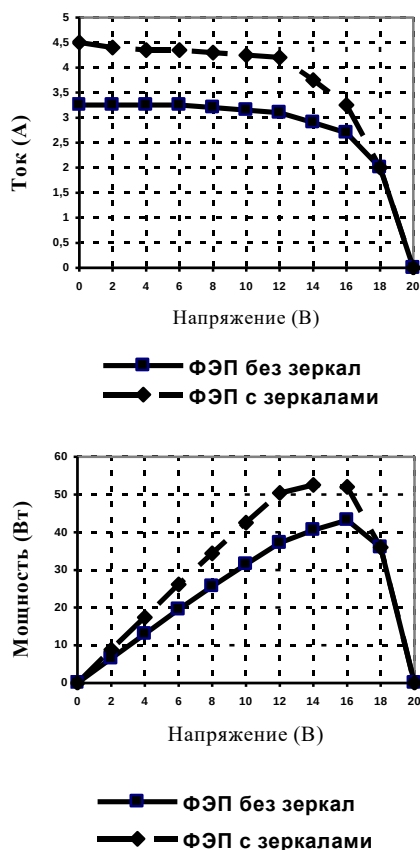


Рис. 8. Вольтамперная характеристика фотоэлектрического модуля ISM-50 (данные получены в мае).

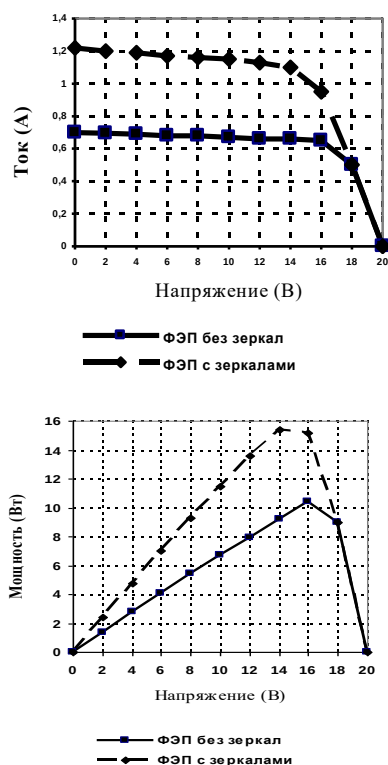


Рис. 9. Вольтамперная характеристика фотоэлектрического модуля AXR-12 (данные получены в мае).

Экологический эффект от использования фотоэлектрических установок

Использование предложенных нами недорогих плоских солнечных концентраторов позволяет в 2-3 раза повысить выработку электроэнергии, уже существующими фотоэлектрическими установками, и при этом соответственно сократить цену на единицу их номинальной мощности.

При этом для увеличения выработки электроэнергии солнечными батареями не приходится увеличивать производство солнечных элементов, которое само по себе является вредным и сопровождается опасными выбросами в атмосферу.

В таблице 2 приведены данные о выбросах производимых тепловыми электростанциями.

Таблица 2 Выбросы в атмосферу отходов электростанций мощностью 1 млрд Вт, работающих на разных видах ископаемого топлива, т/год

Ископаемое топливо	Выбросы, т/год				
	пыль	угарный газ	оксиды азота	диоксида серы	углеводороды
Уголь	3000	2000	27000	110000	400
Нефть	1200	700	25000	37000	470
Газ	500	-	20000	20	34

В своей статье мы не рассматривали возможность использования для отопления и горячего водоснабжения солнечных водонагревательных установок (гелиоколлекторов). Расчет систем солнечного теплоснабжения с их использованием хорошо рассмотрены в работах [12-14].

Экологическая польза от использования этих установок еще более высока, такой вывод можно сделать на основании данных полученных экспертами Европейского союза, работавших в Крыму по программе TESIS о количестве вредных выбросов в атмосферу различных загрязняющих веществ образующих при сгорании нефти, газа и каменного угля (см. табл. 3).

Таблица 3 Выбросы в атмосферу, образующиеся при сгорании различных видов ископаемых топлив

Наименования загрязняющих веществ	Показатели по видам топлив (т/год)		
	Уголь	Нефть	Природный газ
Углекислый газ (CO ₂)	30 603	24 054	16 206
Диоксид серы (SO ₂)	536	508	-
Оксиды азота (NO ₂)	56	100	19
Твердые частицы	920	32	1

Существенное сокращение этих выбросов возможно за счет внедрения на крымском полуострове солнечных установок.

Таким образом, применение только фотоэлектрических установок позволит снизить вредные выбросы в атмосферу и снизить экономический и экологический ущерб в несколько раз.

Выводы

Использование описанных выше установок для обеспечения индивидуальных потребителей и промышленных объектов позволяет снизить использование природного газа и другого органического топлива, необходимых для производства электроэнергии, а также позволяет существенно сократить вредные выбросы в атмосферу.

Особо следует отметить возможность использования солнечных батарей для обеспечения отдаленных потребителей, у которых отсутствует централизованная подача электроэнергии. Такими потребителями являются не только небольшие сезонные объекты: пасеки, полевые лагеря, туристические базы, и др., но и довольно крупные стационарные: метеостанции, лесоводческие хозяйства, фермы. Часто для этих объектов невыгодно тянуть линии электропередачи, поэтому раньше и сейчас на них устанавливают дизельные и бензиновые электрогенераторы, не рассматривая возможность использования солнечных батарей.

Приведенные исследования на серийных солнечных элементах позволяют сделать следующие основные выводы:

- внедрение солнечных установок позволит снизить вредные воздействия на окружающую среду котельных и тепловых электростанций;
- применение плоских концентраторов для солнечных батарей позволит, не увеличивая вредное производство кремниевых элементов повысить выработку электроэнергии уже существующими фотоэлектрическими электроустановками;
- в целях экономии средств, сборка фотоэлектрических модулей может производиться на базе малых лабораторий, что также будет способствовать более быстрому внедрению солнечных электроустановок в хозяйственную деятельность;
- согласно различным межгосударственным договорам (например, Киотский протокол), государства, существенно ограничивающие

выбросы в атмосферу вредных веществ и углекислого газа будут иметь не только экологический, но и экономический эффект.

Процесс прямого преобразования солнечной энергии в электрический ток, а также свойства солнечных элементов хорошо описаны в работах отечественных и зарубежных ученых [10-11]. Однако практическое применение кремниевых солнечных батарей в земных условиях началось сравнительно недавно и поэтому мы надеемся, что наши эксперименты помогут более быстрому внедрению солнечных установок в наш быт.

Список литературы

1. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки, М: Энергоатомиздат, 1991. – 153 с.
2. М.М. Колтун, Оптика и метрология солнечных элементов. М.: Наука, 1985. – 193 с.
3. Баранов В.Я. Новые концентраторы излучения и перспективы их применения в оптике и гелиотехнике // Тр. ГОИ. – 1979. – Т. 45. – Вып. 179. – С. 57 – 70.
4. Баранов В.К., Васильева Л.В. и др. Селективно отражающее металлическое зеркало // Гелиотехника. – 1966. - № 2. – С. 9 - 11.
5. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей: Пер. с англ. Под ред. М.М. Колтуна. - М.: Энергоатомиздат, 1983. – 195 с.
6. Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы: Теория и эксперимент: Пер. с англ. Под ред. М.М. Колтуна. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 280 с. с ил.
7. Кувшинов В.В., Сафонов В.А., Стаценко И.Н. Применение солнечной энергии. – Севастополь: СКУЭИП, 2005. – 66 с.
8. Колтун М.М. Солнечные элементы. – М.: Наука, 1987. – 192 с. с ил.
9. Алферов Ж.И., Андреев В.М. Перспективы фотоэлектрического метода преобразования солнечной энергии Преобразование солнечной энергии. / Под ред. Н.Н. Семенова. – Черноголовка: ИХФ АН СССР, 1981. – 20 с
10. Исследование гибридных ветро-солнечных систем для энергетического комплекса Ирака Абдали Л.М., Аль-Руфайе Ф.М., Кувшинов В.В., Аль-Антаки, А.М., Морозова, Н.В. Прикладная солнечная энергия (перевод Гелиотехники на английский язык), 2020, 56(4), с.284-290
11. Исследование потерь фотоэлектрических солнечных систем при работе в условиях частичного затенения Кузнецов П.Н., Абдали Л.М., Кувшинов В.В., Мохаммед, Х.Дж., Аль-Байрмани, А.Г. Журнал прикладной инженерной науки, 2020, 18(3), С.313-330
12. Применение нанокластерных покрытий для модификации поверхности приема изображения

термофотоэлектрических преобразователей энергии Крит Б.Л., Кувшинов В.В., Кукушкин Д.Ю., Ревенок Т.В., Слепцов В.В. Инженерия поверхности и прикладная электрохимия, 2020, 56(1), с.100-104

13. Власов Н.А., Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Сперанский М.Ю., Лавренчук А.А., Возможности увеличения выходных характеристик фотоэлектрических преобразователей в зависимости от оптической прозрачности защитных покрытий, Энергетические установки и технологии, Севастополь ФГАОУ ВО СевГУ, 2021, Т7 №2, с 62-66
14. Жиганов И.Г., Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Сперанский М.Ю., Лавренчук А.А., Некоторые результаты исследования характеристик тепловой ге-лиоустановки с фотоэлектрическим источником питания Энергетические установки и технологии, Севастополь ФГАОУ ВО СевГУ, 2021, Т7 №2, с 67-72

References

1. Kharchenko N.V. Individual solar installations, Moscow: Energoatomizdat, 1991. - 153 p.
2. M.M. Koltun, Optics and metrology of solar cells. M.: Nauka, 1985-- - 193 p.
3. Baranov V.Ya. New radiation concentrations and prospects for their application in optics and solar technology // Tr. GOI. - 1979. - Vol. 45. - Issue 179. - pp. 57-70.
4. Baranov V.K., Vasilyeva L.V. et al. Selectively reflecting metallic mirror // Heliotech-nika. - 1966. - No. 2. - pp. 9-11.
5. Rauschenbach G. Handbook on the design of solar batteries: Trans. from English. Edited by M.M. Koltun. - M.: Energoatomizdat, 1983-- - 195 p.
6. Farenbruch A., Bub R. Solar elements: Theory and experiment: Trans. from English. Edited by M.M. Koltun. - M.: Energoatomizdat, 1987-- - 280 p. with il.
7. Kuvshinov V.V., Safonov V.A., Statsenko I.N. Application of solar energy. - Sevastopol: SNUYEiP, 2005. - 66 p.
8. Koltun M.M. Solar cells. - M.: Nauka, 1987. - 192 p. with il.
9. Alferov Zh.I., Andreev V.M. Prospects of the photovoltaic method of solar energy conversion Solar energy conversion. / Edited by N.N. Semenov. - Chernogolovka: IHF of the USSR Academy of Sciences, 1981. - 20 s.
10. Research of hybrid wind-solar systems for the energy complex of Iraq Abdali L.M., Al-Rufaye F.M., Kuvshinov V.V., Al-Antaki, A.M., Morozova, N.V. Applied solar energy (translation of Solar Technology into English), 2020, 56(4), pp.284-290
11. Investigation of the losses of photovoltaic solar systems during operation under partial shading Kuznetsov, P.N., Abd Ali, L.M., Kuvshinov, V.V., ...Mohammed, H.J., Al-Bairmani, A.G. Journal of Applied Engineering Science, 2020, 18(3), стр. 313-330
12. The Application of Nanocluster Coatngs for Modification of Image Receiving Surface of Thermophotovoltaic Energy Converters Krit, B.L., Kuvshinov, V.V., Kukushkin, D.Y., ...Revenok, T.V., Sleptsov, V.V. Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2020, 56(1), стр. 100-104
13. Vlasov N.A., Kuvshinov V.V., Kakushina E.G., Speransky M.Yu., Lavrenchuk A.A., Possibilities of increasing the output characteristics of photoelectric converters depending on the optical transparency of protective coatings, Power plants and technologies, Sevastopol FSAOU in SevSU, 2021, T7 No.2, p 62-66
14. Zhiganov I.G., Kuvshinov V.V., Kakushina E.G., Speransky M.Yu., Lavrenchuk A.A., Some results of the study of the characteristics of a thermal solar installation with a photovoltaic power source Power plants and technologies, Sevastopol FSAOU in SevSU, 2021, T7 No. 2, from 67-72

УДК 620.92

Монокремниевые фотопреобразователи для комбинированных солнечных установок

В.В. Кувшинов¹, Е.Г. Какушина², М.А. Фисина³,
Р.Д. Хайбуллин⁴, Д.А. Ермолаев⁵

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, ¹kuvshinov.vladimir@gmail.com, ²littie@mail.ru,
³fisina@mail.ru, ⁴xaibulin@mail.ru, ⁵ermolaev@mail.ru,

Статья поступила 19.11.2021 г.; после доработки 23.11.2021 г.

Аннотация

Проведены экспериментальные исследования и получены сравнительные характеристики фотоэлектрической и комбинированной солнечных установок с рабочими поверхностями одинаковых размеров по электрическим характеристикам. Разработана солнечная установка для комбинированной выработки и электрической энергии. Теоретически показано и подтверждено экспериментально увеличение общего суммарного коэффициента преобразования комбинированной солнечной установки при уменьшении температуры рабочей поверхности и увеличения выработки электроэнергии фотоэлектрическими преобразователями.

Ключевые слова: тепловой абсорбер, фотоэлектрическая модель, комбинированный термофотоэлектрическая установка, преобразователь солнечной энергии.

Monosilicon photoconverters for combined solar installations

V.V.Kuvshinov¹, E.G. Kakushina², M.A. Fisina³,
R.D. Xaibullin⁴, D.A. Ermolaev⁵

Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,
¹kuvshinov.vladimir@gmail.com, ²littie@mail.ru,
³fisina@mail.ru, ⁴xaibulin@mail.ru, ⁵ermolaev@mail.ru,

Received 19.11.2021 y.; received in final form 23.11.2021 y.

Abstract

Experimental studies have been carried out and comparative characteristics of photovoltaic and combined solar installations with work surfaces of the same size in terms of electrical characteristics have been obtained. A solar installation for combined generation and electrical energy has been developed. Theoretically, an increase in the total conversion coefficient of a combined solar installation is shown and confirmed experimentally with a decrease in the temperature of the working surface and an increase in the generation of electricity by photovoltaic converters.

Keywords: thermal absorber, photovoltaic model, combined thermal photovoltaic installation, solar energy converter.

Введение

Возобновляемая энергетика на данном жизненном этапе – энергетически эффективный инструмент в переформировании энергетики Российской Федерации, способствующий отказу от

традиционной централизованной системы, основанной на применении крупных источников электроэнергетического производства, и переходу на альтернативные способы получения электроэнергии, основанных на использовании источников энергии, актуализированных под

конкретные природные условия и запросы потенциальных потребителей.

Уменьшение загрязняющих и, являющихся вредными для здоровья человека, выбросов позволяет снизить уровень сложившейся нагрузки на экономику страны и дать толчок для развития ее потенциала за счет высвободившихся ресурсов. Уменьшить нагрузку на экономику, тем самым высвобождая ресурсы для ее роста.

В настоящее время происходит новая техническая революция в энергетике, связанная с непрерывным ростом цен на традиционные органические энергоносители и на электрическую энергию, получаемую, в основном, от сжигания ископаемого углеводородного топлива, такого как природный газ, нефтепродукты, уголь. Эта тенденция обусловлена, прежде всего, ростом себестоимости добываемого топлива, а также увеличением затрат на его транспортировку.

Безусловно, переход от традиционных экономических моделей к модели «зеленого роста» может быть реализован только в случае приложения существенных усилий, направленных на расширение международного сотрудничества в этой области. Одновременно с этим возникает необходимость в последовательном проведении мероприятий различного уровня со стороны всех государств, а также поддержание выбранного политического курса на протяжении многих лет. При этом наметилась устойчивая тенденция снижения стоимости тепловой и электрической энергии, получаемой от возобновляемых источников. В настоящее время перед мировым сообществом и нашим государством стоит задача по снижению потребления традиционных топливно-энергетических ресурсов за счет использования альтернативных источников энергии [1].

Добиться этого можно, в частности, путем внедрения установок по прямому преобразованию солнечной энергии, так как её использование для теплоснабжения и электрообеспечения коммунальных и промышленных объектов является одним из путей обеспечения энергетической безопасности различных государств и занимает важное место в развитии мирового энергетического комплекса. Способствуют этому наличие ресурсной и технологической базы, климатические условия, которые позволяют применять солнечные установки в различных регионах планеты [2,3].

Невысокий термический потенциал солнечной энергетики определяет более высокие требования к эффективности использования установок для электрообеспечения и теплоснабжения, а

также к методам определения их основных энергетических характеристик [4,5,6].

С развитием современной науки и техники все больше стало появляться комбинированных установок, при которых с одной и той же рабочей поверхности одновременно вырабатывается тепловая и электрическая энергия. Эти установки можно отнести к новому классу солнечных энергетических установок – теплофотоэлектрические установки [7]. Такие установки одновременно преобразуют всю падающую на них солнечную радиацию в тепловую и электрическую энергию, т.е. одновременно являются генератором постоянного электрического тока и солнечным коллектором, нагревающим теплоноситель. При этом происходит увеличение их эффективности использования, это объясняется тем, что абсорберы тепловых гелиосистем и фотоэлектрические преобразователи солнечных батарей преобразуют различные длины волн солнечного спектра.

Поэтому с одной площади рабочей поверхности установки можно получать как тепловую, так и электрическую энергию [8]. Производство теплофотоэлектрических панелей на основе серийных кремниевых фотоэлектрических элементов и абсорберов солнечных коллекторов позволит сократить затраты на выпуск гелиотехники с дорогими селективными покрытиями и на материалы для производства конструкций фотоэлектрических модулей, объединив их в одну установку [9].

Постановка цели исследования

Так как на сегодняшний момент в мире выпускается уже значительное количество фотоэлектрических модулей [1,2,3], и практически все они производятся из кремниевых элементов, имеющих планарную конструкцию, т.е. плоскую приемную поверхность, на которую падает солнечная радиация, соответственно, и все фотоэлектрические модули, сделанные из этих элементов, также имеют плоскую конструкцию [9]. Конструкция простейшего кремниевого солнечного элемента показана на рис.1, где видно рабочую поверхность фотоэлемента с контактной сеткой, на малой глубине от поверхности которой сформирован р-п-переход с тонким металлическим контактом.

На тыльную сторону пластины (обычно р-слой, имеющий дырочную проводимость) нанесен сплошной металлический контакт [10,4], когда фотоэлемент освещается, поглощенные фотоны генерируют неравновесные электронно-

дырочные пары в р-слое и заряжают п-область отрицательно, а р-область положительно.

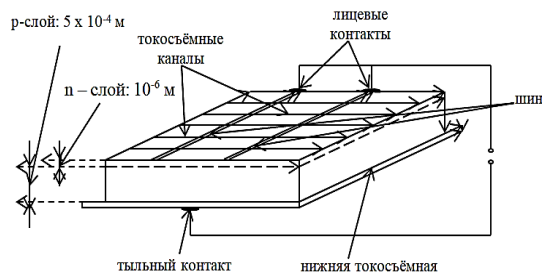


Рис. 1. Планарная конструкция солнечного элемента

При этом величина установившейся фото-ЭДС при освещении р-п-перехода излучением постоянной интенсивности описывается уравнением вольтамперной характеристики (ВАХ) (см. рис. 2), [1]:

$$U = \frac{kT}{e} \ln \left(1 + \frac{I_{\phi}}{I_o} \right) \quad (1)$$

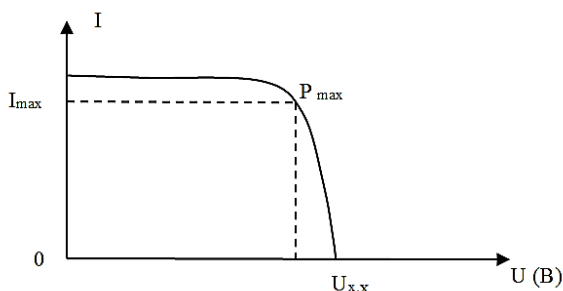


Рис. 2. Типовой вид зависимости тока I от напряжения U (вольтамперная характеристика солнечного элемента)

Максимальная мощность отбирается в том случае, когда фотоэлемент находится в режиме $P_{\max}$ (рис. 3) и вычисляется как:

$$P_{\max} = F_{ff} I_{K3} U_{XX} = I_{\max} U_{\max} \quad (2)$$

где: F_{ff} – фактор заполнения ВАХ; I_{K3} – ток короткого замыкания; U_{XX} – напряжение холостого хода; $I_{\max}$ – ток в рабочей точке; $U_{\max}$ – напряжение в рабочей точке.

Чем выше фактор заполнения ВАХ – F_{ff} , тем мы имеем более качественный элемент. У кремниевых элементов фактор заполнения со-

ставляет порядка 0,75-0,8 [1]. КПД фотоэлектрического элемента рассчитывается по формуле:

$$\eta_{\text{фЭП}} = \frac{I_{\max} U_{\max}}{S_{\text{эл.}} E_o} = \frac{P_{\max}}{S_{\text{эл.}} E_o} \quad (3)$$

где: $S_{\text{эл.}}$ – площадь элемента (м^2); E_o – освещенность рабочей поверхности (Вт/м^2).

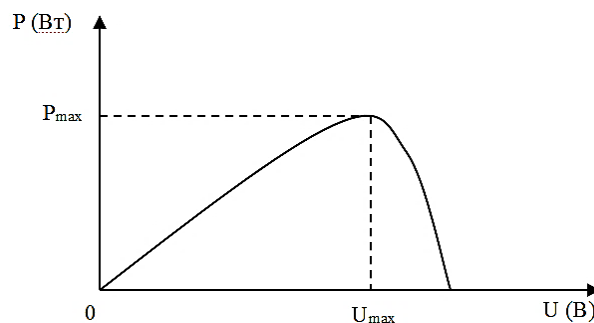


Рис. 3. Типовой вид зависимости мощности P от напряжения U

Если к внешней цепи подключено сопротивление нагрузки (R_n), то при $R_n=0$ устанавливается режим короткого замыкания (I_{K3}), а при $R_n=\infty$ режим холостого хода (U_{XX}) фотопреобразователя. При работе в режиме короткого замыкания через р-п переход и внешний проводник течет максимальный ток [1-4], если цепь замкнута, то значение U в цепи (формула 1) будет меньше U_{XX} и возникает постоянный ток:

$$I = I_{\phi} - I_o \left(\exp \left(\frac{eU}{kT} \right) - 1 \right) \quad (4)$$

где: I_{ϕ} – фототок, I_o – обратный ток насыщения р-п – перехода; U – напряжение на нагрузке.

