

Секция «Строительство. Экология. Транспорт»

УДК 697.7

**ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ
В ЗДАНИЯХ С ЛУЧИСТЫМИ СИСТЕМАМИ ОТОПЛЕНИЯ НА БАЗЕ
ИНФРАКРАСНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ**

А.А. Смыков, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет
(Нижний Новгород, Россия), e-mail: aleksandrsmyskov@gmail.com

Аннотация. Проведены исследования по тепловому и температурному режиму наружных ограждающих конструкций под воздействием инфракрасного излучения. Проведены численный и натурный эксперименты. Проведена оценка точности существующих методов расчета теплофизических характеристик наружных ограждающих конструкций в зданиях с системами отопления на базе инфракрасных излучателей.

Ключевые слова: теплофизика; ограждение; отопление; инфракрасное излучение; лучистое отопление; излучатель.

**THERMAL REGIME OF EXTERNAL ENCLOSING CONSTRUCTIONS IN
BUILDINGS WITH LUMID HEATING SYSTEMS BASED ON INFRARED
RADIATORS**

Abstract. The author presents the study of heat and temperature outer enclosing structures under the influence of infrared radiation. Numerical and field experiments are provided. The study provides the evaluation of accuracy of existing methods of calculation of thermophysical characteristics of external enclosing constructions in buildings with heating systems based on the infrared emitters.

Keywords: thermophysics; enclosure; heating; infrared-radiation; radiant heating; radiator.

В настоящее время в связи с выходом Федерального закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» поставлена задача снижения энергозатрат на отопление производственных зданий. В современных условиях промышленного производства зачастую только малая часть площадей цехов используется для работы оборудования, обслуживаемого персоналом, и, следовательно, требует поддержания определенного теплового режима. В системах отопления на базе ИИ подача теплоты в рабочую зону осуществляется направленным тепловым излучением, инфракрасное излучение нагревает непосредственно поверхность кожи людей, животных. Так как воздух не поглощает инфракрасное излучение, а лишь рассеивает его, то большая часть энергии аккумулируется в приповерхностных слоях ограждающих конструкций и затем используется для формирования конвективных потоков, обеспечивающих нагрев воздуха рабочей зоны. Перспективность использования инфракрасных излучателей (ИИ) достаточно очевидна [1].

Нами было проведено исследование температурного режима наружных ограждающих конструкций в зданиях с системами отопления на базе ИИ, в результате которого были получены диаграммы, где наглядно показано различие температурного режима в случаях с применением систем конвективного и лучистого отопления.

В качестве начальных условий было принято, что $W_{\text{общ}} = 5000, 10000, 20000$ Вт; $l_{\text{общ}} = 5$ м; $l_{\text{точ}} = 0,1$ м (равно диаметру трубопровода исходного ИИ); $K = 0,33$ Вт/м²°С; значения радиуса r и угла φ варьируются в зависимости от параметров помещения; было принято, что высота помещения $H = 10$ м, расстояние от ИИ до ближайшей стены $l = 5, 10$ м.

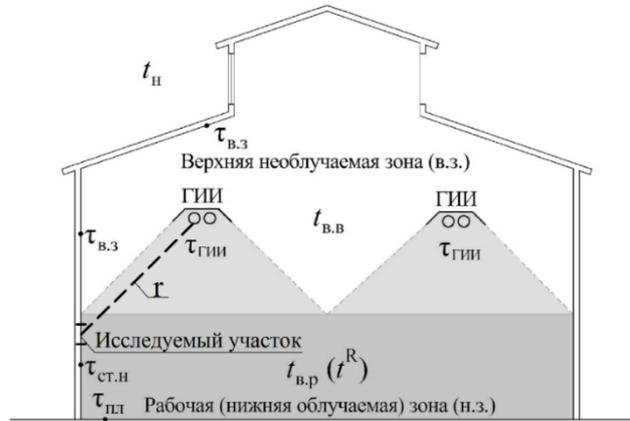


Рис. 1. Температурный режим в помещении при лучистом отоплении (вариант с «темными» газовыми ИИ)

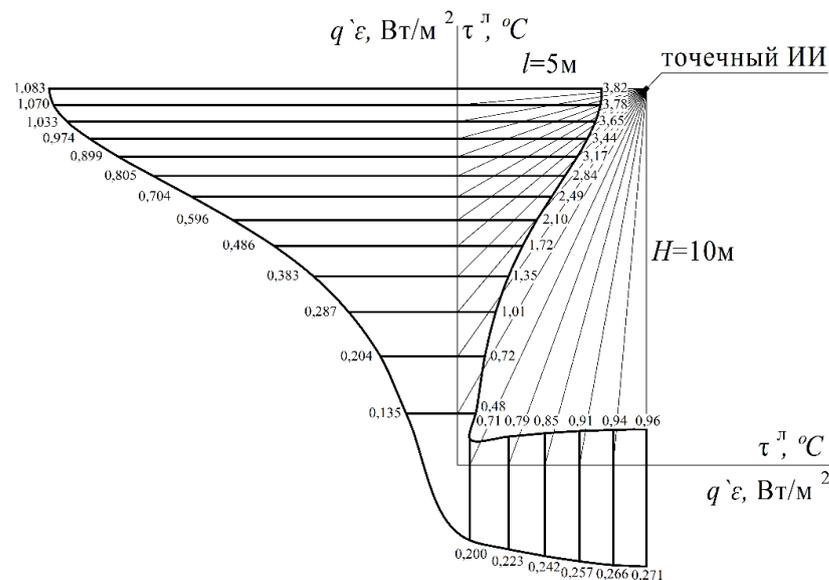


Рис. 2. Графическое представление результатов теоретического исследования теплового и температурного режимов наружной ограждающей конструкции на основе зависимостей, приведенных в [3] (мощность излучателя $W_{\text{общ}} = 20$ кВт, $l = 5$ м)

На базе ФГБОУ ВПО «ННГАСУ» и лаборатории кафедры отопления и вентиляции нами был произведен натурных опыт. В качестве ИИ для проведения эксперимента был выбран бытовой инфракрасный обогреватель марки ScarlettSC-250, с номинальной мощностью излучателя 0,9 кВт. В качестве измерительной аппаратуры использовались: для определения температуры в данной точке наружной ограждающей конструкции $\tau^п$ - прибор «Теплограф»,

для определения температуры воздуха в помещении $t_{в.п}$ и на улице $t_{н}$ – термоанемометр марки СЕМ DT-318.

В результате проведенного натурального опыта были получены результаты по температурному режиму наружной ограждающей конструкции до облучения и после, эти данные приведены на рис. 3.

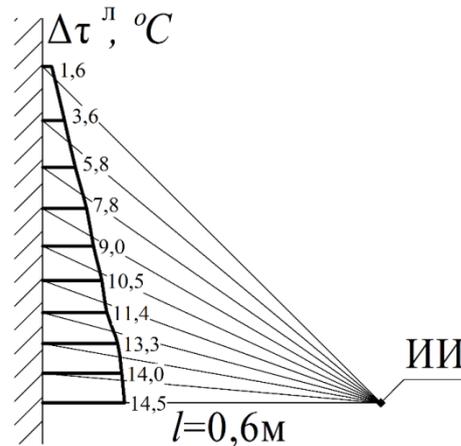


Рис. 3. Графическое представление результатов натурального опыта ($r = 0,6 \text{ м}$)

Закключение. Проведено теоретическое и экспериментальное исследование теплового и температурного режимов наружных ограждающих конструкций в зданиях с лучистыми системами отопления. Проведен теоретический подсчет количества поглощаемой энергии облученной поверхности при различных геометрических характеристиках помещения и различных мощностях ИИ. Также проведен теоретический подсчет и практическое исследование влияния облучения на изменение температурного режима облученной наружной ограждающей конструкции.

По результатам исследования можно сделать следующий вывод: температура облученной поверхности в зданиях с лучистым отоплением будет заведомо выше, чем температура окружающего воздуха, хотя при расчете по общепринятой методике [2] температура поверхности принимается ниже температуры воздуха.

Литература:

1. Бодров В.И., Смыков А.А. Теплофизические характеристики теплового контура зданий с газовыми инфракрасными излучателями // Сантехника, отопление, кондиционирование, энергосбережение. 2014. №7(151). С. 52-55.
2. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1982. 415 с.
3. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: Машиностроение, 1980. 320 с.

References:

1. Bodrov V.I., Smykov A.A. Teplofizicheskie harakteristiki teplovogo kontura zda-nij s gazovymi infrakrasnymi izluchateljami // Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie, jenergoberezenie. 2014. №7(151). S. 52-55.
2. Bogoslovskij V.N. Stroitel'naja teplofizika (teplofizicheskie osnovy otoplenija, ventiljacii i kondicionirovanija vozduha): Uchebnik dlja vuzov. 2-e izd., pererab. i dop. M.: Vysshaja shkola, 1982. 415 s.
3. Miheev M.A., Miheeva I.M. Osnovy teploperedachi. M.: Mashinostroenie, 1980. 320 s.



Сведения об авторе

Александр Анатольевич **Смыков**, магистрант, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (Нижний Новгород, Россия).



Секция «Строительство. Экология. Транспорт»

УДК 574

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗА ЦВЕТЕНИЯ ВОДОЁМОВ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ¹

А.В. Иванов, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (Нижний Новгород, Россия).

С.М. Гусейнова, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (Нижний Новгород, Россия), e-mail: guseinova.sayad2011@yandex.ru

Аннотация. В числе наиболее распространенных негативных последствий влияния хозяйственной деятельности человека на водные объекты можно выделить повсеместное «цветение» водоёмов. Для своевременного реагирования на пагубные процессы цветения и возможности его прогнозирования необходимо получение достоверной информации о концентрации цианобактерий и водорослей, а также об их биопродуктивности. Разработанный в ходе исследования комплекс включает в себя метеорологическую станцию Davis Instruments, датчик для измерения профиля температуры CTD-зонд, диск Secchi, пробоотборник, ноутбук с программным обеспечением, микроскоп с цифровой камерой и набор устройств для оцифровки и передачи информации на сервер. Результаты исследований с применением указанного оборудования свидетельствуют о том, что предложенная система позволяет оценить не только фактическую концентрацию цианобактерий и их распределение в толще воды, но и прогнозируемую.

Ключевые слова: мониторинг окружающей среды, стратификация, качество воды, планктон, цианобактерии.

DEVELOPMENT OF WATER BLOSSOM EVALUATION AND FORECAST SYSTEM BASED ON HYDROPHYSICAL PARAMETERS MEASUREMENTS

Abstract. Ubiquitous algae bloom is one of the unfolded negative consequences of the influence of human economic activity on water bodies. Obtaining reliable information on the concentration and bioproductivity of cyanobacteria and algae is necessary for prompt response to current and predicted harmful processes of blooming. The equipment developed for the integrated research includes a meteorological station Davis Instruments, a sensor for measuring the temperature profile of a CTD probe, a Secchi disk, a sampler, a laptop with software, a microscope with a digital camera, and a set of devices for digitizing and transmitting information to the server. The results of studies indicate that the equipment allows estimating the actual and predicted concentration of cyanobacteria and their distribution in the water layers.

Keywords: environmental monitoring, water quality, stratification, plankton, cyanobacteria.

Цветение водоемов является одной из наиболее острых экологических проблем последних десятилетий [1]. В теплые месяцы краткосрочное увеличение концентрации цианобактерий в водоемах является естественным природным явлением, однако под влиянием

¹ Работа выполнялась при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проекту №15-45-02580 «Разработка биогидрометеорологической модели озерной части равнинных водохранилищ на основе сопряженных численных моделей (на примере Горьковского водохранилища)».