Монокремниевые и поликремниевые солнечные элементы, на производственных линиях, собираются в фотоэлектрические модули, имеющих определённые электрические характеристики (ток, напряжение, мощность). Для исследований были выбран монокремниевый фотоэлектрический модуль мощностью 50 Вт (тип ISM-50), имеющий хорошие характеристики, которые показаны в таблице 1.

Этот солнечный модуль (тип ISM-50) выполняется в виде панели, заключенной в каркас из анодированного алюминиевого профиля (рис.4).

Таблица 1. Зависимость характеристик модуля ISM-50 от температуры

Температура воздуха, °C	Мощность, Вт	Напряжение, В	Ток, А
25	50	17	2,88
45	44,8	15,44	2,9
60	41,5	14,27	2,91

Модуль содержит 36 монокристаллических кремниевых солнечных ячеек [7]. Панель модуля представляет собой фотоэлектрический генератор, защищённый закалённым стеклом 3 – 4 мм, под ним, между слоями герметизирующей пленки, размещены солнечные элементы, электрически соединенные между собой металлическими шинами, с тыльной стороны панель защищена от внешних воздействий слоем защитной пленки, а к внутренней стороне корпуса модуля прикреплена контактная коробка с диодным блоком, предназначенная для подключения модуля в энергосеть [1,3,4]. Согласно техническим требованиям интервал рабочих температур модуля составляет $-60^{\circ}\text{C} \div +75^{\circ}\text{C}$, допустимая влажность 100%, сам модуль имеет облегченную герметичную конструкцию и повышенную градоустойчивость. Фотоэлектрическая панель ISM-50 представляет собой энергетическую систему с хорошо разработанной технологией, которая обеспечивает подачу электроэнергии потребителям, независимым от электросетей, модуль имеет пиковую мощность 50 Вт и параметры, указанные в таблице 1.

Результаты исследования

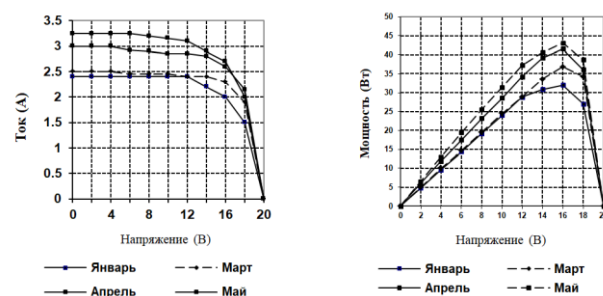
Для проведения исследований рабочих поверхностей солнечных установок было использовано экспериментальное оборудование кафедры «Возобновляемые источники энергии электрические системы и сети» Института ядерной энергии и промышленности при Севастопольском государственном университете (СевГУ). Целью данной работы являлось провести исследования солнечной установки, сочетающей в себе гелиоколлектор для обеспечения теплом и горячей водой, фотоэлектрическую батарею для выработки электричества [10].

Для реализации задач предстоящего исследования использовались промышленные кремниевые фотопреобразователи и абсорберы тепловых гелиоколлекторов.

В мировой энергетике налажено производ-

ство фотоэлектрических преобразователей и гелиоустановок, на основе серийных солнечных элементов и тепловых абсорберов, возможно обеспечить производство комбинированных солнечных термофотоэлектрических установок. Однако для эффективного применения предложенных солнечных преобразователей необходимо провести натурные исследования при различных атмосферно-климатических факторах, влияющих на их работу. При этом используя практические рекомендации, можно с определённой уверенностью показать какие энергетические параметры будет вырабатывать солнечная батарея в тех или иных погодных условиях.

Для проведения экспериментальных исследований использовалась площадка СевГУ, сами исследования проводились на открытой территории в ясные солнечные дни при постоянной освещенности. Результаты приведены на графиках (рис. 4), где показаны вольтамперные и мощностные характеристики, полученные при испытаниях.

**Рис. 4.** Вольтамперная и мощностная усредненные характеристики модулей ISM-50 для разных месяцев года

Основной целью исследования было получение зависимостей изменения выходной мощности фотоэлектрической батареи в разные месяцы года.

Как видно из графиков значения номинальной мощности заводских измерений модуля ISM-50 соответствуют значениям, однако при натурных испытаниях (данные получены при температурах около 15°C , и различных освещенностях) значение напряжения модуля в рабочей точке с увеличением освещенности в весенние месяцы падает (рис 4), мощностные характеристики сохраняются, но значения тока растут сильнее, чем по заводским параметрам.

Экспериментальные значения вольтамперных характеристик модуля также были получены при различных температурных факторах, на графиках рис. 5 видно, что при одинаковых

значениях освещенности, мощность модуля увеличивается при низких температурах.

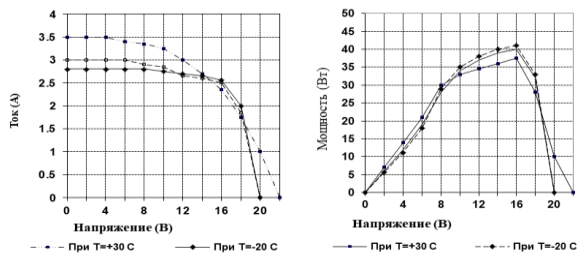


Рис. 5. Зависимости вольтамперной и мощностной характеристик модуля ISM-50 полученные в разное время года при 800 Вт/м^2

Коэффициент преобразования модуля, зависит от освещенности, при этом он увеличивается в холодную ясную погоду, и снижается при повышении атмосферной температуры. Результаты показывают, что эффективных режим работы модуля наблюдается при отрицательных температурах воздуха. холодная температура положительно сказывается на работе модуля, хорошо видно увеличение коэффициента преобразования модуля.

Также наблюдалось резкое повышение мощности модуля при выходе Солнца из-за облаков, которое связано с увеличением освещенности за счет суммирования прямого и отраженного от облаков потока солнечной радиации.

Представляет интерес зависимость при работе модуля при наличии снегового покрова, которая показана на рис.6. Как видно их графиков мощность модуля может значительно увеличиваться за счет отражения света от снега, при условии его падения на рабочую поверхность установки.

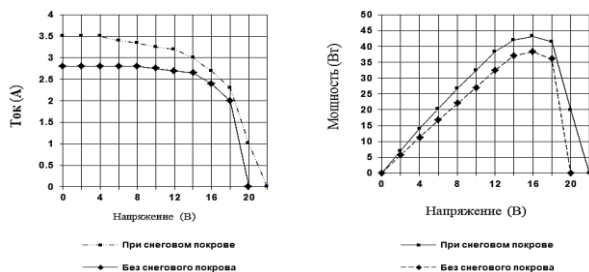


Рис. 6. Характеристики, полученные при наличии снегового покрова (мощность падающего солнечного излучения 770 Вт/м^2)

Приведенные экспериментальные данные показывают возможность использования сол-

нечных установок с повышенной эффективностью работы. Полученные данные, показывают конечные значения выработки электроэнергии генерирующими фотоустановками, которые могут как увеличиваться, так и уменьшаться более чем на 40 %, в сопоставлении с заводскими характеристиками.

Выводы

Проведенные исследования солнечных установок позволяют в некоторой степени устранить проблемы, связанные с повышением эффективности использования серийных гелиоколлекторов и фотоэлектрических модулей за счет улучшения селективности покрытий абсорберов и повышения КПД кремниевых элементов.

Повышение эффективности использования солнечных систем сводится к новым разработкам комбинированных термофотоэлектрических установок, пригодных для работы в натурных условиях, а также к последующим разработкам и исследованиям работы комбинированных поверхностей, созданных на основе промышленных фотопреобразователей и тепловых абсорберов гелиоустановок.

На основе натурных исследований, проведенных при различных климатических условиях, получены данные о наиболее эффективных режимах работы серийных фотоэлектрических модулей ISM-50, показано изменение КПД модулей, полученное при исследованиях их работы при различных атмосферных температурах.

Работа выполнена при финансовой поддержке внутреннего гранта ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» № 27/06–31.

Список литературы

1. Власов Н.А. Возможности увеличения выходных характеристик фотоэлектрических преобразователей в зависимости от оптической прозрачности защитных покрытий / Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Сперанский М.Ю., Лавренчук А.А. // Энергетические установки и технологии. 2021. Т. 7. № 2. С. 62–66.
2. Вологдин С.В. Анализ различных сценариев энергоснабжения Крыма с учетом режимов работы солнечной электростанции / Якимович Б.А., Кувшинов В.В., АбдАли Л. М., Какушина, Е. Г. и другие // Appl. Sol. Энергия, 2019, Том 55, № 4, С. 229–234.
3. Бордан Д.Ф. Потенциал развития тепловой солнечной энергетики для нужд коммунального хозяйства / Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Олей-

- ников А.М., Гхашим М. // Энергетические установки и технологии. 2021 - Т. 7. № 1. С. 46-52.
4. Кувшинов В.В. Использование термо-фотоэлектрических установок для обеспечения тепловой и электрической энергией Севастополя/ Е.Г. Какушина, А.Д. Васильев, А.А. Горецкий // Энергетические установки и технологии – 2016. Т. 2. № 3. С. 51-57.
 5. Кувшинов В.В. Возможности повышения мощностных характеристик солнечных установок при выработке тепловой и электрической энергии с одной приемной поверхности / Е.Г. Какушина // Энергетические установки и технологии – 2016. Т. 2. № 3. С. 45-50.
 6. Муровский С.П. Разработка эффективной системы автономного энергоснабжения удаленных объектов на основе нетрадиционных возобновляемых источников энергии / Кузнецов П.Н. // Строительство и техногенная безопасность.- 2012.- № 43.- С. 122-126.
 7. Зайченко В.М. Направления развития энергетики /Чернявский А.А., Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Абейдулин С.А. //Энергетические установки и технологии. 2019 - Т. 5. № 3. С. 53-61.
 8. Кувшинов В.В. Экспериментальное исследование энергетических характеристик солнечных установок в районе Севастополя. /Какушина Е.Г., Кувшинова В.В., Аджиев О.У., Бердышев К.Ю.//Энергетические установки и технологии - 2019. Т. 5. № 2. С. 104-110.
 9. Гурьев В.В. Развитие возобновляемых источников электроэнергии в энергосистеме республики Крым и г. Севастополя / Какушина Е.Г., Якимович Б.А., Кувшинов В.В.//Энергетические установки и технологии - 2019. Т. 5. № 2. С. 90-93.
 10. Кувшинов В.В. Система хранения для солнечных станций. /Коломийченко В.П., Какушина Е.Г. и другие// Appl. Sol. Энергия, 2019, Том. 55, №. 3, С. 153–158.
 - Oleynikov A.M., Ghashim M. // Energy and technology. 2021. Vol. 7. no. 1. pp. 46-52.
 4. Kuvshinov V.V. The use of thermo-photovoltaic installations to provide thermal and electric energy to Sevastopol/ E.G. Kakushina, A.D. Vasiliev, A.A. Goretsky // Power plants and technologies - 2016. V. 2. No. 3. P. 51-57.
 5. Kuvshinov V.V. Possibilities of increasing the power characteristics of solar installations in the generation of heat and electric energy from one receiving surface / E.G. Kakushina // Power plants and technologies - 2016. V. 2. No. 3. P. 45-50.
 6. Murovsky S.P. Development of an effective system of autonomous power supply to remote facilities based on non-traditional renewable energy sources./ Kuznetsov P.N. // Construction and technogenic safety. 2012. No. 43. pp. 122-126.
 7. Zaichenko V. M. Directions of energy development / Chernyavsky A. A., Kuvshinov V. V., Kakushina E. G., Abeidulin S. A. //Power plants and technologies. 2019-Vol. 5. No. 3. pp. 53-61.
 8. Kuvshinov V.V. An experimental study of the energy characteristics of solar plants in the region of Sevastopol. / Kakushina E.G., Kuvshinova V.V., Adzhiev O.U., Berdyshev K.Y.// Power Plants and Technologies - 2019.V. 5. No. 2. P. 104-110.
 9. Guryev, V. V., Development of renewable IP-source of electricity in the power system of the Republic of Crimea and Sevastopol / Kaku bus E. G., B. A. Yakimovich, Kuvshinov V. V.//Energy and technology 2019. Vol. 5 No. 2. pp. 90-93.
 10. Kuvshinov V.V. Storage system for solar stations. / Kolomiychenko V.P., Kakushina E.G. and others // Appl. Sol. Energy, 2019, Vol. 55, no. 3, pp. 153–158.

References

1. Vlasov N.A. Possibilities of increasing the output characteristics of photovoltaic converters depending on the optical transparency of protective coatings / Kuvshinov V.V., Kakushina E.G., Speransky M.Yu., Lavrenchuk A.A. //Power plants and technologies. 2021. Vol. 7. No. 2. pp. 62-66.
2. Vologdin S. V. Analiz razlichnykh scenariy energosnabzheniya Kryma s uchetom rezhimov work solar power plants / Yakimovich B. A., Kuvshinov V. V., AbdAli L. M., Kakushina, E. G. et al. / / Appl.Sol. Energy, 2019, Vol. 55, no. 4, pp. 229-234.
3. Bordan D. F. Potentiality of the development of thermal solar energy for the needs of the municipal economy /Kuvshinov V. V., Kaku-shina E. G.,

УДК 620.92

Использование солнечных преобразователей для обеспечения бесперебойной работы медицинской техники

В.В. Кувшинов¹, В.А. Березняк², Б.А. Якимович³, М.Ю. Сперанский⁴,
Н.В. Морозова⁵

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия,

¹kuvshinov.vladimir@gmail.com, ²gern96-10@mail.ru, ³BA Yakimovich@sevsu.ru, ⁴MY Speranskiy@sevsu.ru,
⁵nvmorozova@sevsu.ru,

Статья поступила 29.11.2021 г.; после доработки 30.11.2021 г.

Аннотация

Проведены экспериментальные исследования и получены характеристики фотоэлектрической панели, используемой для обеспечения бесперебойной работы ESM-аппарата электро-мышечной стимуляции. В качестве солнечной батареи использовались фотоэлектрические преобразователи с нано-модифицированной поверхностью.

Ключевые слова: солнечные элементы, фотоэлектрический модуль, нано-модифицированные элементы преобразователь солнечной энергии, EMS-технологии, блок источника резервного питания, электрический генератор, фотоэлектрические преобразователи, альтернативная энергия, солнечные модули.

The use of solar converters to ensure the smooth operation of medical equipment

V.V. Kuvshinov¹, V.A. Bereznyak², B.A. Yakimovich³,
M.Yu. Speransky⁴, N.V. Morozova⁵

Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia

¹kuvshinov.vladimir@gmail.com, ²gern96-10@mail.ru, ³BA Yakimovich@sevsu.ru, ⁴MY Speranskiy@sevsu.ru,
⁵nvmorozova@sevsu.ru

Received 29.11.2021 y.; received in final form 30.11.2021 y.

Abstract

Experimental studies have been carried out and the characteristics of the photovoltaic panel used to ensure the smooth operation of the ESM apparatus of electro-muscular stimulation have been obtained. Photovoltaic converters with a nano-modified surface were used as a solar battery.

Keywords: solar cells, photovoltaic module, nano-modified solar energy converter elements, EMS technologies, backup power supply unit, electric generator, photovoltaic converters, alternative energy, solar modules

Введение

Солнечный свет – возобновляемый и неисчерпаемый источник, который используется для получения как тепловой, так и электрической энергии. Кроме того, солнечная энергетика является наиболее экологически чистой, практически

не имеющей вредных выбросов. Полное количество солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли за неделю, превышает энергию всех мировых запасов нефти, газа, угля и урана [1],

В настоящее время преобразование солнечной энергии в электрическую является одним из

самых перспективных направлений [2], Генерация электрической энергии осуществляется с помощью фотоэлектрических преобразователей (ФЭП), которые широко используются для энергообеспечения населения, объектов производства, космических станций. Работа ФЭП основана на фотовольтстатическом эффекте, который возникает в неоднородных полупроводниковых структурах при воздействии на них солнечного излучения [3]. Однако главной проблемой для их широкомасштабного использования является низкий мощный КПД, невысокая плотность и непостоянство потока естественной солнечной радиации, преобразовываемой в электрическую энергию, и, как следствие, – сравнительно высокая себестоимость на единицу мощности [4].

Наибольшее распространение получили полупроводниковые ФЭП на основе монокристаллического либо поликристаллического кремния. При этом коэффициент преобразования солнечной радиации в электрическую энергию современными серийными кремниевыми фотоэлектрическими модулями не превышает 15–20%. Фотоэлементы на основе поликристаллического кремния имеют самый дешёвый ватт электроэнергии, но их выработка ещё ниже. Всё это стимулирует поиски повышения эффективности ФЭП [3-5]. Таким образом, недостаточная эффективность существующих гелиотехнических материалов является одной из главных причин, препятствующих развитию солнечной энергетики. В этом смысле задача повышения характеристик промышленно выпускаемых фотоэлементов безусловно является актуальной.

Постановка задачи и целей исследования

Для работы современной медицинской техники используется большое множество различных систем электропитания. Одна часть этих установок работает исключительно от сети переменного тока, другая использует встроенные элементы питания. Однако наиболее эффективно использовать комбинированные системы электроснабжения, в которых предусмотрены аккумуляторные блоки бесперебойного питания с возможностью подзарядки от общей энергосистемы. Но что делать при длительном отсутствии централизованного электропитания в течение длительного времени. Наиболее логично использовать какие-либо подручные средства, которые могут генерировать электричество малой мощности и обеспечивать бесперебойную работу. Такие системы должны удовлетворять

определённым требованиям и при их работе качество и срок службы вспомогательного и основного электрооборудования не должен уменьшаться.

Для курортно-рекреационной системы (бальнеология, курортология, лечебная физкультура, массаж и др.) используется различное оборудование, которое имеет определённые технические характеристики. В частности, существует так-называемые EMS-технологии (EMS-аппараты), используемые в медицинских (реабилитационных) целях. Цель работы является обеспечение качественной работы медицинского оборудования с использованием энергосберегающих технологий и солнечных элементов для бесперебойной работы EMS аппарата. Для достижения поставленной цели в качестве зарядной батареи для бесперебойного источника питания были использованы солнечные преобразователи. Однако постоянное использование для работы в не стационарных условиях и перемещение вне студий и медицинских салонов может привести к поломкам оборудования. Поэтому для решения этой проблемы были выбраны фотопреобразователи с повышенными энергетическими характеристиками. Одной из целей работы являлось создание зарядной энергоэффективной солнечной панели на основе фотоэлектрического преобразователя с нано модифицированной приёмной поверхностью [5-7], которую можно было использовать для обеспечения бесперебойной работы EMS аппарата. Внедрение EMS-технологий с источниками резервного питания (БИРП) для курортно-рекреационных объектов является перспективным направлением.

Результаты исследований

При разработке электроэнергетической установки для обеспечения бесперебойной работы EMS-аппарата были использованы кремниевые фотопреобразователи с рабочей поверхностью, нано модифицированной ионами серебра. Работы были выполнены методом ионного резонанса в лаборатории искрового плазменного спекания, находящийся в МГТУ «Станкин» в г. Москва [5-7]. Полученные солнечные элементы обладают высоким коэффициентом преобразования, повышенной твердостью и эффективностью работы. Их мощностные характеристики приведены на рис. 1.

Как видно из графиков (рис. 1), имеет место увеличение на 20 % мощностных характеристик фотоэлектрических преобразователей при нане-

сении на их рабочую поверхность нанопокрывать. В натуральных условиях изменения угла падения лучей на приемную поверхность фотоэлектрического модуля на определенную величину приводят к соответствующему изменению освещенности рабочей поверхности модуля EO , что, в свою очередь, влияет на работу фотоэлектрического модуля [8-10].

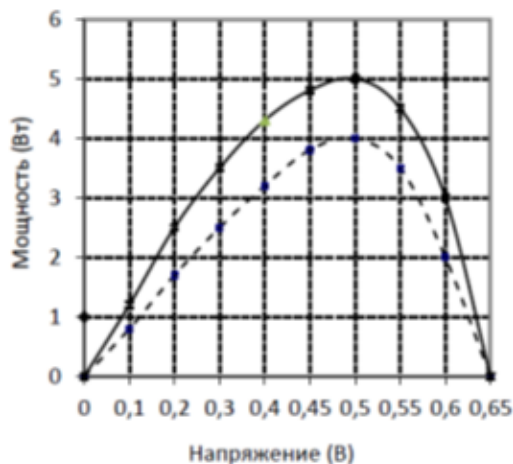


Рис. 1 Мощностные характеристики кремниевых элементов (сплошная линия — с модифицированной поверхностью, пунктирная линия — заводские характеристики).

Смоделировать ситуацию изменения освещенности рабочей поверхности при движении солнца по горизонту можно, изменяя в течение короткого времени положение угла установки фотоэлектрического модуля к горизонту и проводя при этом прямые измерения тока и напряжения модуля при изменении нагрузочного сопротивления [7]. На рис. 2 показаны теоретические и экспериментальные характеристики

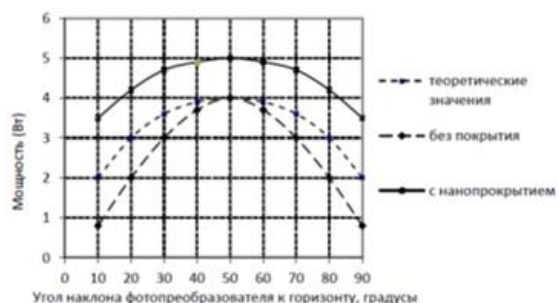


Рис. 2 Мощностные характеристики фотопреобразователей при изменении угла падения солнечных лучей на рабочую поверхность

Как видно из графиков солнечные элементы с наномодифицированной поверхностью более

эффективно преобразовывают поток солнечной радиации при критических углах падения [10].

Увеличение преобразования фотоэлементов при малых углах падения солнечных лучей способно значительно поднять выработку электроэнергии солнечными модулями. На графиках (рис. 1 и 2) видно существенное увеличение мощностных характеристик фотоэлементов, используемых в заводских модулях, при нанесении на них покрытий из наночастиц серебра и сохранение их мощностных характеристик при малых углах падения солнечной радиации [4, 7].

Использование фотоэлементов с нанопокрывтиями позволяет увеличить выработку электроэнергии фотоэлектрическими установками за счет более полного преобразования потока падающей солнечной радиации даже при малых углах падения солнечных лучей на приемную поверхность [5-7].