антропогенных факторов распространение цианобактерий в водоемах принимает все более масштабный характер и приводит к нарушению естественного баланса в водных экосистемах. К вызывающим цветение антропогенным факторам относится увеличение объемов поступления в водоем биогенных веществ, в частности нитратов и фосфатов, нарушение естественного движения и перемешивания воды. Рост биомассы и увеличение доли токсичных цианобактерий приводит к массовым заморам рыб, гибели млекопитающих, нарушению процесса самоочищения водоемов. Под угрозой оказывается безопасность рекреационной деятельности на цветущих водоёмах, а потребление рыбы и питьевой воды из таких источников представляет опасность для человека. Все вышеперечисленное обуславливает актуальность тематики исследования.

Одной из основных антропогенных причин активизации деятельности цианобактерий является сброс в поверхностные водоемы больших объемов фосфатов и нитратов с бытовыми, промышленными и сельскохозяйственными сточными водами [3]. Однако заметную роль в распределении цианобактерий в толще воды и изменении их концентрации играют также гидрофизические параметры, в частности перемешивание вод и температурная стратификация [2].

Для прогнозирования цветения водоемов и обеспечения принятия своевременных управленческих решений необходима эффективная система онлайн-мониторинга [3].

В ходе исследования на протяжении 2-х лет в летние и осенние месяцы на Горьковском водохранилище отбирались пробы воды на разной глубине от 0 до 8 метров. Для измерения профиля температуры воды использовался STD-зонд, для измерения прозрачности – диск Секки. Пробы воды анализировались с помощью цифрового микроскопа, обнаруженные водоросли идентифицировались по определителям. Концентрация хлорофилла подсчитывалась по формуле Оливье Бернара в зависимости от температуры и прозрачности.

Распределение температуры рассчитывается с помощью одномерной термодинамической модели водоема Lake, которая позволяет рассчитать температуру поверхности водоема на основе данных метеорологических величин в приземном слое. Применение программы в дальнейшем позволит производить обработку объемных массивов данных и строить температурные профили с учетом специфики конкретного водоема.

Было отобрано около 50 проб воды, в которых было идентифицировано более 15 видов зеленых, диатомовых водорослей и цианобактерий.

По результатам измерений STD-зондом были построены графики изменения температуры воды с глубиной для всех дней, когда проводился отбор проб.

В результате исследования в пробах воды из водохранилища, взятых в конце июня, июле и августе, были обнаружены многочисленные экземпляры водорослей и цианобактерий. В начале июня и в сентябре в пробах были обнаружены лишь некоторые представители диатомовых, такие как *Melosiravariansi* *Melosiraitalica*, не вызывающие цветения воды. В летний период были обнаружены особо токсичные виды цианобактерий рода *Anabaenan* *Microcystis*, а также токсичные представители зелёных водорослей (*Scenedesmusquadricauda* и др.), выделяющие губительные для рыб и млекопитающих нейро- и гепатотоксины.

Измеренные гидрофизические параметры позволили рассчитать концентрацию хлорофилла и оценить изменение его значений с глубиной для всех обнаруженных водорослей.

Установлено доминирование определенных водорослей в разных слоях водной толщи, в ходе повторных исследований подтверждены ранее полученные данные о влиянии на распространение водорослей в водной толще устойчивой температурной стратификации.

Экспериментально установлена зависимость прозрачности воды от температуры верхнего перемешанного слоя, которая в свою очередь определяет значение концентрации хлорофилла.

Таким образом, измерения таких гидрофизических параметров, как температура и прозрачность воды, в комплексе с расчетом концентрации хлорофилла позволяют оценить не только фактическую концентрацию цианобактерий и их распределение в толще воды, но и прогнозируемую. Подача полученных данных по измерениям на сервер обеспечит онлайн-мониторинг водоемов и позволит на основе прогнозов грамотно принять управленческие решения по борьбе с цветением в каждом конкретном случае.

Литература:

1. Колмаков В.И. Токсичное «цветение» воды континентальных водоемов: глобальная опасность и методы ликвидации // Электронные курсы СФУ. 2006. URL: <http://www.study.sfu-kras.ru/mod/resource/view.php?id=1691>.

2. Иванов А.В., Троицкая Ю.И., Папко В.В., Сергеев Д.А., Байдаков Г.А., Вдовин М.И., Казаков В.И., Кандауров А.А., Афанасьева И.М., Донскова О.В., Шувалова Н.М. Стратификация как фактор влияния на качество вод равнинного водохранилища // Приволжский научный журнал. 2015. № 2 (34). С. 149-156.

3. Ivanov A., Guseinova S. Online monitoring of water quality in the lake type reservoir based on in situ measurements, assessment and forecast //16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, www.sgem.org, SGEM2016 Conference Proceedings. 2016. Book 3. Vol. 1. P. 537-544.

4. Sivonen K., Jones G. Cyanobacterial toxins. Toxic cyanobacteria in water – a guide to their public health consequences, monitoring and management. London: E. & F.N. Spon, 1999. P. 41–111.

References:

1. Kolmakov V.I. Toksichnoe «cvetenie» vody kontinental'nyh vodoemov: global'naja opasnost' i metody likvidacii // Jelektronnye kursy SFU. 2006. URL: <http://www.study.sfu-kras.ru/mod/resource/view.php?id=1691>.

2. Ivanov A.V., Troickaja Ju.I., Papko V.V., Sergeev D.A., Bajdakov G.A., Vdovin M.I., Kazakov V.I., Kandaurov A.A., Afanas'eva I.M., Donskova O.V., Shuvalova N.M. Stratifikacija kak faktor vlijaniya na kachestvo vod ravninnogo vodohranilishha/ // Privolzhskij nauchnyj zhurnal. 2015. № 2 (34). S. 149-156.

3. Ivanov A., Guseinova S. Online monitoring of water quality in the lake type reservoir based on in situ measurements, assessment and forecast //16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, www.sgem.org, SGEM2016 Conference Proceedings. 2016. Book 3. Vol. 1. P. 537-544.

4. Sivonen K., Jones G. Cyanobacterial toxins. Toxic cyanobacteria in water – a guide to their public health consequences, monitoring and management. London: E. & F.N. Spon, 1999. P. 41–111.



Сведения об авторах

Саяд Мухтаровна **Гусейнова**, учебный мастер, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (Нижний Новгород, Россия).