Полученные данные будут способствовать росту мощностных характеристик различных типов солнечных элементов, увеличению их коэффициента преобразования, повышению эффективности фотоэнергетических установок и устройств различного назначения, не увеличивая при этом площадь их приемной поверхности, что существенно расширит сферу использования солнечных энергетических установок [10].

Использование поликремневых фотоэлементов с нано-модифицированной поверхностью для заряда систем аккумулирования, используемых для EMS-аппарата. Использование БИРП систем с фотоэлементами для работы EMS-аппаратов вне центров в "полевых условиях", при отсутствии доступа к общей энергосети.

Результаты проведенной работы расширяют представления о процессах формирования функциональных поверхностей, функционирования фотоэлектрических преобразователей энергии, влияния микропримесей на эффективность работы фотоэлектрических преобразователей. Установленные закономерности позволяют оценивать эффективность модифицирования фотоэлектрических преобразователей.

Практическая значимость

Использование EMS-технологий для курортно-рекреационного комплекса санаторных учреждений республики Крым и города Севастополь способствует увеличению эффективности работы реабилитационных центров и выздоровлению людей, страдающих такими заболеваниями как мышечная атрофия, заболевания

опорно-двигательного аппарата и т. д. Расширение использования предложенных EMS-аппаратов с источниками бесперебойного питания и зарядными блоками из солнечных панелей способствует более качественному лечению.

Выводы

В ходе выполнения работы было выявлено, что модифицирование поверхности фотоэлементов наночастицами серебра приводит к повышению мощностных характеристик на 20 % за счёт инициирования эффекта поверхностного плазменного резонанса.

Использование фотоэлементов с повышенными характеристиками способствует увеличению срока их эксплуатации и увеличению коэффициента преобразования.

Внедрение солнечных установок в EMS-технологии способствует более высокой эффективности использования медицинского оборудования за счет работы в натуральных условиях в местах отдыха в различные периоды времени года.

Список литературы

1. Сибикин, Ю.Д., Сибикин, М.Ю., Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, М.: КНОРУС, 2010. 232 с.
2. Кувшинов, В.В., Морозова, Н.В. / Возможности повышения мощностных характеристик солнечных установок для использования в энергетике Крыма // М.: Спутник+, 2017. 175 с.
3. Фотоэлектрические приборы из кристаллического кремния. Методика коррекции результатов измерения вольтамперной характеристики (МЭК 891-87): ГОСТ 28976-91. – [Введ. 19.04.91]. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 42 с. – (Национальный стандарт России).
4. Колтун М.М. Оптика и метрология солнечных элементов. М.: Наука, 1985. 300 с.
5. Васильев А.М., Кукушкин Д.Ю., Трофимов В.В. Осаждение нанокластеров металлов из коллоидных растворов на поверхность пористых рулонных материалов методом электрофореза // Известия РАН. серия физическая, 2019 том, № 12(83), С. 1670–1674. DOI: 10.1134/S0367676519120305/
6. The application of nanocluster coatings for modification of image receiving surface of thermophotovoltaic energy converters / Krit B.L., Kukushkin D.Y., Sleptsov V.V., Kuvshinov V.V., Omel'chuk Y.A., Morozova N.B., Revenok T.V. // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2020. T. 56. № 1. С. 100-104.
7. Слепцов В.В., Тянгинский А.Ю., Остроухов Н.Н., Церулев М.В. Электроимпульсная технология получения, диагностика и биологическое

применение гидрозолей металлов. Физика и химия обработки материалов. 2013 г., №1, с. 77-82.

8. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей. М.: Энергоатомиздат, 1983. 397 с.
9. Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. Л.: Наука, 1989. 405 с.
10. Возможности повышения мощности фотоэлектрических преобразователей модификацией их поверхностей нанокластерами серебра / Кувшинов В.В., Крит Б.Л., Морозова Н.В., Кукушкин Д.Ю., Савкин А.В. // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2018. № 1 (43). С. 36-42.

References

1. Sibikin, Yu.D., Sibikin, M.Yu., Unconventional and renewable energy sources, Moscow: KNORUS, 2010. 232 p.
2. Kuvshinov, V.V., Morozova, N.V. / Possibilities of increasing the power characteristics of solar installations for use in the energy sector of the Crimea // Moscow: Sputnik+, 2017. 175 p.
3. Photovoltaic devices made of crystalline silicon. The method of correction of the measurement results of the voltage characteristic (IEC 891-87): GOST 28976-91– - [Introduction. 19.04.91]. - M.: IPK Publishing House of Standards, 2004. - 42 p– - (National Standard of Russia).
4. Koltun M.M. Optics and metrology of solar cells. M.: Nauka, 1985. 300 p.
5. Vasiliev A.M., Kukushkin D.Yu., Trofimov V.V. Deposition of metal nanoclusters from colloidal solutions on the surface of porous rolled materials by electrophoresis // News of the Russian Academy of Sciences. Physical Series, 2019 volume, No. 12(83), pp. 1670-1674. DOI: 10.1134/S0367676519120305/
6. The application of nanocluster coatings for modification of image receiving surface of thermophotovoltaic energy converters / Krit B. L., D. Y. Kukushkin, V. V. Sleptsov, V. V. Kuvshinov, Omel'chuk Y. A., Morozova N. B., Revenok T. V. // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2020. T. 56. No. 1. S. 100-104.
7. Sleptsov V. V., Tenginskiy A. Yu., Ostroukhov N. N., Ceruleo M. V. Electro production technology, diagnostics and biological application of hydrosols of metals. Physics and chemistry of materials processing. 2013, No. 1, pp. 77-82.
8. Rauschenbach G. Handbook on the design of solar panels. M.: Energoatomizdat, 1983. 397 p.
9. Andreev V.M., Grilihes V.A., Rumyantsev V.D. Photoelectric conversion of concentrated solar radiation. L.: Nauka, 1989. 405 p.
10. Possibilities of increasing the power of photovoltaic converters by modifying their surfaces with silver

nanoclusters / Kuvshinov V.V., Krit B.L., Morozova N.V., Kukushkin D.Yu., Savkin A.V. // Vector of Science of Togliatti State University. 2018. No. 1 (43). pp. 36-42.

УДК 620.92

Возможности развития геотермальной энергетики Крыма

Ю.А.Майорова¹, М.Ю. Сперанский², В.В. Кувшинов³, А.А.Скидан⁴,
Н.Н. Смокталь⁵

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия,

¹YAMayorova@sevsu.ru, ²MYSperanskiy@sevsu.ru, ³kuvshinov.vladimir@gmail.com, ⁴a.a.skidan@sevsu.ru,
⁵NNSmoktal@sevsu.ru

Статья поступила 25.11.2021 г.; после доработки 26.11.2021 г.

Аннотация

Использование геотермальных установок в Крыму позволяет значительно сократить выбросы в атмосферу вредных веществ и углекислого газа. Для увеличения эффективности использования геотермальной энергии необходимо провести мониторинг существующих технических мощностей, связанных с использованием термальных вод полуострова и скважин, имеющихся в Крымском регионе.

Ключевые слова: геотермальные установки, термальные воды, эффективность скважины, геотермальные ресурсы, термический потенциал.

Development opportunities geothermal energy of Crimea

Yu.A.Mayorova¹, M.Yu. Speransky², V.V. Kuvshinov³, A.A.Skidan⁴,
N.N. Smoktal⁵

Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,

¹YAMayorova@sevsu.ru, ²MYSperanskiy@sevsu.ru, ³kuvshinov.vladimir@gmail.com, ⁴a.a.skidan@sevsu.ru,
⁵NNSmoktal@sevsu.ru

Received 25.11.2021 y.; received in final form 26.11.2021 y.

Abstract

The use of geothermal installations in Crimea can significantly reduce emissions of harmful substances and carbon dioxide into the atmosphere. To increase the efficiency of the use of geothermal energy, it is necessary to monitor the existing technical capacities associated with the use of the thermal waters of the peninsula and the wells available in the Crimean region.

Key words: geothermal installations, thermal waters, well efficiency, geothermal resources, thermal potential.

Введение

На данном этапе развития мирового сообщества особое место уделяется созданию баланса экономических и экологических составляющих планеты. При этом определено, что одним из источников экологически устойчивой энергетики являются возобновляемые источники энергии.

Различные типы возобновляемых источников энергии используются по-разному и при ре-

ализации проектов возникают барьеры, как технико-экономического, так и законодательного характера, что предполагает формирование системного подхода к освоению технологий возобновляемой энергетики.

Развитие геотермальной энергетики не является исключением. Учитывая большой энергетический потенциал, поставлена задача наиболее эффективного использования геотермальных ресурсов. При этом Международные геотермальные организации, признавая этот

факт, особое внимание уделяют отношению государств, обладающих достаточными геотермальными ресурсами, к созданию условий развития технологий стабилизации энергетической отрасли при сохранении экологии.

Для Крыма актуальной остается не только проблема энергообеспечения, но и сохранения уникальных природных лечебных богатств полуострова [1]. В связи с этим, возобновляемые источники энергии, ежегодные рекомендуемые объемы использования которых составляют около 570 тыс. т. у. т. [2-4], являются экономически выгодным продуктом, обеспечивающим энергетическую безопасность и снижение вредного влияния на окружающую среду.

Целью представленной работы является формирование обобщающего материала в сфере геотермальной энергетики Крыма по определению устойчивых выгод производства геотермальной энергии как экологически благоприятного энергетического источника. Результаты работы будут рассмотрены как составляющая при подготовке международных геотермальных проектов в Крыму [4-5].

Постановка задач и целей исследования

Согласно общепринятым представлениям о геологическом строении и гидрогеологических условиях осадочного чехла в Равнинном Крыму в конце 80-х годов были выделены первоочередные площади для завершения разведочных работ и последующей передачей в промышленную разработку [2]:

Октябрьская площадь термальных вод, приуроченных к водоносному комплексу в ба-

зальной пачке нижнего мела, расположена преимущественно в Красногвардейском районе;

Новоселовская площадь термальных вод, приуроченных к водоносному комплексу в базальных отложениях нижнего мела, расположена в Сакском, Симферопольском районах;

Северо-Сивашская площадь термальных вод, приуроченных к эоцен-маастрихтскому водоносному комплексу, расположена на Джанкойском полуострове в Джанкойском районе [5];

Джанкойская площадь термальных вод, приуроченных к водоносному горизонту в отложениях верхнего мела, расположена в Джанкойском районе;

Гончаровская площадь термальных вод, приуроченных к отложениям верхней юры, расположена в Кировском районе;

Казантипско-Чокракская площадь термальных вод, приуроченных к отложениям палеогена-верхнего мела, расположена в Ленинском районе;

Тарханкутская площадь термальных вод, приуроченных к отложениям верхнего и нижнего мела, расположена в Черноморском и Раздольненском районах.

Основные гидрогеологические показатели по этим площадям приведены в табл. 1. Эти площади закрывают значительную часть равнинного Крыма, и, обладая значительным энергетическим потенциалом термальных вод [2,5-7], могут быть рассмотрены как зоны эффективного использования последнего: от выработки электроэнергии на базе высокотермальных и перегретых вод до внедрения низкотермальных вод в агропромышленном комплексе и бальнеологии.

Таблица 1 Гидрологические показатели крымского полуострова

№ п/п	Наименование площади	Данные по водоносному горизонту (комплексу)					
		Геологический возраст	Глубина залегания, м	Темпер. в пластовых условиях, °С	Дебит скважин, м³/сутки	Минерализация, г/дм³	Прогнозные эксп.ресурсы тыс. м³/сутки
1	Новоселовская	K _{1п}	890-1400	47-65	до 3000	6-38	8,4
2	Октябрьская	K _{1п}	1040-2500	56-93	до 4900	2-38	29,3
3	Джанкойская	K ₂	1800-1900	80-86	до 1000	25-30	6,0
4	Тарханкутская	K ₂ +P ₁	1000-1500	55-60	до 2400	20-25	40,0
		K ₁	4000-5000	140-190	до 2000	20-25	н/оц.
5	Гончаровская	J ₃	790-900	40-42	до 2400	2-3	2,4
6	Казантипско-Чокракская	P+K ₂	3500-4000	140-160	до 600	15-20	н/оц.
7	Северо-Сивашская	P ₂ +K ₂	1500-1800	66-74	до 2400	25-30	13,0

Обследование скважин

На современном этапе перспективность использования теплоэнергетического потенциала геотермальных вод в сфере топливно-энергетического комплекса Крыма потребовало провести ревизию оборудования в рамках полевого обследования [5-9].

Это вызвано еще и тем фактом, что скважины, вскрывшие термальные воды, были пробурены в 70-90 г.г. прошлого столетия и надлежащего контроля за их техническим состоянием не осуществлялось.

Были определены основные задачи полевого обследования, в том числе:

- наличие на местности скважин;
- техническое состояние скважин;
- уточнение наличия необходимой технической инфраструктуры (обвязка скважин, наличие котельных и т.д.);
- уточнение наличия возможного потребителя тепловой энергии.

В *Сакском районе* расположены Новоселовские скважины 14, 20 на южной окраине села на пустыре (рис. 1). Устья скважин находятся в хорошем техническом состоянии. В 250-300 м расположена действующая котельная школы. Других потребителей тепловой энергии нет. Ориентировочное потребление тепла 0,5 мвт/час, что позволяет их использование для отопления школы. Новоселовские скважины 21, 23 расположены на южной окраине села рядом с АЗС (рис. 1).



Рис. 1. Новоселовские скважины (Сакский район)

Скважины законсервированы с установкой ликвидационных цементных мостов в интервале 0-50 м., потенциальными потребителями тепла являются объекты соцкультбыта, расположенные в центре села на расстоянии 700-800 м. от скважин. Ориентировочное потребление тепловой энергии 0,8-1,0 мвт/час.

Также были пробурены скважины в с. Ильинка на юго-восточной окраине. Техническое состояние скважин неудовлетворительно, тре-

буется проведение ремонтно-восстановительных работ. Скважина 29 расположена на южной окраине села зерновое, скважина 28 в центре села. Рядом с ней расположена котельная. Оборудование демонтировано.

Скважины обвязаны теплотрассой с котельной. Техническое состояние скважин удовлетворительное. Необходимо провести замену фонтанной арматуры. Потенциальными потребителями тепловой энергии могут рассматриваться: школа, детский сад, здание сельсовета и несколько жилых зданий. Для их обогрева необходимо тепловой мощности 0,7-0,9 мвт. Скважины 41 и 41-д расположены на западной окраине села Фрунзе рядом с птицефабрикой. Техническое состояние скважин хорошее.

В *Красногвардейском районе* в с. Котельниково скважины расположены на северо-восточной окраине села. Скважина 32 октябрьская законсервирована с установкой цементного моста в интервале 0-50 м. (рис. 2).

Техническое состояние скважины 32-д неудовлетворительное (рис. 2). Необходимо провести ремонт устьевого оборудования. Скважины соединены с центром села теплотрассой, состояние которой удовлетворительное. Котельная разрушена. Ориентировочная тепловая мощность скважин 1,0-1,2 мвт.

Потенциальными потребителями тепловой энергии являются административные здания, клуб и жилые дома.

Скважины 33 и 33-д в с. Ровное расположены на северо-восточной окраине села, на пустыре. Техническое состояние скважин хорошее (рис. 2.16).

Потенциальным потребителем может быть школа, расположенная в 600-700 м, для чего необходимо 0,3-0,4 мвт тепловой мощности. Необходимая инфраструктура отсутствует.

Скважины 35 и 35-д расположены на западной окраине села с. Новоалексеевка. Техническое состояние скважин удовлетворительное, необходимо заменить фонтанную арматуру. В настоящее время потребителей тепловой энергии нет.

Скважины 38, 38-д расположены на восточной окраине села Пятихатка, на берегу р. Салгир. Скважина 38-д использовалась ранее для розлива минеральной воды «бишули» и находится в хорошем техническом состоянии.

Техническое состояние устья скважины 38 неудовлетворительное. Необходимо провести ремонт устья скважины. Потенциальными потребителями тепловой энергии являются: школа, клуб и жилые здания.



Рис. 2. Скважины в с. Котельниково

Скважина обвязана с ними теплотрассой. Ориентировочное потребление тепла 0,8-1,0 мвт/час. Скважины 36 и 36-д расположены на северо-западной окраине села с. Янтарное [6]. Техническое состояние скважины 36 неудовлетворительное, скважины 36-д удовлетворительное (рис. 3). Необходимо

провести ремонтные работы и заменить устьевое оборудование. Рядом со скважиной расположен теплопункт, где находится теплообменник и насосы для закачки. Потенциальное потребление тепловой энергии 3,0-3,5 мвт/час.



Рис. 3. Скважина 36 д с. Янтарное

В Джанкойском районе в с. Медведевка расположены скважины 39, 40 северо-сивашские (термальные) расположены на юго-

западной окраине села (рис.4).



Рис. 4. Скважины 39,40 северо-сивашские

В настоящее время на их базе создана ГЦС тепловой мощностью 0,7-0,8 мвт. Объектами обогрева являются детский сад, школа и административные здания в центре

села, куда протянута теплотрасса от теплового пункта. Оборудование теплопункта нуждается в ремонте (рис. 5). Фонтанная арматура на скважинах также нуждается в замене.



Рис. 5. Оборудование теплопункта с. Медведевка

В районе села с. Предместное расположены 4 скважины, на базе которых можно создать ГЦС с тепловой мощностью до 3,5 мвт. Техническое состояние устьев скважин хорошее и удовлетворительное. Кроме того, здесь можно добывать йод в количестве до 28 тонн в год. В настоящее время потребителей тепловой энергии нет.

Результаты исследований

Обзорно-аналитические данные поисково-разведочных работ, научные исследования и разработки по проблемам геотермальной энергетики рассмотрены на предмет идентификации месторождений с достаточными запасами геотермальной энергии для практических разработок в промышленных масштабах. В целом можно дать следующую оценку состояния недр Крыма: наличие термальных вод с прогнозной оценкой их общей энергетической мощности порядка 1000 МВт.

Анализ состояния районов освоения эксплуатационных запасов геотермальной энергии в Республике Крым, проведенный согласно плану данной работы, показывает, что имеющиеся на сегодняшний день показатели подтверждают прогнозные ресурсы термальных вод, а также возможность использования их энергетического потенциала в сферах жилищно-коммунального и агропромышленного комплексов степного Крыма.

Наиболее перспективным способом отбора глубинной теплоты является создание подземных циркуляционных систем с полным или частичным возвращением отработанной воды в продуктивные пласты. Эти системы сохраняют баланс запасов геотермальных вод, поддерживают гидравлическое равновесие в подземных

пластах, предотвращают загрязнение окружающей среды в местах расположения геотермальных объектов.

При полевых обследованиях за основу принят тот факт, что стратегическим направлением в освоении геотермальных ресурсов в Крыму должна быть принята эксплуатация именно тех скважин, которые имеют информационный банк данных и экономическую перспективу использования [3,9]. За период проведения геологоразведочных работ с конца 70-х годов прошлого столетия пробурено около 40 скважин, обладающих относительно простым геологическим строением, высокими значениями геотермического градиента [5,7].

Проведенные обследования позволяют отразить результаты по 12 дуплетам, которые могут быть задействованы как геоконденсационные системы (ГЦС) (табл. 2), подтверждая возможности практической эффективности и целесообразности использования термальных вод для теплоснабжения и выработки электроэнергии. Скважинами глубиной 1000-2300 м вскрыты термальные воды с дебитам на изливе 1000-4900 м³/сут. и температурой пластовой воды на устье 46-83 °С. Тепловая мощность таких экологически чистых систем составляет 1-6 МВт. Как видно, в Крыму имеются термальные воды различных природных кондиций. Для целей теплоснабжения применяются воды с $t=56-85$ °С. В настоящее время наиболее освоенными и испытанными является 2 схемы использования ГТТ:

- с пиковыми котельными;
- прямого использования.

В качестве примера приведём описание опытно - промышленного образца типового геотермального пункта в п. Янтарное (фото на рис. 3).

Таблица 2. Характеристики геоциркуляционных систем в Крыму

№ п/п	Номер скважины, населенный пункт	Глубина скважины, м	Дебит скважины, м³/сут.	Температура на устье / в пластовых условиях, °С	Количество выработанной теплоты, Гкал/сут.	Мощн. коллектора, м	Тепловая мощность, МВт/час	Годовая экономия топлива, т. у. т.
<i>Сакский район</i>								
1.	Скв. 16, с. Ильинка	1200	1730	59 / 62	50,2 / 32,9	100	2,4 / 1,6	500
2.	Скваж. 21, с. Сизовка	1400	1730	63 / 67	57,0 / 39,8	93	2,7 / 1,9	500
3.	Скв. 14, с. Трудовое	1160	2300	54 / н.с.	55,2 / 32,2	110	2,6 / 1,6	700
4.	Скв. 28, с. Зерновое	1100	1730	51 / н.с.	36,3 / 19,0	110	1,7 / 0,9	500
5.	Скв. 41, с. Фрунзе	1200	1740	62 / 64	55,6 / 38,2	90	2,7 / 1,8	
<i>Красногвардейский район</i>								
6.	Скв. 32, с. Котельниково	1500	1600	66 / 69	57,6 / 41,6	100	2,8 / 2,0	1 000
7.	Скв. 36, с. Янтарное	2300	1490	87 / 92	84,9 / 70,0	200	4,1 / 3,4	5 000
8.	Скв. 33, с. Ровное	1360	3345	65 / 68	117,0 / 83,6	150	5,6 / 4,0	1 500
9.	Скв. 38, с. Пятихатка	1300	4000	57 / 60	108,0 / 68,0	80	5,2 / 3,3	2 500
10.	пгт. Красногвардейское	проект. 2800	5x3000	96 / 103	990,0/840,0	200	48,0/40,7	30 000
11.	Скв. 35, с. Новоалексеевка	1360	4950	58 / 60	137,9 / 88,0	200	6,6 / 4,3	
12.	с. Восход	Проект 2800	2x3000	96 / 103	396,0/336,0	200	19,2/16,3	
<i>Джанкойский район</i>								
13.	Скв. 39, с. Медведовка	1750	670	68 / 74	25,5 / 18,7	80	1,2 / 0,9	1 000
14.	Скв. 1,21,37,44 с. Предмостное	1700	3x1000	65 / 69	105,0/75,0	80	5,0 / 3,6	

В 1990 – 1991 г. г. на этом месторождении были пробурены две скважины №36М и №36Д.

В них были проведены глубинные замеры давления и температуры (табл. 3).