Александр Владимирович **Иванов**, кандидат технических наук, доцент кафедры Инженерно-экологических систем и технологий и кафедры ЮНЕСКО, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (Нижний Новгород, Россия).

Секция «Технические науки»

УДК 004.9

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛЕМЕНТОВ РЯДОВ ФАКТОРИАЛЬНЫХ МНОЖЕСТВ В ПРОЦЕССЕ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

И.А. Мартынова, Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова (Москва, Россия), e-mail: martina1204@yandex.ru

Д.В. Сплюхин, Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (Саров, Россия), e-mail: denisio13@yandex.ru

Аннотация. Цель данной работы – проведение комплексного анализа основных характеристических свойств элементов рядов факториальных множеств для изучения модели поведения элементов в процессе защиты информационных систем. В ходе выполнения работы выбраны и описаны характеристические свойства элементов рядов факториальных множеств, такие как: цикличность, классификация, транспозиционность, четность, декрементность. Также разработана программная среды анализа рядов факториального множества, работающая в нескольких режимах расчета. Прикладным значением работы является использование в качестве ключевой информации многофакторной аутентификации объектов информатизации характеристических свойств элементов ряда факториальных множеств.

Ключевые слова: защита информации, ряд факториального множеств, декрементность, транспозиционность, цикличность, классификация, четность, факториальная систем счисления.

ANALYSIS OF MAIN CHARACTERISTIC PROPERTIES OF ROW ELEMENTS OF FACTORIAL SETS IN THE COURSE OF INFORMATION SYSTEMS PROTECTION

Abstract. The purpose of this work is to carry out a complex analysis of the main characteristic properties of elements of series of factorial sets for studying the model of the behavior of elements in the process of protecting information systems. In the course of the work, the characteristic properties of the elements of the series of factorial sets are chosen and described, such as cyclicity, classification, transposition, parity, decrement. a software environment for analyzing series of factorial sets, working in several calculation modes is developed as well. The applied value of the work is the use of objects of informatization of the characteristic properties of elements of a number of factorial sets as a key information of multifactorial authentication.

Keywords: information protection, number of factorial sets, decrementality, transposition, cyclicity, classification, parity, factorial number systems.

Основными факторами, определяющими современный этап развития в нашей стране как «информационный век», являются беспрецедентный темп развития и масштабность процессов информатизации. Информация на этом этапе становится ценнейшим ресурсом, а информационные технологии — важнейшей составляющей социально-экономического развития.

Внедрение современных информационных и телекоммуникационных технологий в деятельность предприятий значительно повышает оперативность, а в необходимых случаях и конфиденциальность прохождения управленческих решений до каждого звена системы управления на предприятии, а также обеспечивает результативность выполнения задач в области информационной деятельности. В то же время активное развитие информатизации на предприятии и обусловленный этим процессом значительный рост информационных активов, в том числе конфиденциального характера, требует принятия адекватных и своевременных решений по наращиванию потенциала системы защиты информации в области противодействия угрозам информационной безопасности.

Для адаптации систем управления к новым требованиям по оперативности и конфиденциальности обеспечения безопасности данных в информационных системах с использованием современных математических преобразований, которые основываются на взаимно-обратимых биекциях конечного множества E . Упорядоченное множество, состоящее из всех n элементов E и имеющее общее количество элементов $n!$, называется рядом факториальных множеств. Использование рядов факториальных множеств в процессах защиты информационных систем обеспечивает формирование научно-методологического базиса повышения эффективности решения задач защиты информации в виде совокупности методов анализа классической теории систем, предусматривающих непосредственное участие в фундаментальном процессе принятия решений.

Рассмотрим основные характеристические свойства элементов рядов факториальных множеств. Цикличность – это свойство, описывающее все элементы заданного ряда факториального множества, начиная с некоторого $a_i \in E_k$ и возвращающегося в него. Например, ряд 6741253 – обладает полной цикличностью, так как, начиная с первого элемента ряда, возвращаемся в него же проходя все элементы, а ряд 4762351 – состоит из двух циклов (1427) (365).

Классификация – свойство, описывающее классы эквивалентности ряда факториального множества согласно цикловой структуре. Ряд факториального множества образует класс $(k) = (k_1, k_2, \dots, k_n)$, если для каждого ряда факториального множества из этого подмножества число 1-циклов равно k_1 , число 2-циклов равно k_2 , ..., число n -циклов равно k_n .

Транспозиционность – это свойство, характеризующее ряд факториального множества из класса $(n-2, 1, 0, \dots, 0)$, то есть два элемента переставляются между собой, не меняя расположения остальных.

Четность – это свойство, определяющее четность числа транспозиций, на которые раскладывается ряд факториального множества.

Декрементность – свойство, описывающее разность числа всех индексов ряда факториального множества и количества циклов, включая циклы единичной длины.

Оперируя данными свойствами, в дальнейшем можно описывать концептуальные особенности задания рядов факториального множества и применять их в теоретических основах построения систем защиты информации.

Классификация основных характеристических свойств элементов рядов факториального множества представлена на рисунке 1.

Предложенные характеристические свойства рядов факториального множества позволяют использовать построенный на их основе математического аппарата в процессе преобразования информации при реализации современных стандартов и построении высокотехнологических технических средств защиты информации, так как с помощью рядов происхо-

дит «перемешивание» элементов множества с заданными характеристиками, которые могут варьироваться в зависимости от заданных свойств рядов факториального множества.



Рисунок 1. Основные характеристические свойства элементов рядов факториального множества

Разработана программная среда анализа рядов факториального множества, оперирующая информацией по задаваемому ряду факториального множества. На рисунке 2 приведен пример работы программной среды анализа рядов факториальных множеств. В данном примере задается ряд факториального множества с количеством элементов $n=8$, порядковый номер ряда = 24388. Оригинал – это первый ряд с n -элементами, далее записывается полученный ряд факториального множества, затем – циклическая форма полученного ряда, а также производится подсчет декремента и числа инверсий ряда факториального множества.

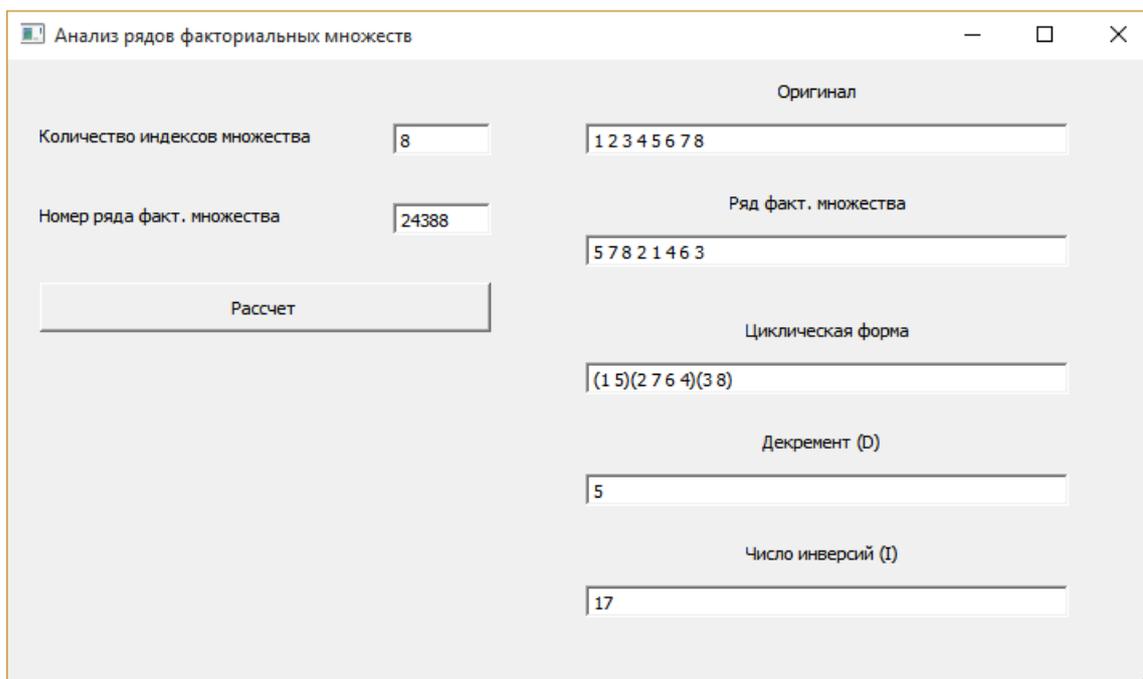


Рисунок 2. Пример работы программной среды анализа рядов факториального множества

В перспективе дальнейших исследований предполагается объемная и интенсивная работа в области рядов факториального множества, успех которой и достижение конечных результатов, в том числе по созданию эффективных и комплексных процессов защиты информационных систем, возможен только при всестороннем анализе различных аспектов преобразования информации данного вида.

Литература:

1. Мартынов А.А., Николаев Д.Б., Сплюхин Д.В., Чашихин С.С.. Влияние информационных характеристик псевдослучайных последовательностей на качество маскирования информации // XXI Нижегородская сессия молодых ученых. Естественные, математические науки: материалы докладов. Княгинино: НГИЭУ, 2016.
2. Мартынов А.П., Мартынова И.А. Функции перестановки в системе счисления ряда факториальных множеств // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2016. №3. С. 42–49.
3. Мартынова И.А., Машин И.Г., Фомченко В.Н. Введение в теорию поля и ее приложения: Монография. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2014. 108 с.

References:

1. Martynov A.A., Nikolaev D.B., Spljihin D.V., Chashhihin S.S.. Vlijanie informacionnyh harakteristik psevdosluchajnyh posledovatel'nostej na kachestvo maskirovanija informacii // XXI Nizhegorodskaja sessija molodyh uchenyh. Estestvennye, matematicheskie nauki: materialy dokladov. Knjaginino: NGIJeU, 2016.
2. Martynov A.P., Martynova I.A. Funkcii perestanovki v sisteme schislenija rjada faktorial'nyh mnozhestv // Vestnik VGU. Serija: Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii. 2016. №3. S. 42–49.
3. Martynova I.A., Mashin I.G., Fomchenko V.N. Vvedenie v teoriju polja i ee prilozhenija: Monografija. Sarov: FGUP «RFJaC-VNIIJeF», 2014. 108 s.

— ● —

Сведения об авторах

Инна Александровна **Мартынова**, аспирант, инженер-исследователь, Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова (Москва, Россия).

Денис Валерьевич **Сплюхин**, аспирант, инженер-исследователь 3 категории, Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (Саров, Россия).

— ● —

Секция «Энергетика»

УДК 662.638: 662.637

СВЧ-РОЗЖИГ ДРЕВЕСНЫХ И ТОРФЯННЫХ БРИКЕТОВ В ПЕЛЛЕТНЫХ КОТЛАХ

М.А. Кочева, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет
(Н.Новгород, Россия)

Р.В. Кондратьев, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет
(Н.Новгород, Россия), e-mail:rvkondratev@mail.ru

Аннотация. В статье приведены основные результаты проведенных опытов по микроволновому воздействию электромагнитного поля на твердые виды топлива при разных значениях влажности. По результатам экспериментов определена продолжительность СВЧ-воздействия до момента возгорания опытных образцов. На основании полученных экспериментальных данных сделаны следующие выводы: 1) Определена средняя продолжительность каждого периода и она составляет: 1.1 Нагрев топлива (от 30 до 75 секунд); 1.2 Высушивание топлива до влажности 5 -10% (от 2-х до 3-х минут); 1.3 Воспламенение твердого топлива (от 15 до 30 секунд). 1) Наиболее интенсивно процесс сушки и воспламенения происходит в кусковом топливе средних размеров; 2) Суммарная продолжительность подготовительного периода поджога составляет не более 290 секунд; 3) Применение данной технологии не оказывает негативного воздействия на конструкцию котлоагрегата; 4) Не требует дополнительных изменений конструкции котлоагрегата; 5) Суммарные затраты электроэнергии на поджог влажного топлива массой 350 г в среднем составляют от 370 Вт до 564 Вт; 6) Доступность оборудования для создания микроволнового излучения; 7) Возможность розжига топлива со значением влажности до 81 % без применения дополнительных составляющих; 8) Повышение КПД КУ за счёт сокращения времени нагрева, высушивания и поджога влажного топлива; 9) Возможность унификации предтопочных камер с СВЧ-поджогом в зависимости от мощности КУ.