Таблица. 3

Н, м	500	1000	1500	1895
Р, МПа	6,4	11,1	16,0	19,8

Температура теплоносителя на максимальной глубине составила 88 °С. Здесь была впервые реализована прямого использования [6]. Технологическая схема системы термального теплоснабжения приведена на рис. 6. С подъёмной скважины теплоноситель 1 поступает в гидроциклон 2, где происходит очистка от посторонних

примесей, которые периодически сбрасываются через вентиль в виде шлама. После очистки теплоноситель через счётчик поступает в систему теплообменников 3 и после охлаждения поступает на всасывание одного из нагнетательных насосов 5, который и закачивает его в нагнетательную скважину 6. Тепловой пункт оборудован пластинчатыми

теплообменниками 3. Циркуляция теплоносителя во втором контуре осуществляется насосом 4, который подаёт его в систему отопления и горячего водоснабжения.

Из системы отопления и теплоснабжения, теплоноситель через счетчик поступает в

систему теплообменников. Для промывки подъёмной и нагнетательной скважины имеются задвижки.

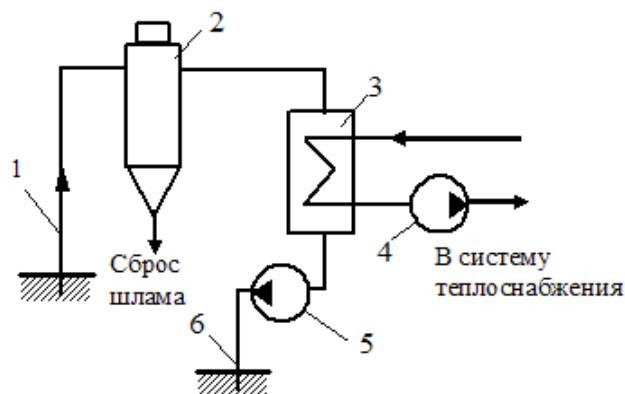


Рис. 6. Схема системы геотермального теплоснабжения в п. Янтарное:
1 - подъемная скважина; 2 – гидроциклон; 3 – теплообменник; 4 – циркуляционный насос;
5 – нагнетательный насос; 6 – реинжекционная скважина.

Статическое давление на устье скважины равно 1,2 МПа. Линия нагнетания испытана при давлении 4,5 МПа.

Шлам собирается в специальных ангарах (ямах) около каждой скважины.

Регулируя расход термальной воды, удалось выйти на стабильный режим работы ГЦС и установлен оптимальный режим работы (рис. 6).

Технические характеристики геотермального теплопункта в п. Янтарное следующие:

- теплопроизводительность, МВт;
- блок отопления;
- блок ГВС;
- температура термальной воды, 0С;
- дебит скважины, м³/час;
- годовой отпуск теплоты, МВт · ч;
- доля в годовом отпуске от геотермального источника, %
- годовая экономия топлива, т.у.т.

В зимний период ГТП полностью работает на отопление, а ГВС осуществляется в летний период, при этом для условий месторождения Янтарное контроль показал отсутствие отложений солей.

В настоящий момент на тепловой пункт разработана проектно-конструкторская документация и согласовано его изготовление на заводах г. Сумы и Киева. Предусматривается полностью заводские изготовление и комплектация теплопункта.

Анализ полученных данных свидетельствует об эффективности систем

геотермального теплоснабжения.

Выводы

Проведенные обследования показали, что в Крыму имеют место геотермальные источники тепловой и электрической энергии, которые могут быть задействованы как местный возобновляемый энергоресурс, имеющий достаточные выгоды по сравнению с органическим топливом в том числе:

- сокращение потребности в традиционных энергоресурсах;
- снижение выбросов локальных и глобальных загрязняющих веществ;
- решение социально-экономических вопросов путем создания новых рабочих мест;
- развитие новых видов экономической деятельности, обеспечение условий становления экономически целесообразных производств, ориентированных на курортно-рекреационный бизнес в Крыму.

В целом это позволяет сформировать инвестиционное видение разработки и реализации инновационных проектов с использованием геотермальной энергии в разнообразных отраслях хозяйственной деятельности.

Список литературы

1. Перспективы развития возобновляемых источников энергии на территории крымского полуострова / Гурьев В.В., Кувшинов В.В., Якимович

- Б.А. // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2019. Т. 22. № 4. С. 116-123.
2. А.Ф. Кириченко и др. Подсчет запасов промышленных вод Северо-Сивашского месторождения, Симферополь, 1972 г.
3. Использование тепловой геотермальной энергии для обеспечения коммунальных потребителей в г. Севастополь / Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Тиман Д.И., Жиганов И.В., Стаценко А.К. // Энергетические установки и технологии. 2021. Т. 7. № 2. С. 92-96.
4. Потенциал развития тепловой солнечной энергетики для нужд коммунального хозяйства / Бордин Д.Ф., Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Олейников А.М., Гхашим М. // Энергетические установки и технологии. 2021. Т. 7. № 1. С. 46-52.
5. С.Н. Талецкий и др. Предварительная разведка термальных вод на Северо-Сивашской площади, Симферополь, 2000 г.
6. Резаков А.Т. Геотермальный тепловой пункт системы теплоснабжения п. Янтарное в Крыму / А.Т.Резаков, А.В.Щурчков // Промышленная теплотехника. - 2000. - т.22. -№ 5-6. -С.99-103.
7. Дядькин Ю.Д. Извлечение и использование тепла земли // Изд-во Моск. Гос. Горн. Ун-та. - 2001.-№9. – С.10-13.
8. Голицын М.В. Альтернативные энергоносители / М.В. Голицын, А.М. Голицын, Н.В. Пронина; Отв. Ред. Г.С. Голицын.- Мю: Наука. – 2004. - 159 с.
9. ВСН 56-87 Геотермальное теплохладоснабжение жилых и общественных зданий и сооружений. Нормы проектирования. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901707728>.
- ply system of the village of Yantarnoye in the Crimea / A.T.Rezakov, A.V. Shchurchkov // Industrial heat engineering. - 2000. - vol.22. -No. 5-6. -pp.99-103.
7. Dyadkin Yu.D. Extraction and use of the heat of the earth // Publishing house of Moscow. State. Gorn. Un-ta. - 2001.-No.9. - pp.10-13.
8. Golitsyn M.V. Alternative energy carriers / M.V. Golitsyn, A.M. Golitsyn, N.V. Pronina; Ed. by G.S. Golitsyn.- Mu: Science. - 2004. - 159 p.
9. VSN 56-87 Geothermal heat and cooling supply of residential and public buildings and structures. Design standards. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/901707728>

References

1. Prospects for the development of renewable energy sources on the territory of the Crimean peninsula / Guryev V.V., Kuvshinov V.V., Yakimovich B.A. // Bulletin of IzhSTU named after M.T. Kalashnikov. 2019. vol. 22. No. 4. pp. 116-123.
2. A.F. Kirichenko et al. Calculation of industrial water reserves of the Severo-Sivashskoye field, Simferopol, 1972
3. The use of thermal geothermal energy to provide utility consumers in Sevastopol / Kuvshinov V.V., Kakushina E.G., Timan D.I., Zhiganov I.V., Statsenko A.K. // Power installations and technologies. 2021. Vol. 7. No. 2. pp. 92-96.
4. The potential for the development of thermal solar energy for the needs of public utilities / Bordan D.F., Kuvshinov V.V., Kakushina E.G., Oleynikov A.M., Ghashim M. // Power installations and technologies. 2021. Vol. 7. No. 1. pp. 46-52.
5. S.N. Taletsky et al. Preliminary exploration of thermal waters on Severo-Sivashskaya Square, Simferopol, 2000
6. Rezakov A.T. Geothermal heat point of the heat sup-

УДК 620.92

Блок управления автоматической системы полива с использованием солнечных панелей

С.П. Муровский¹, В.В.Кувшинов², Е.Г. Какушина³,
М.А. Фисина⁴, Р.Д. Хайбуллин⁵

КФУ им. Вернадского, проспект Академика Вернадского, 4, Симферополь, 295007, Россия, ¹myrovski@mail.ru
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,
г. Севастополь, 299053, Россия, ²kuvshinov.vladimir@gmail.com, ³littie@mail.ru,
⁴fisina@mail.ru, ⁵xaibulin@mail.ru

Статья поступила 15.11.2021 г.; после доработки 17.11.2021 г.

Аннотация

Целью данной работы явилась разработка блок-схемы управления автоматической системы полива с полностью независимым энергоснабжением на базе возобновляемых источников энергии и создание опытного образца блока управления автоматической системой дистанционного полива. Рассмотрены варианты включения элементов в автономной системе энергоснабжения при различных режимах генерации энергии. Полученные результаты натурных испытаний опытного образца блока управления подтвердили правильность принятия решений.

Ключевые слова: блок управления, микропроцессоры, микросхемы, аккумулятор, датчики, солнечные панели.

Control unit of automatic irrigation system using solar panels

S.P. Murovsky¹, V.V.Kuvshinov², E.G. Kakushina³,
M.A. Fisina⁴, R.D. Xaibullin⁵

CRIMEAN FEDERAL UNIVERSITY named after Vernadsky, 4, Prospekt Akademika Vernadskogo, Simferopol, 295007,
Russia, ¹myrovski@mail.ru
Sevastopol state university, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia,
²kuvshinov.vladimir@gmail.com, ³littie@mail.ru,
⁴fisina@mail.ru, ⁵xaibulin@mail.ru

Received 15.11.2021 y.; received in final form 17.11.2021 y.

Abstract

The purpose of this work was to develop a control flow diagram of an automatic irrigation system with a fully independent energy supply based on renewable energy sources and to create a prototype of an automatic remote irrigation system control unit. Variants of inclusion of elements in an autonomous power supply system under various modes of energy generation are considered. The obtained results of field tests of the control unit prototype confirmed the correctness of decision-making.

Keywords: control unit, microprocessors, microchips, battery, sensors, solar panels.

Введение

Характерной особенностью Южных регионов является наличие продолжительного засуш-

ливого периода в летнее время. Учитывая данный факт и морально устаревшие системы полива, с целью рационального использования водных ресурсов для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур необходимо

внедрение современных ресурсосберегающих технологий [1]. Одним из путей решения поставленной задачи является применение автоматической системы полива земельных участков, основанной на применении комплекса датчиков температуры и влажности, контроллеров для обеспечения автоматического полива с учетом погодных условий, что в итоге позволяет экономить природные ресурсы – воду, что и определило актуальность выбранной темы.

Целью данной работы является разработка блок-схемы управления автоматической системы полива с полностью независимым энергообеспечением на базе возобновляемых источников энергии и создание опытного образца блока управления автоматической системы дистанционного полива [2].

Постановка цели исследования

В разрабатываемом блоке управления автоматической системы (рис. 1) необходимо предусмотреть осуществление дистанционного контроля над состоянием инженерных систем, а именно контроль уровня технологической воды в баках для полива, температуры подаваемой технологической воды, годового расписания полива и возможности сбора и хранения воды из временных водоемов.

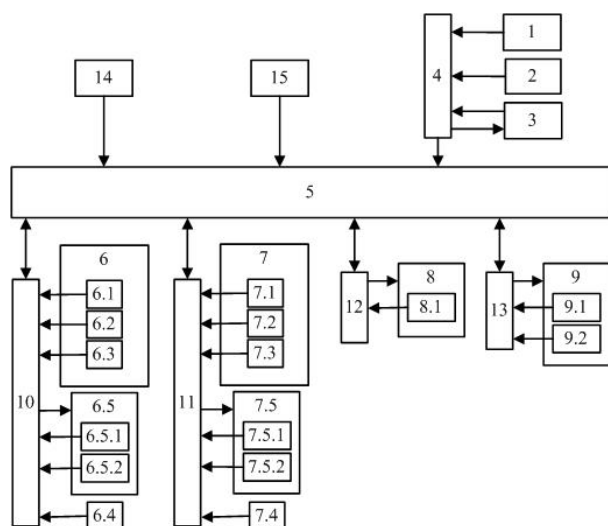


Рис. 1. Блок-схема разрабатываемой автономной системы управления автоматическим дистанционным поливом: 1 – солнечная панель; 2 – сеть 220 В 50 Гц (при наличии); 3 – аккумулятор; 4 – блок коммутаций, стабилизации напряжения и заряда аккумулятора; 5 – главный блок управления; 6 – первый резервуар для жидкости; 6.1 – датчик аварийного уровня жидкости в первой емкости; 6.2 – датчик максимального уровня жидкости в первой емкости; 6.3 –

датчик минимального уровня жидкости в первой емкости; 6.4 – датчик расхода жидкости из первой емкости; 6.5 – запорная арматура первой емкости, 6.5.1 – датчик открытого состояния запорной арматуры первой емкости, 6.5.2 – датчик закрытого состояния запорной арматуры первой емкости; 7 – второй резервуар для жидкости; 7.1 – датчик аварийного уровня жидкости во второй емкости; 7.2 – датчик максимального уровня жидкости во второй емкости; 7.3 – датчик минимального уровня жидкости во второй емкости; 7.4 – датчик расхода жидкости из второй емкости; 7.5 – запорная арматура второй емкости, 7.5.1 – датчик открытого состояния запорной арматуры второй емкости, 7.5.2 – датчик закрытого состояния запорной арматуры второй емкости; 8 – насос; 8.1 – датчик отсутствия воды; 9 – запорная арматура центрального водоснабжения; 9.1 – датчик открытого состояния запорной арматуры центрального водоснабжения; 9.2 – датчик закрытого состояния запорной арматуры центрального водоснабжения; 10, 11, 12, 13 – блоки управления и приема/передачи данных; 14 – метеостанция; 15 – датчики влажности и температуры почвы

Управление системой должно осуществляться с помощью микропроцессоров и GSM-модуля, а оповещение о состоянии системы при помощи СМС информирования, что позволит оперативно получать информацию о состоянии почв и инженерных сетей, а при необходимости дистанционно вмешиваться в процесс и оперативно принимать необходимые решения, что позволяет обеспечить контроль и управление системой из любой точки мира [3, 4, 5].

Результаты проведенного исследования

Блок управления системой построен по блочно-модульному принципу. Управляющие элементы строятся на микропроцессорах фирмы ATMEL.

Необходимое электропитание система может получать от солнечной панели (рис. 1, поз. 1), при нехватке солнечного излучения или в ночное время система работает от аккумуляторной батареи.

При работе от сети центрального электрообеспечения в случае перебоев поставки электроэнергии блок управления переключает работу системы от солнечной панели или аккумулятора [6]. Предусмотрен гибридный режим работы, когда блок коммутаций (Рис. 2), стабилизации напряжения и заряда аккумулятора (рис. 1, поз. 4) контролируя мощность, отдаваемую солнечной панелью, автоматически переключает на пи-

тание от центрального электроснабжения или аккумулятора [7].

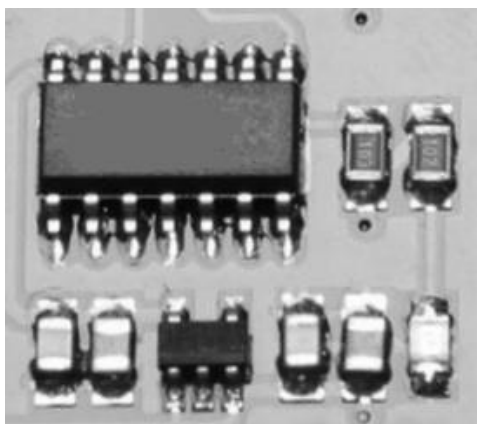


Рис. 2. Фрагмент блока 4

Блок коммутаций, стабилизации напряжения и заряда аккумулятора обеспечивает контроль и управление зарядом аккумуляторной батареи по заранее запрограммированному циклу. Питание всей системы осуществляется напряжением 12 В. Это позволяет минимизировать потери на преобразование электроэнергии и обеспечить электробезопасность при работе во влажной среде. Для обеспечения необходимых напряжений электропитания схемы применены импульсные преобразователи (инверторы), в том числе и от центрального энергоснабжения [10].

Блоки управления и приема/передачи данных (рис. 1, поз.10, 11) выполнены по однотипной схеме (Рис. 3).

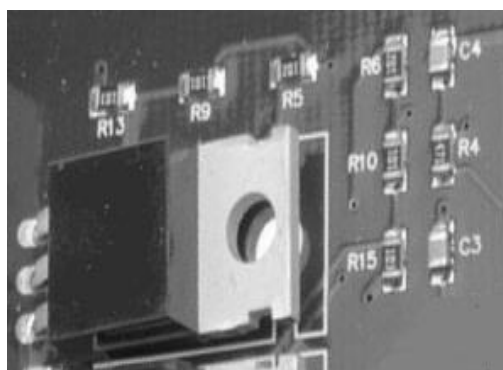


Рис. 3. Фрагмент блока 10

Эти блоки обеспечивают контроль наполнения резервуаров водой, положением и управлением запорной арматуры (открыто/закрыто), обработку сигнала датчика расхода жидкости, управление силовыми MOSFET ключами запорной арматуры, сравнивают текущие показания расхода жидкости с полученными от главного

блока управления (рис. 1, поз. 5) данными, в результате чего открывают или закрывают запорную арматуру, принимают и передают команды и информацию от блока управления в виде двоичной последовательности. Для обеспечения помехоустойчивости и надежности обмена данными и защиты блоков управления по линии связи применены микросхемы приемопередатчиков фирмы MAXIM. Аналогичные приемопередатчики установлены в блоках между линией связи и блоками.

Блок управления и приема/передачи данных (рис. 1, поз. 12) обеспечивает включение и выключение насоса подачи воды и контроль наличия воды в баке, а также производит обмен информацией с главным блоком управления (рис. 1, поз. 5).

В качестве источника воды может использоваться как искусственные водоемы, так и природные.

Блок управления и приема/передачи данных (рис. 1, поз. 13) обеспечивает открытие и закрытие запорной арматуры, по команде от главного блока управления (рис. 1, поз. 5), подачи воды от центрального водоснабжения и передает информацию о состоянии запорной арматуры.

Метеостанция (рис. 1, поз. 14) контролирует и передает информацию о погодных условиях в месте выращивания – температура воздуха, влажность воздуха, направление ветра, наличие дождя, количество выпавших осадков, уровня солнечной активности.

Датчик влажности и температуры почвы (рис. 1, поз. 15) контролирует и передает информацию о влажности и температуре почвы.

На основании полученных данных от метеостанции и датчика влажности почвы происходит выбор оптимального режима полива водой и внесения питательной смеси в почву для определенного вида сельскохозяйственных культур согласно заложенной программы.

Главный блок управления (рис.1, поз. 5) является центральным управляющим звеном системы и в своем составе содержит:

- микропроцессоры;
- GSM блок для приема и передачи информации на стационарный компьютер, мобильный смартфон или планшет о состоянии системы и при необходимости позволяет оперативное дистанционное вмешательство в процесс;
- энергонезависимую память для хранения алгоритма работы системы при выращивании определенных сельскохозяйственных культур, а также записи текущих состояний

системы;

- слот дополнительной MicroSD-карты для записи нескольких алгоритмов работы системы с учетом выращиваемых сельскохозяйственных культур.

Работа системы может производиться в полностью автоматическом режиме, в режиме ручного управления или в режиме дистанционного управления.

В состав системы входят два резервуары. Первый резервуар предназначен для хранения и нагрева, в дневное время суток, воды для полива. Второй резервуар предназначен для хранения раствора с жидкой питательной средой для растений. Наполненность резервуаров контролируется герметичными датчиками (рис. 1, поз. 6.1, 6.2, 6.3, 7.1, 7.2, 7.3).

При изготовлении электронных блоков системы максимально используется технология поверхностного монтажа [8, 9], что позволяет уменьшить габариты блоков и снизить их себестоимость (Рис. 4).

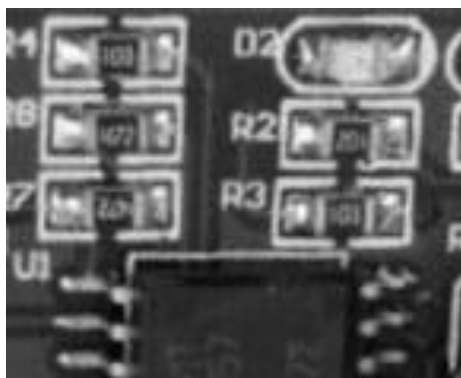


Рис. 4. Фрагмент блока 5

Выводы

Практическое значение рассматриваемой системы автоматического автономного децентрализованного полива заключается в том, что комплексное применение современного оборудования и солнечных фотоэлементов с системой аккумулирования позволит обеспечить значительную экономию ресурсов, что является существенным вкладом в развитие аграрного сектора.

Построение системы по блочно-модульному принципу позволяет оперативно расширять возможности: увеличение зон полива, количество резервуаров для различных по составу питательных смесей, увеличить количество датчиков контроля температуры и влажности

почвы, максимально быстро реагировать на требования заказчика.

Одной из особенностей разрабатываемой системы является независимость от центрального электроснабжения, а при центральном электроснабжении позволяет исключить потери при перебоях в поставках электроэнергии.

Список литературы

1. Багров Н.В. Солнечная энергетика для устойчивого развития Крыма./ Боков В.Н., Муровский С.П., Бекиров Э.А.// Симферополь: «Доля».- 2009.- 294 с.
2. Вологдин С.В. Анализ различных сценариев энергоснабжения Крыма с учетом режимов работы солнечной электростанции /Якимович Б.А., Кувшинов В.В., АбдАли Л. М., Какушина, Е. Г. и другие // Appl. Sol. Энергия, 2019, Том 55, № 4, С. 229–234.
3. Бордан Д.Ф. Потенциал развития тепловой солнечной энергетика для нужд коммунального хозяйства /Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Олейников А.М., Гхашим М.// Энергетические установки и технологии. 2021 - Т. 7. № 1. С. 46-52.
4. Кувшинов В.В. Использование термо-фотоэлектрических установок для обеспечения тепловой и электрической энергией Севастополя/ Е.Г. Какушина, А.Д. Васильев, А.А. Горещкий // Энергетические установки и технологии – 2016. Т. 2. № 3. С. 51-57.
5. Кувшинов В.В. Возможности повышения мощностных характеристик солнечных установок при выработке тепловой и электрической энергии с одной приемной поверхности / Е.Г. Какушина // Энергетические установки и технологии – 2016. Т. 2. № 3. С. 45-50.
6. Муровский С.П. Разработка эффективной системы автономного энергоснабжения удаленных объектов на основе нетрадиционных возобновляемых источников энергии./ Кузнецов П.Н. // Строительство и техногенная безопасность.- 2012.- № 43.- С. 122-126.
7. Зайченко В.М. Направления развития энергетики /Чернявский А.А., Кувшинов В.В., Какушина Е.Г., Абейдулин С.А. //Энергетические установки и технологии. 2019 - Т. 5. № 3. С. 53-61.
8. Кувшинов В.В. Экспериментальное исследование энергетических характеристик солнечных установок в районе Севастополя. /Какушина Е.Г., Кувшинова В.В., Аджиев О.У., Бердышев К.Ю.//Энергетические установки и технологии - 2019. Т. 5. № 2. С. 104-110.
9. Гурьев В.В. Развитие возобновляемых источников электроэнергии в энергосистеме республики Крым и г. Севастополя / Какушина Е.Г., Якимов

вич Б.А., Кувшинов В.В.//Энергетические установки и технологии - 2019. Т. 5. № 2. С. 90-93.

10. Кувшинов В.В. Система хранения для солнечных станций. /Коломийченко В.П., Какушина Е.Г. и другие// Appl. Sol. Энергия, 2019, Том. 55, №. 3, С. 153–158.

References

1. Bagrov N.V. Solar energy for sustainable development of Crimea./ Bokov V.N., Murovsky S.P., Bekirov E.A.// Sympheropol: "Share".- 2009.- 294 p.
2. Vologdin S. V. Analiz razlichnykh scenariy energosnabzheniya Kryma s uchetom rezhimov work solar power plants / Yakimovich B. A., Kuvshinov V. V., AbdAli L. M., Kakushina, E. G. et al. / / Appl.Sol. Energy, 2019, Vol. 55, no. 4, pp. 229-234.
3. Bordan D. F. Potentiality of the development of thermal solar energy for the needs of the municipal economy /Kuvshinov V. V., Kaku-shina E. G., Oleynikov A.M., Ghashim M. // Energy and technology. 2021. Vol. 7. no. 1. pp. 46-52.
4. Kuvshinov V.V. The use of thermo-photovoltaic installations to provide thermal and electric energy to Sevastopol/ E.G. Kakushina, A.D. Vasiliev, A.A. Goretsky // Power plants and technologies - 2016. V. 2. No. 3. P. 51-57.
5. Kuvshinov V.V. Possibilities of increasing the power characteristics of solar installations in the generation of heat and electric energy from one receiving surface / E.G. Kakushina // Power plants and technologies - 2016. V. 2. No. 3. P. 45-50.
6. Murovsky S.P. Development of an effective system of autonomous power supply to remote facilities based on non-traditional renewable energy sources./ Kuznetsov P.N. // Construction and technogenic safety. 2012. No. 43. pp. 122-126.
7. Zaichenko V. M. Directions of energy development / Chernyavsky A. A., Kuvshinov V. V., Kakushina E. G., Abeidulin S. A. //Power plants and technologies. 2019-Vol. 5. No. 3. pp. 53-61.
8. Kuvshinov V.V. An experimental study of the energy characteristics of solar plants in the region of Sevastopol. / Kakushina E.G., Kuvshinova V.V., Adzhiev O.U., Berdyshev K.Y.// Power Plants and Technologies - 2019.V. 5. No. 2. P. 104-110.
9. Guryev, V. V., Development of renewable IP-source of electricity in the power system of the Republic of Crimea and Sevastopol / Kaku bus E. G., B. A. Yakimovich, Kuvshinov V. V.//Energy and technology 2019. Vol. 5 No. 2. pp. 90-93.
10. Kuvshinov V.V. Storage system for solar stations. / Kolomiychenko V.P., Kakushina E.G. and others // Appl. Sol. Energy, 2019, Vol. 55, no. 3, pp. 153–158.

УДК 621.311

Сравнительный анализ кабельных линий с бумажно-пропитанной изоляцией и из сшитого полиэтилена

В.В. Смирнов¹, Д.А.Гринченко²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33,
г. Севастополь, 299053, Россия.¹svadick@mail.ru, ²dariy.grinchenko@mail.ru

Статья поступила 29.11.2021 г.; после доработки 30.11.2021 г.

Аннотация

В статье рассматриваются изоляционные и технико-экономические свойства силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и бумажно-пропитанной изоляцией. Дается сравнительный анализ.

Ключевые слова: изоляция, сшитый полиэтилен, бумажно-пропитанная изоляция, пропускная способность

Comparison of paper-impregnated and polyethylene-sewn cables

V.V.Smirnov¹, D.A.Grinenko²FSAEI HE "the Sevastopol state University",
Sevastopol, 299053, RF, ¹svadick@mail.ru, ²dariya.grinchenko@yandex.ru

Received 29.11.2021 y.; received in final form 30.11.2021 y.

Annotation

The article deals with insulation and technical-economic properties of power cables with polyethylene-threaded insulation and paper-impregnated insulation. Comparative analysis is provided.

Keywords: insulation, polyethylene, paper-impregnated insulation, capacity

Введение

Одна из важных характеристик любого кабеля – материал изоляции. От него зависит величина силы тока, которую может выдерживать кабель. И чем выше сила тока, тем более высокие требования предъявляются к изоляции.

В качестве кабельной изоляции многие годы выступала промасленная бумага, которая не отличалась ни прочностью, ни стабильностью свойств.

Она требовала обязательной твердой оболочки из металла, так как была неустойчива к механическим нарушениям, боялась воды и вертикальной прокладки, при которой масло стекало в нижнюю точку кабеля.

Кабель из сшитого полиэтилена (СПЭ, английское — XLPE, немецкое — VPE, шведское

— РЕХ) появился на рынке чуть позже, чем другие виды.

Но ввиду хороших технических характеристик он стал популярным и распространенным в категории кабельной продукции. Это наиболее плотный из всех видов полиэтилена, обладающий более высокими техническими показателями.

К преимуществам изоляции из СПЭ перед другими видами относится следующее:

- Допустимая температура в аварийном режиме – 130 °С
- Максимально допустимая температура жилы при протекании тока короткого замыкания – 250 °С
- Более высокая пропускная способность, чем у бумажной с масляной пропиткой – в 1,3-1,5

раза выше, что обусловлено более высокой длительно допустимой температурой (90 °С

- Экологическая безопасность ввиду отсутствия жидких включений.
- Отсутствие алюминиевых и свинцовых оболочек, что уменьшает вес, диаметр и радиус изгиба (упрощает прокладку).
- Большая строительная длина, которая может достигать 2000-4000 м.

Не менее важно, что прокладку и монтаж кабеля СПЭ можно проводить даже в самых тяжелых условиях работы. Ее можно вести при температуре до -20 °С (без предварительного прогрева). [1]

Кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена

Сшитый полиэтилен (СПЭ) идеально подходит для изоляции высоковольтных кабелей. Массовое производство высоковольтных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на номинальное напряжение 110 кВ и выше началось еще в 70-х годах прошлого столетия. Основным недостатком первых кабелей высокого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена было интенсивное старение полимерной изоляции. Усовершенствование технологических процессов изготовления кабеля и применение различных добавок к полиэтилену позволило ряду ведущих зарубежных фирм разработать кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена на номинальные напряжения до 420–550 кВ..

При современной технологии изготовления кабелей в процессе вулканизации (сшивки) полиэтиленовой изоляции происходит изменение молекулярной структуры полиэтилена и образуются новые межмолекулярные связи, что приводит к улучшению электрических и механических свойств изоляции.

Ведущими зарубежными производителями высоковольтных СПЭ-кабелей являются компании ABB, NEXANS, Pirelli, NKT Cable, корпорация Sumitomo Electric.

В России освоен выпуск кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на номинальное напряжение 110 кВ (производитель – ЗАО “АББ Москабель”) с использованием новейших технологий (по лицензии фирмы ABB Energiekabel). В Украине также освоен выпуск СПЭ-кабелей на напряжение 110 кВ (производитель – завод “Южкабель”). В 2007 г. ОАО “Севкабель” запустило линию по производству кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение до

220 кВ включительно.

Для обеспечения продольной герметизации в кабелях индексом “Г” используется слой водонабухающего материала.

Особенно целесообразно применять кабель из сшитого полиэтилена в следующих случаях:

- если необходимо транспортировать большие энергетические мощности на дальние расстояния;
- если прокладка кабельной трассы ведется по сложному рельефу;
- если к кабелю предъявляются особенно строгие требования относительно пожарной и экологической безопасности.

Из реализованных в последние годы крупных проектов КЛ с изоляцией из сшитого полиэтилена для передачи большой мощности в густонаселенных городских районах можно выделить, например, двухцепную подземную КЛ 400 кВ Восток-Запад в Берлине с передаваемой мощностью свыше 1600 МВА. Самым мощным является подземный кабель 400 кВ, входящий в проект новой инфраструктуры энергоснабжения Лондона (сечение жилы кабеля – 2500 мм², расчетный ток – 3700 А). КЛ большой длины на напряжение 500 кВ (Shin Keiyo-Toyosu Line) проложена в городе Токио. Длина линии – 40 км. В России высоковольтные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена также находят все более широкое применение. Так, например, кабели с СПЭ- изоляцией использовались при реконструкции и строительстве сетей 110 и 220 кВ в Москве по проекту энергетического кольца.

Силовые кабели с пропитанной бумажной изоляцией

Силовые кабели с пропитанной бумажной изоляцией имеют значительные ограничения по номинальному напряжению из-за интенсивных ионизационных процессов при переменном напряжении, и поэтому применяются в распределительных сетях России при напряжениях до 35 кВ включительно (за рубежом при напряжениях до 60 кВ). В России силовые кабели с бумажной пропитанной изоляцией на напряжения до 35 кВ включительно выпускают: заводы Камкабель, Севкабель, Иркутсккабель, Москабель. Доля этих кабелей составляет около 95 % от всех типов применяемых кабелей в распределительных сетях. Кабели с вязкой пропиткой на напряжения до 10 кВ включительно чаще всего выполняются трехжильными с поясной изоляцией и секторными медными или алюминиевыми жи-

лами сечением от 6 до 240 мм² и более. Наружный покров делают из ПВХ пластика. Изоляция кабелей состоит из лент кабельной бумаги на основе сульфатной целлюлозы толщиной 80, 120 и 170 мкм, пропитанной маслоканифольным составом. Для изготовления пропиточного состава используется кабельное масло или смесь нефтяных масел. В качестве загустителя используется канифоль, полиэтиленовый воск или полиизобутилен. Каждая фаза кабелей изолируется отдельно, а затем поверх скрученных изолированных жил накладывается общая, так называемая, поясная изоляция. В кабелях на напряжение 6 кВ и выше на поясную изоляцию накладывается экран из полупроводящей бумаги. Промежутки между изолированными жилами в кабеле заполняются жгутами из сульфатной бумаги. Простейшая конструкция наружного покрова кабелей 35 кВ представляет собой чередующиеся слои битумного состава или битума, пропитанной кабельной пряжи или стеклянной пряжи, битумного состава и покрытия, предохраняющего витки кабелей от слипания на барабане[2]

Кабели на напряжения 20 и 35 кВ изготавливаются либо в одножильном исполнении с круглыми алюминиевыми и медными жилами в свинцовой и алюминиевой оболочке либо в трехжильном исполнении. При этом кабель скручивается из трех круглых изолированных жил, каждая из которых заключена в свинцовую оболочку. Поверх изоляции также накладывается экран из полупроводящей бумаги, либо из металлизированной полупроводящей бумаги, либо из полупроводящей бумаги и алюминиевой или медной фольги.

Сравнение кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена и кабельных линий с бумажно-пропитанной изоляцией.

Благодаря своей конструкции, современной технологии изготовления и совершенным материалам кабели среднего и высокого напряжения с СПЭ изоляцией обладают наилучшими электрическими и механическими свойствами и самым длительным сроком службы среди других типов кабеля, выпускаемых серийно.

Они технически более совершенны и более экономичны по сравнению с маслонаполненными кабелями и в последние годы быстро вытесняют в новых проектах кабели с бумажной изоляцией. Основным преимуществом использования кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена является более высокая надежность КЛ, что

связано как с улучшенным качеством кабеля, так и с технологией монтажа концевых и соединительных муфт. Кроме того, СПЭ-кабели имеют меньший диаметр и легче, чем кабели с бумажно-масляной изоляцией, и поэтому они могут прокладываться большими длинами, что уменьшает число соединений и увеличивает надежность линий. Высокая цена на кабели с СПЭ-изоляцией автоматически регулирует область применения СПЭ в отечественной электроэнергетике. При прокладке кабельных линий классов 110—500 кВ доля СПЭ изоляции в обозримом будущем будет очень высока, а вот в сетях 6—35 кВ, особенно, если там изолированная нейтраль, кабели с бумажно-масляной изоляцией вполне могут занять весомую нишу.

В таблице 1 приведены некоторые характеристики этих двух типов кабеля. Каждый из кабелей имеет свои достоинства и недостатки.

Таблица 1

Характеристика	Бумажно-пропитанная изоляция	СПЭ
Стоимость метра кабеля	Меньшая первоначальная стоимость	Большая первоначальная стоимость
Прогнозируемый срок службы	Более короткий срок службы	Более длинный срок службы
Стоимость монтажа	Меньшая длина кабеля Больше соединительных муфт, но более дешевые муфты	Большая длина кабеля Меньше соединительных муфт, но более дорогие муфты
Потери в кабеле	Большие потери в диэлектрике	Меньшие потери в диэлектрике
Пропускная способность (для одного и того же сечения)	Меньшая пропускная способность	Большая пропускная способность кабеля

Конкуренция на рынке силовых кабелей с изоляцией из СПЭ в России очень жесткая. Многие отечественные и зарубежные заводы готовы поставлять силовые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена на разные классы напряжения. Если говорить о конкуренции на рынке муфт, то здесь производителей заметно меньше, особенно

отечественных. Если сравнивать монтаж муфты для кабеля с бумажно-масляной изоляцией и муфты для кабеля с полиэтиленовой изоляцией, то монтаж последней проще.

Оценка значения годовых эксплуатационных расходов по кабельным линиям с кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена по сравнению с кабельными линиями с бумажно-масляной изоляцией показывает, что они сокращаются за счет отсутствия необходимости в составлении карты почвенных коррозионных зон и периодической замене вертикальных участков кабельных линий из-за осушения изоляции;

В результате затраты на техническое обслуживание кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена могут быть уменьшены по сравнению с соответствующими затратами на обслуживание кабельных линий с бумажно-масляной изоляцией на:

9 % – для кабельных линий напряжением до 35 кВ;

17 % – для кабельных линий напряжением 110 кВ. [3]

Заключение

1. Кабели с БПИ российского производства имеют относительно невысокую стоимость благодаря использованию местных недорогих материалов (бумаги) и производственных линий, давно находящихся в эксплуатации и полностью себя уже окупивших.

2. Если же основным критерием является увеличение пропускной способности линии, то предпочтение следует отдать кабелю с изоляцией из СПЭ, поскольку он имеет более высокую максимально допустимую температуру токопроводящей жилы по сравнению с кабелем с БПИ.

3. Следует воспринимать кабель с полиэтиленовой изоляцией, как не требующий обслуживания в эксплуатации. Также не следует поощрять оснащение таких кабельных линий системами непрерывного контроля, поскольку они противоречат самой идеологии применения полиэтиленовой изоляции.

Список литературы

1. Виды изоляции кабелей и проводов [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://electricschool.info/main/kabel/970-vidy-izolyi-kabeley-i-provodov.html>
2. М.С.Гринюк. Прогнозирование остаточного ресурса силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена.- Томск:ТПУ,2019 [Электронный

ресурс] / Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/11683/54630>

3. «Настольная книга проектировщика» ООО «Камский кабель»

References

1. Types of insulation of cables and wires[Electronic resource] / Access mode: <http://electricschool.info/main/kabel/970-vidy-izolyacii-kabeley-i-provodov.html>
2. M.S.Grinyuk. Prediction of the residual life of power cables with cross-linked polyethylene insulation.- Tomsk:TPU,2019 [Electronic resource] / Access mode: <http://earchive.tpu.ru/11683/54630>
3. "Designer's desktop book" LLC "Kamsky cable"

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

УДК 621.03.9 + 519.816

**Информационное противодействие терроризму
на локальном объекте**Ю.Ю. Гончаренко¹, А.С. Рыжкин¹, А.О. Миронова², А.Н. Фролова¹¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, yugoncharenko@sevsu.ru²Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)
ул. Большая Садовая, г. Ростов-на-Дону, 344002, Россия, iph7red911@gmail.com

Статья поступила 19.10.2021 г.; после доработки 21.10.2021 г.

Аннотация

В статье определены основные направления деятельности по организации информационного противодействия терроризму на локальном (одиночном) предприятии, которые включают в себя пять основных аспектов, а именно: противодействие съему побочных электромагнитных излучений, противодействие съему речевой информации, организационное ограничение доступа, техническое ограничение физического доступа, видео и аудио наблюдение.

Ключевые слова: терроризм, информация, предприятие, информационное противодействие, злоумышленник.

Information counteraction to terrorism at a local facilityY.Y. Goncharenko¹, A.S. Ryzhkin¹, A.O. Mironova², A.N. Frolova¹¹Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, yugoncharenko@sevsu.ru²Rostov State Economic University (RINH), st. Bolshaya Sadovaya, Rostov-on-Don, Russia, 344002

Received 19.10.2021 y.; received in final form 21.10.2021 y.

Abstract

The article identifies the main activities for the organization of information countering terrorism in a local (single) enterprise, which include five main aspects, namely: countering the removal of side electromagnetic radiation, countering the removal of speech information, organizational access restriction, technical restriction of physical access, video and audio surveillance.

Keywords: terrorism, information, enterprise, informational countermeasures, the attacker.

Введение

Термин «терроризм» означает идеологию насилия и практику воздействия на принятие решения органами государственной власти, органами местного самоуправления или международными организациями, связанные с устрашением населения и (или) иными формами противоправных насильственных действий [1]. Под политикой и тактикой современного террора понимают совокупность особо жестких форм и

средств насилия, которые используют террористы для достижения своих античеловеческих целей, при этом поражающие факторы террористических актов проявляются как первичные, вторичные и отдаленные. Специалисты в области антитеррористической деятельности разделяют методы борьбы с терроризмом на идеологические, законодательные, судебные, оперативно-розыскные и информационные [2,3]. Еще в начале XXI века, 22 июля 2000 года, в Японии в

ходе подписания руководителями восьми ведущих стран мира «Окинавской хартии глобального информационного общества» было заявлено, что информация, средства информатизации и связи, а также общественные отношения, складывающиеся в процессе сбора, обработки, хранения, передачи и распространения информации, оказывают непосредственное и все более возрастающее влияние на экономическое, социальное и духовное развитие, как отдельных государств, так и мирового сообщества в целом [4]. Основываясь на этом, эксперты и специалисты в области антитеррора считают, что развитие современных информационных технологий способствует информационной поддержке любых террористических актов на этапах планирования, подготовки и их совершения, которые могут происходить как на отдельных предприятиях, так и в целом на объектах критической инфраструктуры.

Исходя из выше изложенного, определение основных направлений деятельности по организации информационного противодействия терроризму на предприятии является актуальной научной задачей.

Цель данной научной работы состоит в определении основных направлений деятельности по организации информационного противодействия терроризму на локальном (одиночном) предприятии.

Для достижения поставленной цели необходимо последовательно решить следующие задачи: проанализировать основные свойства информации; рассмотреть типовую структуру локального предприятия; сформулировать основные направления деятельности по организации информационного противодействия терроризму на локальном (одиночном) предприятии.

Анализ проблемы

Информация – это довольно глубокое и общее понятие, которое сложно выразить одной фразой. Оно может иметь различный смысл применительно к различным сферам деятельности человека: в технике и экономике, медицине и уголовном праве, в науке и в быту. В самом широком смысле информация – это отражение реального мира. В узком смысле – это любые сведения, являющиеся объектом хранения, передачи и преобразования. Чтобы обладать информацией, необходимо извлекать определенный смысл, основное содержание объективной действительности, которое может использоваться

для удовлетворения определенных информационных потребностей.

Собранную и хранящуюся на различных носителях информацию принято называть сведениями. Извлекая их с носителей, разные индивидуумы получают различную информацию. Извлеченная информация обрабатывается и сохраняется в головном мозге человека и становится его знаниями. Не вся информация может стать знаниями человека. Часть ее может быть утеряна и, наоборот, часть ее может быть обогащена имеющимися у человека знаниями. Независимо от характера информации она обладает свойствами доступности, целостности и конфиденциальности.

Доступность – это свойство или состояние информации (ресурсов автоматизированной информационной системы), при котором субъекты, имеющие права доступа, могут реализовывать их беспрепятственно. К правам доступа относится право на чтение, изменение, копирование и уничтожение информации.

Целостность информации означает, что данные не были изменены при выполнении какой-либо операции над ними, будь то передача, хранение или отображение. Целостность данных – это свойство, которое означает, что они сохраняют заранее определенный вид и качество.

Конфиденциальность – это необходимость предотвращения разглашения, утечки какой-либо информации. Конфиденциальная информация является доверительной, то есть не подлежащей огласке. Это понятие отождествляется с понятиями тайны или секрета. Оно обязательное для выполнения лицом, получившим доступ к определенной информации, и состоит в требовании не передавать полученную информацию третьим лицам без согласия ее обладателя.

Под предприятием обычно подразумевают достаточно широкий спектр различных организаций. К ним относятся заводы, фабрики, фермы и другие организации, производящие материальный продукт. К предприятиям также относятся магазины, школы, банки и иные учреждения, результатом деятельности которых является нематериальный продукт или услуга. К предприятиям относятся как небольшие фирмы со штатом в несколько человек, так и огромные заводы, где могут работать десятки тысяч людей. На большом предприятии каждое управленческое подразделение (администрация, бухгалтерия, отдел кадров и пр.) обычно состоит из десятков сотрудников со своей иерархией. В то же время на небольшом предприятии некоторые отделы (или

даже несколько отделов) могут быть представлены одним человеком. На практике часто приходится сталкиваться с ситуациями, когда, например, руководитель небольшой молодой фирмы лично занимается вопросами приема на работу, то есть совмещает роль директора и начальника отдела кадров.

Большая часть информации, используемая для управления, фиксируется в различных документах. На предприятии существует целый ряд специализированных служб, занимающихся работой с документами, к которым относятся канцелярия, отдел кадров, бухгалтерия, архив, производственные отделы, отдел маркетинга и логистики, службы обеспечения и охраны и др.