Ключевые слова: СВЧ-поджиг, пеллетный котел, микроволновое излучение.

MICROWAVE IGNITION OF WOOD AND FUEL BRIQUETS IN PELLET BOILERS

Abstract. The article presents the main results of experiments on microwave electromagnetic fields on solid fuels under different values of humidity. According to the results of the experiments the authors identified the duration of microwave exposure to the time of the ignition. On the basis of obtained experimental data the following conclusions are made: 1) the average duration of each period is determined and it is: 1.1 Heating fuel (from 30 to 75 seconds); 1.2 Drying of the fuel to a moisture content of 5 -10% (from 2 to 3 minutes); 1.3 Ignition of solid fuels (from 15 to 30 seconds). 2) The most intensive process of drying and combusting occurs in lump fuel of medium size; 3) The total duration of the preparatory period of the burning is not more than 290 seconds; 4) The application of this technology has no negative impact on the design of the boiler; 5) it is not required any additional changes in the design of the boiler; 6) The total electricity consumption for burning a wet fuel weighing 350 g averages from 370 W to 564 W; 7) Availability of equipment to generate microwave radiation; 8) The possibility of ignition of fuel with a value of humidity of 81 % without the use of additional components. 9) Increase of the efficiency KU by reducing the time of heating, drying and burning of wet fuel; 10) The possibility of unification of preheating cameras with microwave arson depending on the power of KU.

Keywords: microwave ignition, pellet boiler, microwave radiation.

В последние годы наибольший интерес проявляется к такому вектору развития экономики как энергосбережение. Данное направление особенно актуально для энергодефицитных районов, в которых, как правило, отсутствует система газоснабжения. В качестве примера к таким территориям можно отнести северные районы Нижегородской области, испытывающие дефицит энергоресурсов, на территории которых в качестве топлива в котельных используют мазут, брикеты из торфа, привозной уголь или дрова.

В существующих котельных установках (далее – КУ), работающих на твердых видах топлива, одним из основных недостатков является необходимость использования дополнительного топлива (бензин, мазут) для его поджига.

Для устранения данного недостатка предложено на КУ после бункера дозатора установить промежуточную (предпочную) камеру для предварительной подготовки (сушки, разогрева и первоначального поджига) твердых видов топлива в виде дров, стружки, пеллетов и брикетов из торфа.

На разработанной лабораторной установке был проведен ряд экспериментов по определению продолжительности основных процессов по предварительной подготовке топлива к его возгоранию.

В предпочной камере смонтирован магнетрон мощностью 700 Вт для создания кратковременного микроволнового излучения с частотой 2,45 ГГц и его наложения на влажное твердое топливо. Под воздействием СВЧ-излучения в камере происходят следующие процессы: нагрев топлива, его высушивание до влажности 4 - 7%, воспламенение.

Результаты опытных экспериментов приведены в таблице 1.

На основании полученных экспериментальных данных сделаны следующие выводы:

- 1) Определена средняя продолжительность каждого периода, она составляет:
 - 1.1 Нагрев топлива (от 30 до 75 секунд);
 - 1.2 Высушивание топлива до влажности 5 -10% (от 2-х до 3-х минут);
 - 1.3 Воспламенение твердого топлива (от 15 до 30 секунд).
- 2) Наиболее интенсивно процесс сушки и воспламенения происходит в кусковом топливе средних размеров;
- 3) Суммарная продолжительность подготовительного периода поджига составляет не более 290 секунд;
- 4) Применение данной технологии не оказывает негативного воздействия на конструкцию котлоагрегата;
- 5) Не требует дополнительных изменений конструкции котлоагрегата;
- 6) Суммарные затраты электроэнергии на поджиг влажного топлива массой 350 г в среднем составляют от 370 Вт до 564 Вт;
- 7) Доступность оборудования для создания микроволнового излучения;
- 8) Возможность розжига топлива со значением влажности до 81 % без применения дополнительных составляющих;
- 9) Повышение КПД КУ за счёт сокращения времени нагрева, высушивания и поджига влажного топлива;
- 10) Возможность унификации предпочных камер с СВЧ-поджигом в зависимости от мощности КУ.

Таблица 1. Значения натуральных экспериментов микроволнового воздействия на твердотопливные образцы

№ п/п	Вид топлива	Влажность топлива, %	Масса образца, г	Время сушки образца, до влажности 4-7%, сек	Время сушки образца, от влажности 4-7% до воспламенения, сек	Температура возгорания образца, °С
1	Торф тип 1	80,7	33	231	24	264
2	Торф тип2 (коксовый)	74,2	32	172	23	274
3	Ель	44,1	31	129	15	287
4	Кора дуба	46,3	34	161	28	269
5	Осина (щепка)	33	35	254	26	276
6	Бук (щепка)	45,9	38	255	27	306
7	Пеллеты	37,2	30	189	21	319

На основании вышеизложенного, можно сделать вывод о необходимости применения СВЧ-поджига на существующих пеллетных КУ с традиционными видами топлива в котельных и домах северных районов Нижегородской области. Данную технологию необходимо развивать в широких пределах и рассмотреть возможность ее применения на предприятиях по производству тепловой энергии.