Канцелярия – это отдел организации, ведающий служебной перепиской и оформлением текущей документации.

Отдел кадров решает вопросы, связанные с подбором сотрудников, приемом их на работу, увольнением, обучением, выходом на пенсию. Отдел кадров ведет документацию дел по всем работникам (личные дела, трудовые книжки, должностные инструкции и пр.).

Бухгалтерия осуществляет сбор и обработку финансовой информации о предприятии, а также предоставление отчетности о деятельности организации в государственные органы. В частности, бухгалтерия занимается расчетом заработной платы сотрудников, уплатой налогов и аренды, а также многими другими вопросами, связанными с движением финансов.

Архив – отдел, где хранятся документы, образовавшиеся в результате деятельности предприятия. Архивные работники обеспечивают учет, сохранность документов в течение определенного законом периода, а также их уничтожение по истечении срока хранения.

Производственные отделы – это подразделения, производящие основную продукцию предприятия: товары или услуги. Это могут быть производственные цеха на заводах и фабриках, бригады на стройке и сельскохозяйственной ферме, факультеты в ВУЗах, учебные классы в школах и т. д.

Отдел маркетинга и логистики занимается подготовкой бизнес-планов предприятия, разработкой маркетинговых и производственных программ, структуру оптимальных закупок и сбыта продукции.

Службы обеспечения занимаются вопросами снабжения предприятия оборудованием и услугами, необходимыми для повседневной жизни (коммунальные услуги, электричество,

водоснабжение и канализация, отопление и другие специфические вопросы).

Служба охраны занимается охраной периметра предприятия, допуском сотрудников на работы, осуществляет оптоэлектронный контроль во внутренних помещениях и на подъездах к пунктам пропуска на предприятие. В зависимости от сложности и опасности производственных процессов, подразделения охраны могут быть составной частью службы безопасности или физической защиты предприятия.

Предприятие имеет внутренние информационные связи (взаимодействие руководства с исполнителями) и внешние информационные связи (взаимодействие с контролирующими смежными предприятиями, потребителями, клиентами и др.). От вышестоящих органов на предприятие поступает руководящая информация в виде законов, нормативов, рекомендаций, распоряжений. В вышестоящие органы поступают отчеты и планы.

Контролирующими органами для всех предприятий являются налоговая служба и пожарная инспекция, организации, контролирующие выбросы в окружающую среду и утилизацию отходов, учреждения, проверяющие условия труда сотрудников и безопасность их жизнедеятельности. Они предоставляют инструкции, обязательные для внедрения на предприятиях, и контролируют их исполнение. Сотрудничать с предприятием могут предприятия-партнеры, заказчики продукции, смежники и иные предприятия и частные лица.

Для обеспечения конфиденциальности деятельности предприятия отдел кадров и службы охраны любого предприятия обязаны заниматься не только проверкой личных данных сотрудников и ведением с ними профилактической работы, но и выявлять признаки подготовки террористических актов и принимать адекватные меры по их ликвидации.

Основные результаты работы

Как было отмечено ранее, в современных условиях ни один террористический акт не проходит без информационной поддержки с использованием современных информационных технологий. Прежде всего они обеспечивают первичный сбор информации об объекте предстоящего террористического акта. Очевидно, что собрать информацию о любом предприятии можно из открытых Internet-источников: официальных web-сайтов, социальных сетей, личных социальных

страничек сотрудников предприятия, их переписки и других электронных ресурсов. Однако этого, как правило, бывает недостаточно. Необходимо иметь информацию о расположении помещений на предприятии, режиме работы сотрудников различных подразделений, расположении линий электроснабжения и линий телекоммуникационных связей. Эта разведывательная задача может решаться без привлечения сотрудников предприятия, без проникновения на его территорию путем съема побочных электромагнитных излучений с использованием специальных сканеров. Злоумышленник обходит или объезжает на автомобиле периметр предприятия и фиксирует сканером наличие и источник электромагнитных излучений. Узкополосные высокочастотные излучения показывают наличие незащищенных компьютерных станций и серверов, широкополосные свидетельствуют о работе электрического оборудования. В первом случае источниками будут офисные или управленческие помещения, во втором – производственные. Если предприятие занимает большую площадь, и расположенные на его территории строения имеют 1-3 этажа, то съем электромагнитных излучений можно производить с оптокоптера (дрона), управляемого дистанционно. Зная параметры электромагнитных излучений и месторасположение их источника, можно воздействовать на них с целью вывода их из строя или вызывая сбои в их работе. Поэтому первым направлением организации информационного противодействия террористическим актам является противодействие съему побочных электромагнитных излучений на предприятии.

Вторым аспектом информационного противодействия террористическим актам является противодействие съему речевой информации, который может осуществляться как за пределами предприятия, так и с проникновением в его помещения. В первом случае используются рефлекторные щелевые и другие типы направленных микрофонов, которые позволяют принимать разговоры сотрудников, происходящие у открытых окон, на балконах, а также при прибытии и отправлении автомобилей с руководителями и гостями, посещающими предприятие. В закрытых помещениях дистанционный съем речевой информации может осуществляться с использованием лазерных устройств, фиксирующих микровибрации стекол, вызванных человеческой речью. В других помещениях, окна которых не выходят наружу, необходимо проникновение на предприятие и установка там закладных

устройств. Установленные устройства производят фиксацию всех разговоров и передают их злоумышленнику, располагающемуся за охраняемым периметром предприятия. Очевидно, что конфиденциальная информация, полученная из разговоров сотрудников, может быть полезной при планировании и проведении самых различных враждебных действий против предприятия.

Третье направление информационного противодействия террористическим актам представляет собой организацию ограничения доступа, как на предприятие, так и в отдельные его помещения, при этом руководство предприятия должно четко регламентировать своими приказами и иными распорядительными документами время прибытия и убытия сотрудников на предприятие, количество и номенклатуру сотрудников, имеющих право свободного выхода с территории, входа-выхода в серверную, посещения специальных производственных помещений и прочее.

Разработанные и прописанные организационные ограничения доступа реализуются установкой специальных турникетов на входе предприятия, наличием электронных запирающих устройств на помещениях, где осуществляется специальное производство.

Для прохода в особо конфиденциальные помещения могут использоваться устройства, контролирующие сотрудников, имеющих в них допуск по отпечаткам пальцев или ладони, радужной оболочки глаза, особенностям голоса и другие. Эти мероприятия определяют четвертое направление информационного противодействия террористическим актам, которое принято называть техническим ограничением физического доступа.

Пятый аспект информационного противодействия террористическим актам представляет собой организацию видео и аудио наблюдения на предприятии, которое может осуществляться как внутри помещений, так и за периметром предприятия, вестись открыто и скрытно. Подобный контроль позволяет не только контролировать персонал предприятия, но и своевременно выявлять признаки подготовки террористического акта.

Выводы

Основными свойствами информации являются доступность, целостность и конфиденциальность, поэтому их использование позволяет сформулировать основные направления деятель-

ности по организации информационного противодействия терроризму.

Для обеспечения конфиденциальности деятельности предприятия отдел кадров и службы охраны любого предприятия обязаны заниматься не только проверкой личных данных сотрудников и ведением с ними профилактической работы, но и выявлять признаки подготовки террористических актов и принимать адекватные меры по их ликвидации.

Таким образом, реализация различных направлений деятельности по организации информационного противодействия терроризму, а именно: противодействие съему побочных электромагнитных излучений, противодействие съему речевой информации, организационное ограничение доступа, техническое ограничение физического доступа, видео и аудио наблюдение, позволят не только предотвращать, но и нейтрализовать террористические угрозы, как на отдельных предприятиях, так и в государстве в целом.

Список литературы

1. Российская Федерация. Законы. О противодействии терроризму: Федеральный закон № 35 ФЗ: [Принят Государственной Думой 26 февраля 2006 года: Одобрен Советом Федерации 1 марта 2006 года].
2. Гончаренко, Ю. Ю. Защита информации – как один из ключевых аспектов предотвращения чрезвычайных ситуаций / Ю. Ю. Гончаренко, Е. Е. Смычков, В. В. Рыбко // Сборник научных трудов СТУАЭИП. – Севастополь: СТУАЭИП, 2012. – Вып. 1 (41). – С. 207 – 211.
3. Гончаренко, Ю. Ю. Структура контура управления информационной безопасностью предприятия / Ю. Ю. Гончаренко // Научно-практический журнал «Экономика и управление». – № 5. – Симферополь: НАПКС, 2012. – С. 97 – 101.
4. Научно-исследовательский центр «Национальная безопасность»: [сайт]. – Москва, 2013 – . – URL: <http://nic-pnb.ru> (дата обращения 30.09.2021г.). – Текст: электронный.

References

1. Rossijskaya Federatsiya. Zakony. O protivodejstvii terrorizmu: Federal'nyj zakon № 35 FZ: [Prinyat Gosudarstvennoj Dumoj 26 fevralya 2006 goda: Odobren Sovetom Federatsii 1 marta 2006 goda.
2. Goncharenko YU. YU., Smychkov E. E., Rybko V. V. Information protection as one of the key aspects of emergency prevention [Zashhita informatsii – kak odin iz klyuchevykh aspektov predotvrashheniya chrezvychajnykh situatsij]. Sbornik nauchnykh tru-

- dov SNUYAEHiP [Collection of proceedings SUof-NEandI]. Sevastopol, 2012, no. 1 (41), pp. 207-211.
3. Goncharenko YU. YU. Structure of the enterprise information security management loop [Struktura kontura upravleniya informatsionnoj bezopasnost'yu predpriyatiya]. Nauchno-prakticheskij zhurnal «EHkonomika i upravlenie» [Scientific and practical journal “Economics and management”]. Simferopol, 2012, no. 5, pp. 97-101.
4. Nauchno-issledovatel'skij tsentr «Natsional'naya bezopasnost'» [National security research center]. Available at: <http://nic-pnb.ru>.

УДК 004.438

Применение методики оценки угроз безопасности информации

А.О. Миронова², Ю.Ю. Гончаренко¹, А.С. Гоголь¹, А.Н. Фролова¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, yugoncharenko@sevsu.ru²Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)
ул. Большая Садовая, г. Ростов-на-Дону, 344002 Россия

Статья поступила 26.10.2021 г.; после доработки 28.10.2021 г.

Аннотация

В порядке обсуждения рассматривается действующая правовая структура в области регулирования защиты информации. В основной части рассматриваются базовые методики, действующие и утратившие силу. В результатах и исследованиях выделены преимущества применения обновленной Методики при разработке модели угроз.

Ключевые слова: модель угроз; угрозы безопасности; конфиденциальность; методика оценки угроз; модель нарушителя; информация

Application of information security threat assessment methodology

A.O. Mironova², Y.YGoncharenko¹, A.S. Gogol¹, A.N. Frolova¹Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, 299053, Russia, m.i.oziganova@sevsu.ru²Rostov State Economic University (RINH), st. Bolshaya Sadovaya, Rostov-on-Don, Russia, 344002

Received 26.10.2021 y.; received in final form 28.10.2021 y.

Abstract

In the order of discussion, the current legal structure in the field of regulation of information protection is considered. In the main part, the main methods that are in force and have become invalid are considered. The results and studies highlight the advantages of using the updated Methodology in developing a threat model.

Keywords: threat model; security threats; confidentiality; threat assessment methodology; violator model; information

Введение

Каждое частное либо государственное предприятие на сегодняшний день имеет информационную систему. Информационные системы, как правило, имеют достаточно сложную структуру и могут быть организованы в виде локальных вычислительных сетей с электронным документооборотом и доступом в сеть Интернет либо с материальным документооборотом. В зависимости от особенностей расположения предприятия могут возникать технические каналы утечки информации и не только. Все эти факторы необхо-

димо учитывать, структурировать и предпринимать превентивные меры по их устранению. Такие мероприятия необходимы для сохранения трех самых важных свойств информации: конфиденциальности, целостности и доступности.

Именно поэтому после анализа имеющейся информационной системы необходимо структурировать все изъясны в одном документе, который будет актуален для действующей информационной системы вне зависимости от ее предназначения.

В России имеются такие информационные системы как: информационная система персо-

нальных данных (ИСПДн), государственные информационные системы (ГИС) и критические информационные инфраструктуры (КИИ). Необходимость разработки модели угроз в Российской Федерации для каждого вида информационной системы регламентирована рядом документов.

Также имеются регуляторы в области защиты информации, которые могут выпускать для каждого типа информационной системы регуливающую документацию в области защиты информации.

К ним относятся: Федеральная служба по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК), Федеральная служба безопасности (ФСБ), Федеральная служба охраны (ФСО), Федеральная служба по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), Министерство обороны (МО) и другие.

Данная тема является актуальной в связи с тем, что возникает необходимость адаптации выпускаемых регуляторами новых документов, регламентирующих деятельность в сфере защиты информации, к условиям функционирования существующих информационных систем.

Постановка задачи

Целью данной работы является изучение возможности применения регуливающей документации при построении модели угроз.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) рассмотреть необходимость создания модели угроз;
- 2) изучить структуру модели угроз;
- 3) рассмотреть возможность применения обновленной методической документации регулятора в области защиты информации, при построении модели угроз;
- 4) выделить преимущества новой методики оценки актуальных угроз.

Основная часть

Как было отмечено ранее, необходимость разработки модели угроз подчиняется системе установленных законов.

Так, например, в части 2 статьи 19 закона №152-ФЗ «О персональных данных» сказано, что обеспечение безопасности персональных данных, циркулирующих в организации, достигается путем определения угроз безопасности персональных данных (ПДн) при их обработке в

ИСПДн [2].

Если рассматривать ИСПДн, то перечень мер по сохранению целостности, конфиденциальности и доступности персональных данных при их обработке в ИСПДн утвержден приказом ФСТЭК России от 18 февраля 2013 г. № 21.

Из пункта 4 общих положений данных мер следует, что методы по защите ПДн реализуются путем использования в информационной системе (ИС) средств защиты информации (СЗИ), прошедших в установленном порядке процедуру оценки соответствия в случаях, когда применение таких средств необходимо для устранения актуальных для данной ИС угроз безопасности информации (УБИ) [1].

Требования к защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в ГИС утверждены приказом ФСТЭК России от 11 февраля 2013 г. № 17.

В данном случае создание мер к защите информации включает, в том числе, установление актуальных УБИ, в случае реализации которых организация понесет убытки. На их основе производится разработка модели угроз безопасности информации [3].

Требования по обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, представляющих повышенную опасность для здоровья граждан, их жизни и окружающей среды, утверждены приказом ФСТЭК России от 14 марта 2014 г. № 31 [4].

Установление требований по защите информации к автоматическим системам управления также включает в себя определение угроз безопасности, реализация которых приводит к прекращению штатного функционирования автоматической системы управления, и реализацию на основе данных УБИ модели угроз безопасности.

Требования по обеспечению безопасности КИИ России утверждены приказом ФСТЭК России от 25 декабря 2017 г. № 239.

В пункте 11 основных положений данного приказа отмечено, что разработка организационно-технических мер по обеспечению безопасности КИИ осуществляется субъектом КИИ и включает в себя анализ УБИ, разработку на их основе модели угроз безопасности информации либо ее уточнение, если она имеется [5].

Отсюда можно сделать вывод, что для любых ИС, в которых циркулирует информация ограниченного доступа либо имеются важные критические процессы в соответствии с действующими

ющим законодательством России, предусмотрена необходимость разработки модели угроз с использованием банка данных угроз безопасности информации ФСТЭК.

Если рассматривать модель угроз как результат целостного анализа информационной системы, то в данном документе должен быть проведен анализ установленных средств защиты и предложены варианты по установке новых, которые будут перекрывать найденные сотрудником службы безопасности уязвимости.

По своей структуре модель угроз должна содержать в себе:

- 1) полное описание ИС;
- 2) структурные характеристики ИС;
- 3) функциональные характеристики ИС;
- 4) актуальные УБИ;
- 5) актуальную модель нарушителя;
- 6) актуальные уязвимости для данной ИС;
- 7) возможные способы реализации установленных угроз;
- 8) последствия от нарушения свойств безопасности;
- 9) перечень необходимых СЗИ.

Отсюда следует, что определение актуальных угроз безопасности информации – это важная составляющая при разработке модели угроз.

Из информационного сообщения ФСТЭК России от 15 февраля 2021 г. № 240/22/690 ФСТЭК России 5 февраля 2021 года был разработан и утвержден новый методический документ «Методика оценки угроз безопасности информации» [7].

Новая методика определяет порядок и содержание процессов по определению УБИ, реализация и возникновение которых возможна в ИС, автоматизированных системах управления, информационно-телекоммуникационных сетях, информационно-телекоммуникационных инфраструктурах центров обработки данных и облачных инфраструктурах, а также по разработке моделей УБИ.

Ранее для анализа вероятных УБИ использовали один из следующих методических документов:

1. Методика определения актуальных угроз безопасности персональных данных при их обработке в ИСПДн (2008 года);
2. Методика определения актуальных угроз безопасности информации в ключевых системах информационной инфраструктуры (2007 года).

Разработка моделей угроз по данным методическим документам велась с использованием

базовой модели угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационной системе персональных данных.

Новая же методика более универсальна и подходит для всех типов объектов. Она применяется в ИС, решение о создании либо улучшении которых принято после даты ее утверждения.

Модели угроз, созданные до этого момента, продолжают свое действие и подлежат улучшению в соответствии с настоящей Методикой при улучшении соответствующей ИС.

В связи с утверждением нового регулирующего документа методики, принятые ранее, а именно: Методика определения актуальных угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных (ФСТЭК России, 2008 г.) и Методика определения актуальных угроз безопасности информации в ключевых системах информационной инфраструктуры (ФСТЭК России, 2007 г.) утратили свою силу, но о базовой модели угроз упоминаний нет.

Отсюда следует, что необходима разработка модели угроз с использованием Методики угроз безопасности, банка данных УБИ ФСТЭК России и базовой модели угроз ИСПДн на усмотрение оператора ИС.

Приведем содержательное сравнение «Методики оценки угроз безопасности информации», утвержденной 5 февраля 2021 года ФСТЭК России, и Методики определения актуальных угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных ФСТЭК России, 2008 г.

Старая методика содержит один раздел, который регулирует порядок определения актуальных угроз безопасности ПДн при их обработке в ИСПДн.

Для оценки возможности реализации угрозы применяются два показателя: уровень исходной защищенности ИСПДн и частота реализации рассматриваемой угрозы.

Новая методика содержит такие этапы, как:

- 1) определение негативных последствий при реализации УБИ;
- 2) определение уязвимых объектов;
- 3) оценка возможности возникновения и последующей реализации УБИ.

Последний этап можно разделить на три части: выявление источников УБИ, оценка способов реализации УБИ и оценка актуальности УБИ.

Новая методика опирается на оценку угроз, которые возникают из-за воздействия нарушителей, и поэтому не включает в себя факторы, не

зависящие от человека: угрозы из-за стихийных бедствий, угрозы криптографических СЗИ, угрозы по техническим каналам утечки информации. Право включения данных угроз остается за оператором.

В результате определения источников УБИ выделяются:

- 1) виды потенциальных нарушителей и возможные цели;
- 2) категории потенциальных нарушителей.

На этапе оценки способов реализации УБИ выделяют: виды нарушителей и их категории, а также способы осуществления УБИ.

В соответствии с настоящей Методикой угроза считается потенциальной, если на этапах оценки были обнаружены следующие признаки:

- 1) присутствует цель воздействия для угрозы;
- 2) присутствует нарушитель;
- 3) обнаружен вариант реализации угрозы;
- 4) осуществление угрозы может нанести ущерб [6].

Новая методика имеет ряд преимуществ, которых были лишены предыдущие методики.

Если обнаружены сценарии реализации угрозы ИБ, то угроза считается актуальной.

Сценарии должны быть определены для всех способов осуществления угроз относительно объектов и видов воздействия.

Результаты, полученные в ходе оценки угроз, заносятся в модель угроз, для которой существует рекомендуемая структура, определенная новой методикой.

Стоит отметить, что оценка угроз может осуществляться как владельцем информации самостоятельно, так и с привлечением сторонних организаций.

Таким образом, к достоинствам новой методики можно отнести:

- 1) гибкость в применении для широкого круга ИС;
- 2) наличие наглядных примеров для выполнения каждого этапа оценки потенциальных угроз;
- 3) рекомендации о применении экспертного метода;
- 4) направленность на оценку последствий реализации УБИ.

Заключение

Основным государственным органом, регулирующим деятельность в сфере защиты информации, является Федеральная служба по техническому и экспортному контролю. Так как дан-

ный регулятор довольно часто обновляет регулируемую документацию, возникает ряд проблем и вопросов при обеспечении защиты информации и составлении таких значимых для организации документов, как модель угроз.

Сама же модель угроз должна содержать полное описание защищаемой системы, функциональные характеристики, структурные характеристики, описание каналов утечки информации, модель нарушителя, перечень актуальных угроз безопасности, способы реализации данных угроз, последствий от реализации угроз и опираться на соответствующие документы.

В данной работе были выделены основные преимущества использования новой методики при построении моделей угроз в ИС любого типа.

Положительные стороны новой методики обусловлены продуманным и трудоемким процессом оценки потенциальных угроз, требующим специальных знаний в информационной безопасности со стороны экспертов и сотрудников службы безопасности.

Список литературы

1. Приказ Федеральной службы по техническому и экспортному контролю от 18 февраля 2013 г. N 21 «Об утверждении Состав и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» [Электронный источник] URL: <https://fstec.ru/normotvorcheskaya/akty/53-prikazy/691> (дата обращения 27.07.2021).
2. Федеральный закон от 27.07.2006 N 152-ФЗ (ред. от 30.12.2020) [Электронный источник] «О персональных данных» URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801/ (дата обращения 27.07.2021).
3. Приказ 11 февраля 2013 г. N 17 «Об утверждении требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах» [Электронный источник] URL: <https://fstec.ru/normotvorcheskaya/akty/53-prikazy/702> (дата обращения 27.07.2021).
4. Приказ Федеральной службы по техническому и экспортному контролю от 14 марта 2014 г. N 31 «Об утверждении Требований к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных объектах, потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды» (с изменениями и дополнениями) [Электронный источник] URL:

<https://base.garant.ru/70690918/> (дата обращения 27.07.2021).

5. Приказ Федеральной службы по техническому и экспортному контролю от 25 декабря 2017 г. N 239 «Об утверждении Требований по обеспечению безопасности значимых объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями) [Электронный источник] URL: <https://base.garant.ru/71901880/> (дата обращения 27.07.2021).
6. Методический документ. Методика оценки угроз безопасности информации. Утвержден ФСТЭК России от 5 февраля 2021 г. [Электронный источник] URL: <https://fstec.ru/component/attachments/download/2919> (дата обращения 27.07.2021).
7. Информационное сообщение ФСТЭК России от 15 февраля 2021 г. N 240/22/690 [Электронный источник] URL: <https://fstec.ru/normotvorcheskaya/informatsionnye-i-analiticheskie-materialy/2169-informatsionnoe-soobshchenie-fstek-rossii-ot-15-fevralya-2021-g-n-240-22-690> (дата обращения 27.07.2021).

References

1. Order of the Federal Service for Technical and Export Control dated February 18, 2013 No. 21 "On approval of the Composition and content of organizational and technical measures to ensure the security of personal data during their processing in personal data information systems" [Electronic source] (date accessed: 27.07.2021).
2. Federal Law No. 152-FZ of 27.07.2006 (as amended on 30.12.2020) [Electronic source] "On personal data" URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801 / (accessed 27.07.2021).
3. Order No. 17 of February 11, 2013 "On the approval of requirements for the protection of information that does not constitute a state secret contained in state information systems" [Electronic source] URL: <https://fstec.ru/normotvorcheskaya/akty/53-prikazy/702> (accessed 27.07.2021).
4. Order of the Federal Service for Technical and Export Control dated March 14, 2014 N 31 "On approval of Requirements for ensuring the protection of information in automated control systems for production and Technological Processes at Critical facilities, potentially dangerous facilities, as well as facilities that pose an increased danger to human life and health and to the environment" (with amendments and additions) [Electronic source] URL: <https://base.garant.ru/70690918/> / (accessed 27.07.2021).
5. Order of the Federal Service for Technical and Export Control dated December 25, 2017 N 239 "On approval of Requirements for ensuring the security of significant Objects of critical Information Infrastructure of the Russian Federation" (with amendments and additions) [Electronic source] URL: <https://base.garant.ru/71901880/> / (date of issue 27.07.2021).
6. Methodological document. Methodology for assessing information security threats. Approved by the FSTEC of Russia on February 5, 2021 [Electronic source] URL: <https://fstec.ru/component/attachments/download/2919> (accessed 27.07.2021).
7. Information message of the FSTEC of Russia dated February 15, 2021 N 240/22/690 [Electronic source] URL: <https://fstec.ru/normotvorcheskaya/informatsionnye-i-analiticheskie-materialy/2169-informatsionnoe-soobshchenie-fstek-rossii-ot-15-fevralya-2021-g-n-240-22-690> (accessed 27.07.2021).

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК. 661.641

Исследования возможности утилизации трихлорида мышьяка из сточных вод

А.М. Акимов, Е.А. Магдыч, С.А. Котельникова.

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Университетская-33,
г. Севастополь, 299053, Россия, e-mail: cvetlana.83@inbox.ru

Статья поступила 15.10.2021 г.; после доработки 19.10.2021 г.

Аннотация

В статье рассматриваются теоретические основы химической технологии утилизации невостребованных запасов трихлорида мышьяка, оставшихся на промышленных предприятиях после смены технологии производства или перепрофилировании предприятий.

Ключевые слова: мышьяк, трихлорид мышьяка, очистка растворов, технология утилизации, сульфид мышьяка.

Studies of the possibility of utilization of arsenic trichloride from wastewater

A.M. Akimov, E.A. Magdych, S.A. Kotelnikova

Sevastopol state University, Sevastopol, 299002 Russiae-mail: cvetlana.83@inbox.ru)

Received 15.10.2021 y.; received in final form 19.10.2021 y.

Abstract

The article discusses the theoretical foundations of chemical technology for the disposal of unclaimed arsenic trichloride reserves remaining in industrial enterprises after the change of production technology or the conversion of enterprises.

Keywords: arsenic, arsenic trichloride, solution purification, disposal technology, arsenic sulfide.

Введение

На предприятиях по производству полупроводниковых материалов, в силу ряда причин (закрытие, перепрофилирование, смена технологии производства), оказались невостребованными значительные количества трихлорида мышьяка, требующие особых условий хранения. Кроме того, не исключается возможность несанкционированного его поступления из хранилища в окружающую среду. В связи с этим остро стоит вопрос обезвреживания невостребованных запасов

AsCl₃, т.е. перевод его в безопасное для окружающей среды соединение.

Трихлорид мышьяка - бесцветная, маслянистая жидкость, дымящая на воздухе. Воздух при содержании 0.1 мг/л и выше AsCl₃ сильно раздражает слизистые оболочки дыхательных органов, жидкий AsCl₃ вызывает на коже язвы. Характер действия AsCl₃ заключается в блокировании сульфогидрильных групп белков, угнетении окислительных процессов, поражении кровеносных сосудов и тканей органов. AsCl₃ оказывает онкогенное и местное раздражающее действие

[1].

Таким образом, трихлорид мышьяка является экологически опасным фактором, и для его хранения требуются особые условия, связанные с большими материальными затратами.

Постановка цели и задач научного исследования

За последние двадцать лет было предложено достаточное количество методик и технологий переработки мышьяк содержащих отходов [2–6] и сточных вод [6–10]. Все они направлены на получения мышьяка высокой чистоты. Наиболее распространенные из них методы основаны на предварительной очистке таких соединений, как As_2O_3 , AsH_3 , $AsCl_3$, с последующим превращением их в элементарный мышьяк.

Мышьяк применяется для защиты древесины, в сельском хозяйстве, при производстве стекла, а также как компонент антифрикционных сплавов для подшипников, для упрочнения свинцовых сеток в свинцово-кислых аккумуляторных батареях и ряде других сфер. Но в связи с ужесточением требований защиты окружающей среды применение мышьяк содержащих соединений в последнее время резко сокращается [11]. В настоящее время существует потребность в высокочистом мышьяке ($\geq 99,9999\%$) применяемом в электронной промышленности в производстве GaAs - полупроводников, которые используются в телекоммуникациях, солнечных элементах и др. Эту потребность обеспечивают следующие предприятия: «Furukawa» (Япония) - 50 % мирового рынка, «PPM Pure Materials GmbH» (Германия), «China Rare Metal Materials Co.» и «Siepuan Western Minmetals Co.» (Китай), «Espil Metals» (США), АО «Гиредмет» (Россия) [11].

В России накоплено большое количество отходов металлургических и др. производств, содержащих значительное количество соединений мышьяка. Поэтому остро стоит задача перевода их менее токсичные соединения с последующим безопасным хранением.

В связи с этим возникла необходимость утилизации или перевода $AsCl_3$ в максимально безопасное для персонала, населения и окружающей среды соединение.

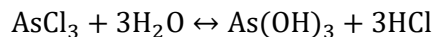
Проведенные авторами исследования показали, что наиболее безопасным из всех неорганических соединений мышьяка является сульфиды и соли тяжелых металлов мышьяковистой кислоты.

Целью работы было изучение возможности

утилизации трихлорида мышьяка, хранящегося на предприятиях в виде солянокислого раствора в максимально безопасные соединения и определить оптимальные условия проведения процесса утилизации.

Результаты научного исследования

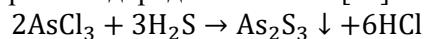
Трихлорид мышьяка в водном растворе частично распадается на ионы As^{3+} и $3Cl^-$ и одновременно происходит глубокое гидролитическое расщепление:



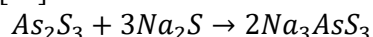
При достаточном избытке хлороводородной кислоты равновесие сдвигается влево. Поэтому для предотвращения гидролиза трихлорид мышьяка хранится в виде 60% раствора хлороводородной кислоты.

Образующийся при гидролизе гидроксид мышьяка (III) обладает амфотерными свойствами с преобладанием кислотных свойств. Мышьяковистая кислота (H_3AsO_3) образует с щелочными металлами хорошо растворимые в воде соли (арсениты), а с тяжелыми металлами – практически нерастворимые арсениты.

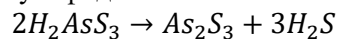
При взаимодействии трихлорида мышьяка с сероводородом образуется сульфид мышьяка As_2S_3 – золотисто-желтый мелкодисперсный осадок, нерастворимый даже в концентрированной хлороводородной кислоте [12]:



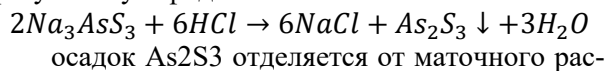
Необходимо учитывать, что применение в качестве сульфидирующего реагента при получении As_2S_3 сульфидов щелочных металлов и сульфида аммиака и приводит к образованию растворимой в воде соли тиомышьяковистой кислоты [13]:



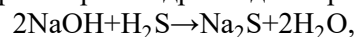
Свободные тиокислоты очень неустойчивые и легко разлагаются на сероводород и соответствующий сульфид:



Поэтому при действии сильных кислот на тиосоли мышьяка выделяется сероводород и образуется сульфид мышьяка



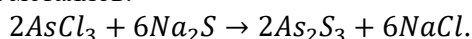
Выделяющийся сероводород при этом сорбируется раствором гидроксида натрия:



который используется для производства сульфида мышьяка.

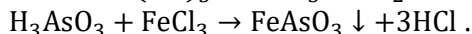
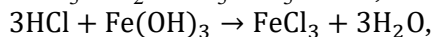
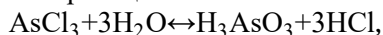
Так как трихлорид мышьяка хранится на предприятии в виде солянокислого раствора, то,

как показали исследования, вместо чрезвычайно токсичного сероводорода для перевода AsCl_3 в As_2S_3 возможно применение сульфидов щелочных металлов:

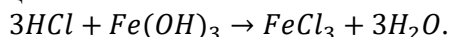


Если арсениты щелочных металлов хорошо растворимы в воде, то соли тяжелых металлов мышьяковистой кислоты, практически нерастворимы в воде, но они реагируют с кислотами [14].

Процесс перевода трихлорида мышьяка в арсениты тяжелых металлов описывается уравнениями реакций:

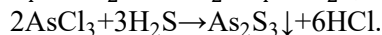
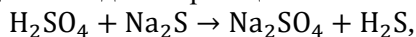


Для предотвращения взаимодействия арсенита железа с выделяющейся хлористоводородной кислотой необходимо брать двойной молярный избыток гидроксида железа для ее нейтрализации:



Заключение

На основе теоретических исследований по вопросам утилизации трихлорида мышьяка можно предложить способ утилизации, где из солянокислого водного раствора As_2S_3 сероводородом H_2S выделен хорошо отделяемый сульфидный осадок по реакциям:



В заключение следует отметить, что при переводе опасного для окружающей среды трихлорида мышьяка в безопасные сульфид мышьяка и арсенит железа получают ценные продукты.

В первом случае получается лимонно-желтый пигмент, который можно использовать в производстве красок, и хлористоводородная кислота, во втором – желто-коричневый порошок арсенита железа в производстве красок и строительных материалов.

Список литературы

1. Некрасов Б.В. Курс общей химии М.: ГХИ, 1955.
2. Наливайко А.И. Технология переработки мышьякостержащих композиционных материалов. Дис. ... канд. техн. наук. Саратов: СГУ им. Чернышевского, 2000.
3. Каратаев Е.Н. Процессы детоксикации и утилизации высокотоксичных соединений мышьяка. Дисс. ... докт. хим. наук. Н.Новгород: ННГУ им.

- Н.И. Лобачевского, 2009.
4. Молдурешку М.О. Разработка технологии извлечения мышьяка из отходов аммиачно-автоклавного передела кобальтсодержащих руд. Дис. ... канд. техн. наук. Томск: ТуВКОПР СО РАН, 2018.
5. Храпунов В.Е., Челохсаев Л.С., Исакова Г.А., Спивак М.М. Вакуумтермическое выделение мышьяка из золотосодержащих концентратов Якутии // Цветные металлы. М.: Руда и металлы. 1993. № 4. С. 9.
6. Чернова О.П., Похвиснева В.Б., Курдюмов Г.М. Гальваноочистка мышьякостержащих сточных вод // Цветные металлы. М.: Руда и металлы. 1997. № 2. С. 28.
7. Растагаев О.Ю., Чупис В.Н., Холстов В.И., Толконникова Т.П., Малишевский А.О. Способ получения элементного мышьяка. Пат. 2409687 РФ. 2011.
8. Leist M., Casey R.J., Caridi D. The management of arsenic wastes: problems and prospects // Hazardous Mater. 2000. V. 76. № 1. P.125.
9. Iwaniec J., Szczypinski W., Wikierak J. Method of utilization of mixtures containing inorganic arsenic compounds (III). Pat. 357396 PL. 2002.
10. Hiroaki M., Atsushi Y., Kunihiro A. Pat. 4473340 JP. 2009.
11. Gasanov A.A., Naumov A.V. World and Russian arsenic markets // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2016. V. 57. № 7. P. 670. [Гасанов А.А., Наумов А.В. Мировой и Российский рынок Мышьяка // Известия вузов. Цветная металлургия. 2016. №5. С.24.]
12. Реми Г. Курс неорганической химии Т.1. М.: ИИЛ, 1963.
13. Глинка Н.Л. Общая химия. М.: ГХИ, 1955. Справочник химика. Т.2. М.: Химия, 1964.

References

1. Nekrasov B.V. Course of general chemistry M.: GHI, 1955.
2. Nalivaiko A.I. Technology of processing of arsenic-containing composite materials. Dis. ... candidate of Technical Sciences. Saratov: Chernyshevsky State University, 2000.
3. Karataev E.N. Processes of detoxification and utilization of highly toxic arsenic compounds. Diss. ... Doctor of Chemical Sciences. N.Novgorod: N.I. Lobachevsky National Research University, 2009.
4. Moldurushku M.O. Development of technology for the extraction of arsenic from the waste of ammonia-autoclave conversion of cobalt-containing ores. Dis. ... candidate of Technical Sciences. Tomsk: TuvIKOPR SB RAS, 2018.
5. Khrapunov V.E., Chelokhsaev L.S., Isakova G.A., Spivak M.M. Vacuum thermal isolation of arsenic from gold-containing concentrates of Yakutia // Non-ferrous metals. M.: Ore and metals. 1993. No.

4. p. 9.
6. Chernova O.P., Pokhvisneva V.B., Kurdyumov G.M. Electroplating of arsenic-containing wastewater // Non-ferrous metals. M.: Ore and metals. 1997. No. 2. p. 28.
7. Rastegaev O.Yu., Chupis V.N., Kholstov V.I., Tolokonnikova T.P., Malishevsky A.O. Method of obtaining elemental arsenic. Pat. 2409687 RF. 2011.
8. Leist M., Casey R.J., Caridi D. The management of arsenic wastes: problems and prospects // Hazardous Mater. 2000. V. 76. № 1. P.125.
9. Iwaniec J., Szczypinski W., Wikierak J. Method of utilization of mixtures containing inorganic arsenic compounds (III). Pat. 357396 PL. 2002.
10. Hiroaki M., Atsushi Y., Kunihiro A. Pat. 4473340 JP. 2009.
11. Gasanov A.A., Naumov A.V. World and Russian arsenic markets // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2016. V. 57. No. 7. p. 670. [Hasanov A.A., Naumov A.V. The world and Russian Arsenic market // News of universities. Non-ferrous metallurgy. 2016. No.5. p.24.]
12. Remy G. Course of inorganic Chemistry Vol.1. M.: IIL, 1963.
13. Glinka N.L. General Chemistry. M.: GHI, 1955. Chemist's Handbook. Vol.2. M.: Chemistry, 1964.

УДК 613.647:628.518

Обеспечение безопасности применения технологии СВЧ-нагрева при плавлении радиоактивного битумного компаунда

С.С. Безотосный¹, В.Н. Григорьева¹, В.Ф. Тишков¹, Д.В. Шевелев¹,
И.И. Свириденко²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций,
г. Москва, ул. Ферганская, 25, корп. 1, v.tishkov@mail.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия, i.sviridenko@mail.ru

Статья поступила 18.11.2021 г.; после доработки 22.11.2021 г.

Аннотация

Рассмотрены вопросы обеспечения безопасности разрабатываемой технологии по извлечению и кондиционированию радиоактивных битумных компаундов, хранящихся на АЭС России. Приведены основные расчетные показатели экспериментальной установки плавления битумного компаунда, выполнены измерения, подтверждающие безопасность её эксплуатации. Исследовано соответствие фактических измеренных параметров основным нормируемым показателям, характеризующим воздействие электромагнитных излучений сверхвысокочастотного диапазона на организм человека. Показано, что используемый в качестве защитного экрана металлический корпус установки обеспечивает необходимый уровень ослабления электромагнитного излучения.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, СВЧ-нагрев, плавление, радиоактивный битумный компаунд, защитный экран, безопасность.

Safety ensuring of the microwave heating technology application for radioactive bitumen compound melting

S.S. Bezotosnyi¹, V.N. Grigoryeva¹, V.F. Tishkov¹, D.V. Shevelyov¹,
I.I. Sviridenko²

¹All-Russian Research Institute for Nuclear Power Plants Operation,
Ferganskaya st., 25, Moscow, Russian Federation, 109507, v.tishkov@mail.ru

²Sevastopol State University, 33, Universitetskaja st., Sevastopol, 299053, Russia, i.sviridenko@mail.ru

Received 18.11.2021 y.; received in final form 22.11.2021 y.

Abstract

The safety assessment aspects analyzed of the developed technology for radioactive bitumen compounds extraction and conditioning, stored now on Russian NPP sites. The main calculated parameters given of the experimental installation for radioactive bitumen compound melting, and the measurements performed to approve the safety of its operation. The correspondence investigated of the measured parameters to the main standard ones, which limit the microwave radiation influence on the human body. Shown that the external metallic structures of the installation provide the sufficient level of microwave radiation attenuation.

Keywords: electromagnetic radiation, microwave heating, melting, radioactive bitumen compound, protective shield, safety.

Введение

В настоящее время большое внимание уделя-

ется технологиям переработки различных опасных отходов с применением сверхвысокочастот-

ных (СВЧ) электромагнитных излучений. Их использование является эффективной альтернативой используемым технологиям сжигания, нагрева, утилизации опасных и токсичных отходов. В ряде стран, в том числе и в России, разрабатываются и применяются СВЧ-установки переработки радиоактивных отходов, а также медицинских токсичных отходов.

В частности, с целью извлечения и кондиционирования радиоактивных битумных компаундов, хранящихся на ряде АЭС России, разрабатывается технология СВЧ-плавления для последующей переработки и удаления с территории АЭС отходов низкого и среднего уровня активности. Для реализации такой технологии спроектирована, изготовлена и проходит испытания экспериментальная установка, позволяющая в автоматизированном режиме осуществлять разогрев, плавление и извлечение битумных компаундов.

Помимо традиционных вредных и опасных производственных факторов, таких, как выбросы химических и биологических веществ, пыли и т.п. при переработке радиоактивных отходов СВЧ-излучением следует учитывать воздействие электромагнитного и электрического полей на организм человека. Именно эта составляющая выходит на передний план обеспечения безопасности, так как влияние остальных показателей в современных СВЧ-технологиях невелико, а некоторых – существенно ниже, чем в процессах сжигания.

В связи с этим, что вопросы обеспечения безопасности в условиях электромагнитного излучения является особо важными при внедрении в производство новых технологий СВЧ-разогрева, в процессе разработки установки извлечения и кондиционирования радиоактивных битумных компаундов большое внимание было уделено обеспечению безопасности при её эксплуатации.

Воздействие электромагнитных полей на организм человека изучалось, начиная с 60-х годов прошлого века. Имеются сведения об отрицательном воздействии сверхвысоких частот. По данным [1] при превышении некоторых пороговых значений может нарушаться работоспособность человека, ухудшается его память, рассеивается внимание, падает иммунитет, растет риск возникновения сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, снижается потенция у мужчин, увеличивается опасность генетических последствий.

Целью статьи является обоснование безопасности применения СВЧ-установки по извлечению и кондиционированию битумных компаун-

дов с точки зрения воздействия электромагнитного излучения на организм человека в диапазоне сверхвысоких частот.

Описание установки

Установка по плавлению и извлечению битумных компаундов состоит из следующих элементов (рис. 1):

- секции сборок магнетронов и волноводов с рупорным коническим излучателем;
- секции извлечения жидкого компаунда;
- секция блоков питания магнетронов;
- циркуляционной системы водяного охлаждения магнетронов.

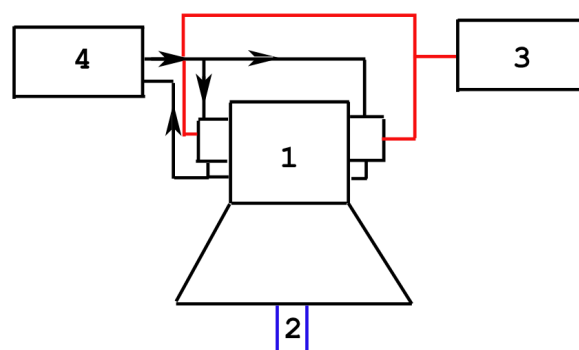


Рис. 1. Структурная схема установки по плавлению и извлечению битумных компаундов: 1 – секции сборок магнетронов и волноводов; 2 – секции извлечения жидкого компаунда; 3 – секция блоков питания магнетронов; 4 – циркуляционной системы водяного охлаждения магнетронов

Общий вид рупорного излучателя со сборкой волноводов и магнетронами изображен на рис. 2.

Коническая форма рупора выбрана для обеспечения возможности удобного монтажа на цилиндрическую бочку заданных размеров, а также исходя из технологических особенностей изготовления рупора, поскольку конус разворачивается на плоскость без геометрических искажений.

Изначально предполагалось изготовление излучающей системы с четырьмя волноводами, на каждом из которых установлен магнетрон с рабочей частотой 2,45 ГГц и единичной мощностью СВЧ-излучения 3 кВт в непрерывном режиме. В дальнейшем было установлено, что суммарной мощности СВЧ-излучения в 9 кВт вполне достаточно, а отсутствие одного волновода не приводит к ухудшению распределения полей под рупором. На рис. 3 показано сечение расчётной модели сборки конического рупорного излучателя с тремя волноводами вертикальной плоскостью $Z=0$.