Литература:

1. Жуков М.Ф., Карпенко Е.И., Перегудов В.С. и др. Плазменная безмазутная растопка котлов и стабилизация горения пылеугольного факела / под ред. В.Е. Мессерле и В.С. Перегудова. Новосибирск: Сиб. предпр. РАН «Наука», 1995. 304 с.
2. Кондратьев Р.В., Донцов Д.П., Павлов Д.А. Использование теплоты уходящих газов в котельных деревообрабатывающих предприятий // VI международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум 2014». URL: <http://www.scienceforum.ru/2014/467/4465>
3. Кондратьев Р.В., Донцов Д.П., Суворов Д.В. Экспериментальные исследования работы газогенератора VISSMAN VITOLIG 150 // V международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум 2013». URL: <http://www.scienceforum.ru/2013/59/2457>

4. Кондратьев Р.В., Кочева М.А. Использование альтернативных видов топлива в северных районах Нижегородской области // V международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум 2013». URL: <http://www.scienceforum.ru/2013/59/2454>
5. Кондратьев Р.В. Получение тепловой энергии из отходов деревообработки // Межвузовский сборник статей лауреатов конкурсов. Н.Новгород, 2012. с. 181.
6. Кондратьев Р.В., Кочева М.А., Павлов Д.А. Эффективное использование возобновляемых энергетических ресурсов в Нижегородской области // Перспективы развития вузовской науки, 26-30 сентября 2013. Сочи, 2013. С. 104-105.
7. Кондратьев Р.В., Кочева М.А. Отопительная водогрейная котельная установка, работающая на древесных отходах (пеллетах) // Тезисы докладов 33-й межвузовской студенческой научно-технической конференции по итогам научно-исследовательской работы студентов в 2013 году. Самара, 2013 с.
8. Кондратьев Р.В., Кочева М.А. Утилизация древесных отходов // 14-й Международный научно-промышленный форум «Великие реки-2012». Нижний Новгород, 2012.
9. Кычкин А.К., Аньшаков А.С., Алиферов А.И., Радько С.И., Урбах Э.К., Урбах А.Э., Фалеев В.А. Плазменная газификация техногенных отходов для получения тепловой и электрической энергии // Труды VI Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата. -Якутск: Ин-т Физико-Технических проблем Севера им. В.П.Ларионова СО РАН, 2013. Т.2. С. 53-59.
10. Чередниченко В.С., Аньшаков А.С., Кузьмин М.Г. Плазменные электротехнологические установки: учебник для вузов. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. 602 с.

References:

1. Zhukov M.F., Karpenko E.I., Peregudov V.S. i dr. Plazmennaja bezmazutnaja rastopka kotlov i stabilizacija gorenija pyleugol'nogo fakela / pod red. V.E. Messerle i V.S. Peregudova. Novosibirsk: Sib. predpr. RAN «Nauka», 1995. 304 s.
2. Kondrat'ev R.V., Doncov D.P., Pavlov D.A. Ispol'zovanie teploty uhodjashhih gazov v kotel'nyh derevoobrabatyvajushhih predpriyatij // VI mezhdunarodnaja studencheskaja jelektronnaja nauchnaja konferencija «Studencheskij nauchnyj forum 2014». URL: <http://www.scienceforum.ru/2014/467/4465>
3. Kondrat'ev R.V., Doncov D.P., Suvorov D.V. Jeksperimental'nye issledovanija raboty gazogeneratora VISSMAN VITOLIG 150 // V mezhdunarodnaja studencheskaja jelektronnaja nauchnaja konferencija «Studencheskij nauchnyj forum 2013». URL: <http://www.scienceforum.ru/2013/59/2457>
4. Kondrat'ev R.V., Kocheva M.A. Ispol'zovanie al'ternativnyh vidov topliva v se-vernyh rajonah Nizhegorodskoj oblasti // V mezhdunarodnaja studencheskaja jelektronnaja nauchnaja konferencija «Studencheskij nauchnyj forum 2013». URL: <http://www.scienceforum.ru/2013/59/2454>
5. Kondrat'ev R.V. Poluchenie teplovoj jenerгии iz othodov derevoobrabotki // Mezhvuzovskij sbornik statej laureatov konkursov. N.Novgorod, 2012. s. 181.
6. Kondrat'ev R.V., Kocheva M.A., Pavlov D.A. Jefferktivnoe ispol'zovanie vozobnovljaemyh jenergeticheskikh resursov v Nizhegorodskoj oblasti // Perspektivy razvitija vuzovskoj nauki, 26-30 sentjabrja 2013. Sochi, 2013. S. 104-105.

7. Kondrat'ev R.V., Kocheva M.A. Otopitel'naja vodogrejnaja kotel'naja ustanovka, rabotajushhaja na drevesnyh othodah (pelletah) // Tezisy dokladov 33-j mezhvuzovskoj studencheskoj nauchno-tehnicheskoi konferencii po itogam nauchno-issledovatel'skoj raboty studentov v 2013 godu. Samara, 2013 s.

8. Kondrat'ev R.V., Kocheva M.A. Utilizacija drevesnyh othodov // 14-j Mezhdunarodnyj nauchno-promyshlennyj forum «Velikie reki-2012». Nizhnij Novgorod, 2012.

9. Kychkin A.K., An'shakov A.S., Aliferov A.I., Rad'ko S.I., Urbah Je.K., Urbah A.Je., Faleev V.A. Plazmennaja gazifikacija tehnogennyh othodov dlja poluchenija teplovoj i jelektricheskoi jenergii // Trudy VI Evrazijskogo simpoziuma po problemam prochnosti materialov i mashin dlja regionov holodnogo klimata. -Jakutsk: In-t Fiziko-Tehnicheskikh problem Severa im. V.P.Larionova SO RAN, 2013. T.2. S. 53-59.

10. Cherednichenko V.S., An'shakov A.S., Kuz'min M.G. Plazmennye jelektrotehnologicheskie ustanovki: uchebnik dlja vuzov. Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2008. 602 s.



Сведения об авторах

Роман Вячеславович **Кондратьев**, аспирант, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (Нижний Новгород, Россия).

Марина Алексеевна **Кочева**, кандидат технических наук, доцент, начальник отдела ОНИРС, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (Нижний Новгород, Россия).