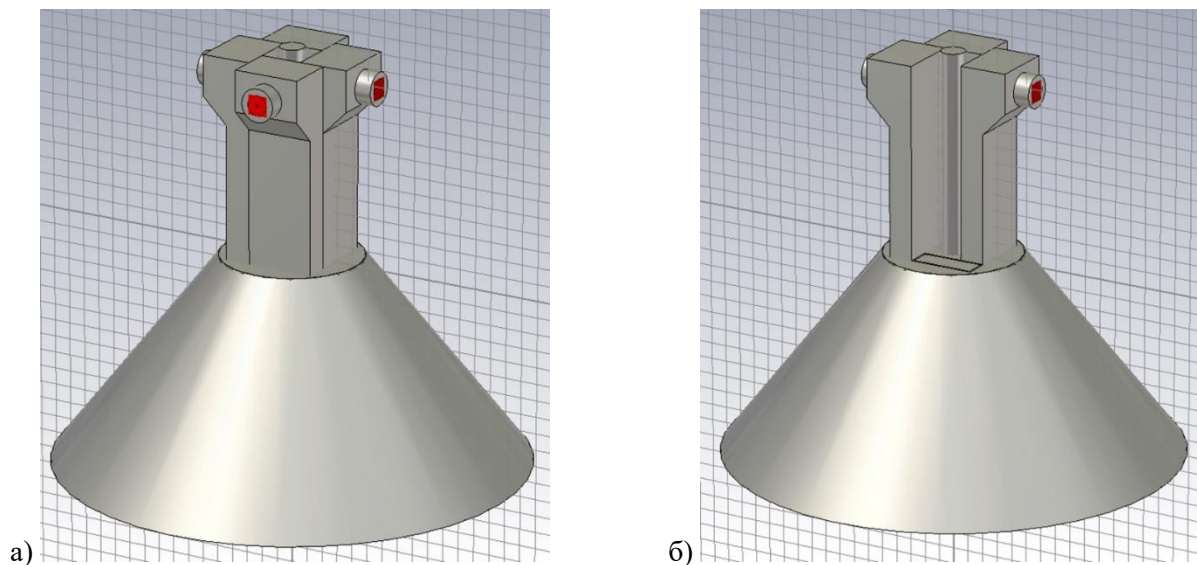


Рис. 2. Схематическое изображение вариантов рупорного излучателя со сборкой магнетронов:
а) – с четырьмя магнетронами; б) – с тремя магнетронами

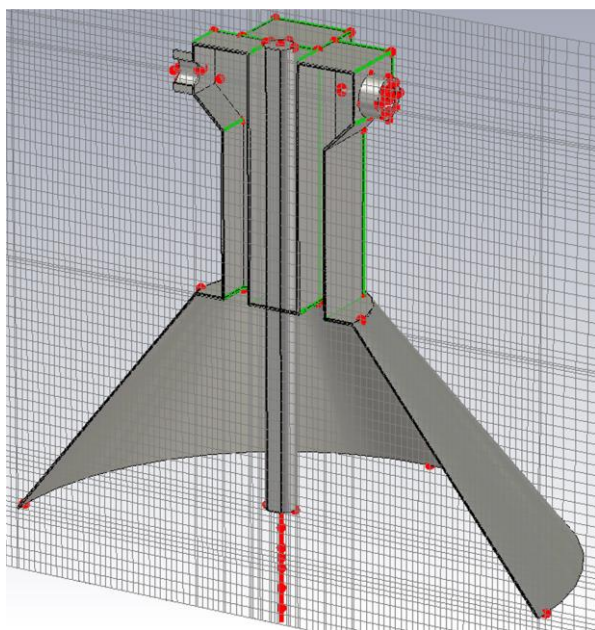


Рис. 3. Сечение расчётной модели сборки с тремя волноводами вертикальной плоскостью $Z=0$

Нормирование электромагнитных излучений

Основными документами, регламентирующими безопасность эксплуатации установок, работающих в СВЧ-диапазоне, являются [2-6, 9].

Согласно [2], для всех проектируемых установок, работающих с использованием СВЧ-излу-

чений, необходимо учитывать воздействие электрических и электромагнитных полей на обслуживающий персонал. Для рассматриваемой установки напряженность электростатического поля составляет менее 20 кВ/м, следовательно, время пребывания персонала не регламентируется и применение средств индивидуальной защиты не требуется. Аналогично, для электрического поля частоты 50 Гц предельно допустимый уровень напряженности в 5 кВ/м также не превышает в процессе работы. Остальные требования электробезопасности соответствуют [3].

В связи с этим необходимо оценить с точки зрения безопасной эксплуатации воздействие электромагнитного поля (ЭМП) в диапазоне частот от 300 МГц до 300 ГГц, так как рабочая частота установки составляет 2,45 ГГц.

В соответствии с [4] воздействие излучений СВЧ-диапазона относится к опасным и вредным производственным факторам. Для диапазона частот 300 МГц – 300 ГГц по требованиям СанПиН 2.2.4.3359-16 [2, п. 7.2.6] оценка и нормирование ЭМП производится по величине энергетической экспозиции (ЭЭ). Предельно допустимый уровень ЭЭ, рассчитанный через плотность потока энергии, составляет $200 \text{ (мкВт/см}^2\text{)} \cdot \text{ч}$.

Предельно допустимые уровни напряженности электромагнитного излучения (ЭМИ) радиочастотного (РЧ) и СВЧ диапазона в зависимости от продолжительности воздействия за смену представлены в табл. 1, а при непродолжительном воздействии, менее 0,2 ч – в таблице 2 [2].

Таблица 1. ПДУ энергетических экспозиций ЭМП диапазона частот ≥ 30 кГц - 300 ГГц

Параметр	ЭЭпду в диапазонах частот, МГц				
	$\geq 0,03 - 3,0$	$\geq 3,0 - 30,0$	$\geq 30,0 - 50,0$	$\geq 50,0 - 300,0$	$\geq 300,0 - 300000,0$
ЭЭЕ, (В/м) ² ·ч	20 000	7 000	800	800	-
ЭЭН, (А/м) ² ·ч	200	-	0,72	-	-
ЭЭППЭ, (мкВт/см ²)·ч	-	-	-	-	200

Таблица 2. Максимальные ПДУ напряженности и плотности потока энергии ЭМП диапазона частот ≥ 30 кГц - 300 ГГц

Параметр	Максимально допустимые уровни в диапазонах частот (МГц)				
	$\geq 0,03 - 3,0$	$\geq 3,0 - 30,0$	$\geq 30,0 - 50,0$	$\geq 50,0 - 300,0$	$\geq 300,0 - 300000,0$
Е, В/м	500	300	80	80	-
Н, А/м	50	-	3,0	-	-
ППЭ, мкВт/см ²	-	-	-	-	1 000 (5 000) *

* значение в скобках - для условий локального облучения кистей рук

Дальнейшее повышение интенсивности при уменьшении времени воздействия, менее чем 0,08 ч – для РЧ и менее 0,2 ч – для СВЧ, не допускается.

Расчет предельно допустимой плотности потока энергии выполнялся согласно [5], исходя из допустимой энергетической нагрузки и времени воздействия.

$$\text{ППЭ}_{\text{пд}} = K \frac{\text{ЭН}_{\text{ппэпд}}}{T},$$

где $\text{ППЭ}_{\text{пд}}$ – предельно допустимое значение плотности потока энергии, Вт/м² (мВт/см², мкВт/см²);

$\text{ЭН}_{\text{ппэпд}}$ – предельно допустимая величина энергетической нагрузки, равная 2 Вт·ч/м² (200 мкВт·ч/см²);

K – коэффициент ослабления биологической эффективности, равный:

1 – для всех случаев воздействия, исключая облучение от вращающихся и сканирующих антенн;

10 – для случаев облучения от вращающихся и сканирующих антенн с частотой вращения или сканирования не более 1 Гц и скважностью не менее 50;

T – время пребывания в зоне воздействия излучений за рабочую смену, ч.

Электромагнитное поле при распространении в изотропной однородной среде переносит определенное количество энергии, характеризующее ее плотностью ξ :

$$\xi = \frac{1}{2}(\varepsilon_0 \varepsilon E^2 + \mu_0 \mu H^2), \text{ Дж/м}^3,$$

где $\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi c^2} \cdot 10^7 \approx 8,854 \cdot 10^{-12}$ – абсолютная

диэлектрическая постоянная вакуума, Ф/м;

E и H – соответственно, напряженность электрического, В/м и магнитного полей, А/м;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – абсолютная магнитная постоянная вакуума, Гн/м;

c – скорость света в вакууме, м/с.

ε и μ – относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости среды.

Соответственно, плотность потока энергии определяется формулой:

$$P = \xi \cdot v, \text{ Вт/м}^2,$$

где v – групповая скорость распространения электромагнитных колебаний в рассматриваемой изотропной среде.

В случае воздуха, параметры ε и μ с высокой степенью точности равны единице, а $v = c$.

В соответствии с требованиями [5] электромагнитное поле (ЭМП) в диапазоне частот 60 кГц – 300 МГц должно оцениваться по напряженностям его составляющих, а в диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц – только по плотности потока энергии. Во всех случаях максимальное значение $\text{ППЭ}_{\text{пд}}$ не должно превышать 10 Вт/м² (1 мВт/см²).

В соответствии с [2, 6] для измерений характеристики ЭМП использовался прибор TZ-5000E EMF Tester.

Средства и способы защиты от воздействия ЭМП

В соответствие со ст. 11 Федерального закона № 52-ФЗ [8], необходимо предусмотреть ряд защитных мероприятий, а именно, согласно [9, п.

4.48]:

- сокращение продолжительности и/или интенсивности воздействия ЭМИ на работающего;
- замена оборудования с целью снижения электромагнитного фона;
- уменьшение эмиссии ЭМП;
- размещение персонала в местах минимального воздействия ЭМИ и постоянного магнитного поля;
- дистанционное управление;
- экранирование рабочих мест;
- использование средств индивидуальной защиты (СИЗ).

Для условий эксплуатации опытно-промышленной установки наиболее приемлемыми представляются два последних мероприятия.

Применение защитных экранов практически полностью исключает проникновение ЭМИ за его пределы. Экраны могут быть изготовлены из самых разнообразных материалов.

Помимо традиционных металлических, изготовленных, как правило, из стали, меди или алюминия, в последнее время проведено множество изысканий по подтверждению экранирующих свойств строительных материалов, полимеров, тканей, диэлектриков и т.п. [10].

Эффективность применения экрана определяется коэффициентом ослабления ЭМП и зависит от различных факторов: материала, из которого изготовлен экран, толщины экрана, его геометрических параметров, перфорации, состава (один или несколько слоев) и т.п. При этом особое внимание следует уделить проблеме возможного нагрева экрана за счет наведенных токов и, как следствие, потери мощности.

При расчёте средств защиты от ЭМ-излучений используют основные формулы и определения, приведенные ниже.

Определение плотности потока энергии из-

лучения q_{Φ} известной мощности P на рабочем месте, удаленном от источника излучения малых по сравнению с l_{Φ} размеров на расстоянии l_{Φ} , выполнялось по формуле:

$$q_{\Phi} = \frac{P}{4\pi \cdot l_{\Phi}^2}, \text{ Вт/м}^2,$$

где P – мощность источника излучения, Вт;

l_{Φ} – расстояние между источником излучения и рабочим местом, м.

Допустимая плотность потока энергии рассчитывалась по формуле:

$$q_{\text{доп}} = \frac{EH_{\text{нл}}}{\tau}, \text{ Вт/м}^2,$$

где $EH_{\text{нл}}$ – предельно допустимая величина энергетической нагрузки ($EH_{\text{нл}} = 2 \text{ Вт} \cdot \text{ч/м}^2$);

τ – время пребывания в зоне облучения за рабочую смену, ч.

Зачастую для уменьшения воздействия ЭМП рабочее место целесообразно перенести на некоторое расстояние от источника излучения, которое рассчитывается по формуле

$$r_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{P}{4\pi q_{\text{доп}}}}, \text{ м.}$$

Уровень ослабления интенсивности облучения, дБ, определялся из выражения:

$$L = 10 \lg \left(\frac{q_{\Phi}}{q_{\text{доп}}} \right).$$

Традиционно для экранов применяют материалы с большой электропроводностью. Толщина экрана δ , мм определяется по формуле

$$\delta = \frac{L}{\sqrt{\pi \mu_0 \nu f}},$$

где μ_0 – абсолютная магнитная проницаемость, Гн/м;

ν – удельная электропроводность экрана, Ом⁻¹·м⁻¹;

f – частота, МГц.

Магнитная проницаемость материалов, наиболее часто используемых для экранирования, приведена в табл. 3.

Таблица 3. Магнитная проницаемость различных материалов

Характеристика	Алюминий	Сталь	Медь
Абсолютная магнитная проницаемость материала экрана μ_0 , Гн/м	$4 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-7}$
Удельная электропроводность экрана ν , Ом ⁻¹ ·м ⁻¹	$3,55 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^7$	$5,7 \cdot 10^7$

Свойства магнитного поля определяются его частотой. Степень или глубину проникновения ЭМП в материал экрана рассчитывают из выражения:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\mu \sigma \pi f}},$$

где μ – абсолютная магнитная проницаемость материала экрана, Гн/м;

σ – удельная проводимость материала экрана, Ом/м;

f – частота, Гц.

С возрастанием величины $\mu\sigma f$ уменьшается глубина проникновения поля в материал экрана, уменьшая тем самым его толщину.

Выбор средств индивидуальной защиты в каждом конкретном случае должен выполняться в соответствии с [11, 12] и отвечать требованиям Технического регламента Таможенного Союза «О безопасности средств индивидуальной защиты» ТР ТС 019/2011.

Согласно [12], все экранирующие элементы комплекта, включающего комбинезон (костюм), средства защиты рук, ног, головы и лица, должны быть выполнены из электропроводящих материалов. Их коэффициент экранирования должен быть не менее 30 дБ в рабочем диапазоне радиочастот.

Электрическое сопротивление материала комплекта не должно превышать 10 Ом.

Помимо этого, при интенсивности облучения свыше 0,1 мВт/см² должны использоваться специальные защитные очки, главным образом, для кратковременных экспериментальных исследований с большими интенсивностями облучения.

Результаты измерений

Для защиты персонала во время работы установки были смонтированы защитные экраны из листового металла, выполняющие функции общего корпуса.

Результаты измерения напряжённости электрического поля и индукция магнитного поля вблизи установки приведены в таблице 4.

Таблица 4. Напряжённость электрического поля и индукция магнитного поля вблизи установки

Состояние / Режим	20 см от магнетронов		1 м от блока управления		3 м от установки	
	Е, В/м	В, мкТ/м	Е, В/м	В, мкТ/м	Е, В/м	В, мкТ/м
Отключена	0	0	0	0	0	0
Подача питания магнетронов, не экранирована	127	>10	12	5,86	2	1,28
Запуск магнетронов, не экранирована	562	>10	59	>10	5	8,95
Работа, не экранирована	142	>10	17	>10		9,74
Подача питания магнетронов, экранирована	н/д	н/д	0	2,49	0	
Запуск магнетронов, экранирована	н/д	н/д	0	2,87	0	1,38
Работа, экранирована	н/д	н/д	0	2,12	0	1,21

Примечание: н/д – нет данных, установка с магнетронами закрыта экранами

Таким образом, в соответствии с [3], плотность потока энергии на расстоянии, не менее 1 м от установки не превышает предельно допустимого значения 10 Вт/м².

Нахождение же на расстоянии в 20 см или менее от магнетронных генераторов при их работе исключено использованием защитных ограждений, не допускающих случайного прикосновения персонала к элементам цепей высоковольтного питания.

Приведенное выше обоснование, а также то, что принцип действия рассмотренной установки и ее конструкция предусматривает обязательное использование внешнего металлического экрана, позволяет сделать заключение, что ее

эксплуатацию можно считать безопасной.

Выводы

На основании выполненного анализа нормативно-законодательной базы в области обеспечения безопасности использования электромагнитных излучений СВЧ-диапазона были выполнены необходимые расчеты, результаты которых позволяют утверждать, что для экспериментальной установки по плавлению и извлечению битумных компаундов защитным экраном, ослабляющим воздействие электромагнитного излучения, может служить её металлический корпус.

Учитывая то, что с увеличением частоты электромагнитного поля уменьшается глубина его проникновения, корпус из стали толщиной 2

мм и защитное внешнее ограждение-экран из листовой стали толщиной 0,8 мм полностью устраняет негативное воздействие на обслуживающий персонал.

Полученные расчетные данные подтверждены посредством выполнения измерений в нескольких точках на различных расстояниях от корпуса установки.

Список литературы

1. Одинаев Ф.И. Электромагнитные излучения и здоровье человека / Ф.И. Одинаев, Ш.Ф. Одинаев, Ш.И. Шафиев, С.В. Шутова // Вестник ТГУ, 2015. – Т. 20. – Вып. 6. – С. 1714-1717.
2. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Утв. постановлением гл. госуд. санитарного врача РФ от 21 июня 2016 года № 81. – Введ. 01.01.2017.
3. ГОСТ 12.1.038-82*. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов». – Введ. постановлением Госстандарта СССР от 30.07.1982 № 2987.
4. ГОСТ 12.0.003-2015. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Введ. 01.03.2017.
5. ГОСТ 12.1.002-84. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Электрические поля промышленной частоты. – Введ. -01.01.1986.
6. ГОСТ 12.1.006-84. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. – Введ. 01.01.1986.
7. Определение плотности потока энергии электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц / Госкомсанэпиднадзор России. – М., 2002. – 66 с.
8. Федеральный закон № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (с изменениями и дополнениями) от 30 марта 1999 г.
9. СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда». Постановление от 02.12.2020 № 40.
10. Пальцев Ю.П., Походзей Л.В., Рубцова Н.Б., Перов С.Ю., Белая О.В. Современные принципы и средства защиты работников от неблагоприятного воздействия электромагнитных полей радиочастотного диапазона Hygiene & Sanitation (Russian Journal), 2017. – 96(5). – С. 451-455.
11. Методические рекомендации Главного государственного санитарного врача России от

17.05.2021 № МР 2.2.0244-21 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.glavbukh.ru/npd/edoc/97488554> (дата обращения: 17.07.2020).

12. ГОСТ 12.4.305-2016. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Комплект экранирующий для защиты персонала от электромагнитных полей радиочастотного диапазона. – Введ. 01.09.2017.

References

1. Odinaev F.I. Jelektromagnitnye izluchenija i zdorov'e cheloveka / F.I. Odinaev, Sh.F. Odinaev, Sh.I. Shafiev, S.V. Shutova // Vestnik TGU, 2015. – T. 20. – Vyp. 6. – S. 1714-1717.
2. SanPiN 2.2.4.3359-16. Canitarno-jepidemiologicheskie trebovanija k fizicheskim faktoram na rabochih mestah. Sanitarno-jepidemiologicheskie pravila i normativy. Utv. Postanovleniem gl. gosud. sanitarnogo vracha RF ot 21 ijunja 2016 goda № 81. – Vved. 01.01.2017.
3. GOST 12.1.038-82*. Mezhgosudarstvennyj standart. Sistema standartov bezopasnosti truda. Jel'ektrobezopasnost'. Predel'no dopustimye znachenija naprjazhenij prikosnovenija i tokov». – Vved. postanovleniem Gosstandarta SSSR ot 30.07.1982 № 2987).
4. GOST 12.0.003-2015. Mezhgosudarstvennyj standart. Sistema standartov bezopasnosti truda. Opasnye i vrednye proizvodstvennye faktory. Klassifikacija. – Vved. 01.03.2017.
5. GOST 12.1.002-84. Mezhgosudarstvennyj standart. Sistema standartov bezopasnosti truda. Jelektricheskie polja promyshlennoj chastoty. – Vved. 01.01.1986.
6. GOST 12.1.006-84. Mezhgosudarstvennyj standart. Sistema standartov bezopasnosti truda. Jelektromagnitnye polja radiochastot. Dopusti-mye urovni na rabochih mestah i trebovanija k provedeniju kontrolja. – Vved. 01.01.1986.
7. Opredelenie plotnosti potoka jenerгии jelektro-magnitnogo polja v mestah razmeshhenija radio-sredstv, rabotajushhijh v diapazone chastot 300 MGc – 300 GGc / Goskomsanjepidnadzor Rossii. – M., 2002. – 66 s.
8. Federal'nyj zakon № 52-FZ «O sanitarno-jepidemiologicheskom blagopoluchii naselenija» (s izmenenijami i dopolnenijami) ot 30 marta 1999 g.
9. SP 2.2.3670-20 «Sanitarno-jepidemiologicheskie trebovanija k uslovijam truda». Postanovlenie ot 02.12.2020 № 40.
10. Pal'cev Ju.P., Pohodzej L.V., Rubcova N.B., Perov S.Ju., Belaja O.V. Sovremennye principy i sred-stva zashhity rabotnikov ot neblagoprijatnogo vozdejst-vija jelektromagnitnyh polej radiocha-stotnogo dia-pazona. Hygiene & Sanitation (Russian Journal), 2017. – 96(5). – S. 451-455.
11. Metodicheskie rekomendacii Glavnogo gosudar-stvennogo sanitarnogo vracha Rossii ot 17.05.2021

№ МР 2.2.0244-21 [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://www.glavbukh.ru/npd/edoc/97488554> (accessed:: 17.07.2020).

12. GOST 12.4.305-2016. Mezhgosudarstvennyj standart. Sistema standartov bezopasnosti truda. Komplekt jekranirujushhij dlja zashhity personala ot jelektromagnitnyh polej radiochastotnogo diapazona. – Vved. 01.09.2017.

ISSN 2413-5526

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
«ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ТЕХНОЛОГИИ»
Том 7 № 4**

**SCIENTIFIC MAGAZINE
«POWER PLANTS AND TECHNOLOGIES»
Vol. 7 No 4**

Учредитель и издатель:
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
ул. Университетская, 33. Севастополь, 299053, Российская Федерация

Адрес редколлегии:
ИЯЭиП, ул. Курчатова, 7. Севастополь, 299015, Российская Федерация
E-mail nauchnyyzhurnal@mail.ru
тел. +7(8692) 71-01-64.

Редакция не несет ответственности за нарушение авторами исключительных прав на результаты интеллектуальной деятельности третьих лиц. Мнения, высказываемые авторами в публикуемых статьях, не всегда совпадают с мнением редакции. При перепечатке материалов ссылка на научный журнал «Энергетические установки и технологии» обязательна.

Научный журнал «Энергетические установки и технологии» издается в авторской редакции.

Компьютерная верстка: *Е.А. Нестерова.*

Подписано к печати 20.12.2021. Изд. № 26/21. Зак. 30/21. Тираж 65 экз.
Объем 11 п.л. Усл. печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 10,02. Формат бумаги 60 x 84 1/8

РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»