Секция «Энергетика»

УДК 621.311.1

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОРУТЕРА - БАЗОВОГО ЭЛЕМЕНТА «ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИНТЕРНЕТА»

Е.Н. Соснина, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (Нижний Новгород, Россия)

А.В. Шалухо, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (Нижний Новгород, Россия)

Н.В. Шумский, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (Нижний Новгород, Россия), e-mail: shumskii.n@gmail.com

С.А. Ковтун, ООО «Энергорouter» (Саранск, Россия), e-mail: info@erouter.ru

Аннотация. В статье рассмотрены основные понятия интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной электрической сетью. Приведено описание концепций микросети и виртуальной электростанции. Изложено понятие «Энергетический интернет» и произведена параллель с компьютерной сетью. Обоснована необходимость разработки энергетического роутера. Определены основные препятствия развития концепции и предложены пути решения.

Ключевые слова: энергорouter, энергетический интернет, интеллектуальная энергосистема.

DEVELOPMENT OF ENERGY ROUTER - BASIC ELEMENT OF «ENERGY INTERNET»

Abstract. The article deals with the basic concepts of an Intelligent Power System with an Active Adaptive Electrical Network. The description of the Microgrid and a Virtual Power Station concept is given. The "Energy Internet" concept is described and a parallel with the computer network is made. The necessity of developing an Energy Router is justified. The main obstacles to the development of the concept are identified and solutions are proposed.

Keywords: energy router, energy Internet, intelligent power system.

В настоящее время энергетика России столкнулась с новыми вызовами: нарастающий износ энергетической инфраструктуры, постепенное увеличение доли малой распределенной генерации (МРГ), повышение спроса на энергию как в количественном объеме, так и в качественном, изменение модели поведения потребителей [6]. Решением данных проблем может стать эволюционный процесс перехода от традиционного уклада к интеллектуальной энергосистеме с активно-адаптивной электрической сетью (ИЭС ААС) [1].

Под понятием ИЭС ААС понимается система, в которой все субъекты электроэнергетического рынка принимают активное участие в процессах передачи и распределения электроэнергии. Реализация нового подхода повысит эффективность функционирования источников малой распределенной генерации, в том числе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), и обеспечит надежное и качественное электроснабжение потребителей, позволит своевременно устранять дефицит мощности в системе, снижать нагрузку на сети. Помимо этого, внедрение современных технологий создаст устойчивую и постоянно растущую по-

требность в новом оборудовании, программном обеспечении, проектных решениях, различных технических и технологических сервисах, что позволит расширить энергетический рынок, организовать новые производства, создать рабочие места.

Технологии ИЭС ААС позволят воплотить концепцию микросети (microgrid). Микросеть в общем виде определяются как минимальная единица энергетической самодостаточной сети. В состав микросети входят источники МРГ, накопители энергии и контролируемая нагрузка. Микросети связываются с национальной электрической сетью через распределительные сети 10-35 кВ с помощью цифровых электрических подстанций [2]. Функционирование энергосистемы будет осуществляться путем обеспечения свободных двусторонних потоков электроэнергии между всеми субъектами сети. Таким образом, электроэнергия в микросетях сможет направляться как к потребителям, так и обратно в региональную сеть в зависимости от условий спроса и предложения. Управление энергетическими и финансовыми потоками станет возможно за счет реализации концепции виртуальной электростанции (Virtual Power Plant) [3], которая объединит участников для их совместного участия в рынке электроэнергии, оказания системных услуг и взаимного резервирования.

Ведущая роль при модернизации электроэнергетики на новых принципах отводится электрической сети как структуре, обеспечивающей надежные связи генерации и потребителя, построенной на открытой сетевой архитектуре. Активные потребители, владельцы распределенных энергетических объектов, пользователи устройствами с управляемой нагрузкой должны иметь возможность также просто подключаться и пользоваться энергосистемой, как мы это делаем в случае использования Интернета (рис. 1). Эти тренды определяют облик новой энергетики как «Интернет энергии» (Internet of Energy) - экосистемы производителей и потребителей энергии, которые беспрепятственно интегрируются в общую инфраструктуру и обмениваются энергией [4].

В западных странах интеллектуальная сетевая инфраструктура или «Интернет энергии» – система, в которой частные домохозяйства включены в процесс отпуска электроэнергии и за счёт гибкого регулирования могут продавать избыток электроэнергии в общий рынок, уже стала частью повседневной жизни.

В России технология «Интернета энергии» сегодня представляется неосуществимой из-за технологических ограничений, обусловленных отсутствием ряда технологий и практик, обеспечивающих эффективное воплощение нового энергетического уклада:

- отсутствуют киберфизические преобразовательные и коммутационные устройства среднего и низкого напряжения;
- отсутствуют комплексные решения для цифровых подстанций и цифровых сетей среднего и низкого напряжения, микросетей, энергетической инфраструктуры зданий;
- отсутствуют plug&play интерфейсы для широкого класса энергетического оборудования и энергопринимающих устройств;
- отсутствуют динамически самоорганизующиеся мультиагентные системы управления.

Большим шагом в направлении развития «энергетического Интернета» может стать разработка энергетического роутера, позволяющего на низком напряжении (0,4 кВ) объединять в единую систему генерирующие, накапливающие и потребляющие электроэнергию устройства (без интеграции в электрические сети среднего напряжения). Иными словами, энергорouter позиционируется как базовое устройство, обеспечивающее работу микросети, взаимодействие соседних микросетей на уровне энергетического и информационного обмена, интеграцию микросети в распределительные электрические сети среднего напряжения.



Рис. 1. Принцип «энергетического Интернета»

В качестве основных областей применения энергороутеров в существующих электрических сетях низкого напряжения можно выделить: участки электрических сетей с источниками малой распределенной генерации; «умные сети» отдельных объектов; системы электроснабжения ответственных объектов.

Одним из перспективных мест внедрения энергороутеров могут стать энергодефицитные территории Дальнего Востока. В соответствии с законом «О дальневосточном гектаре» №119-ФЗ от 01.05.2016 каждый гражданин может получить земельный участок размером до 1 гектара. Большинство интересующихся беспокоит проблема отсутствия коммуникаций на выделяемых землях. Решить вопрос дефицита электрической энергии на Дальнем Востоке и не зависеть от возможностей и сроков подведения коммуникаций можно путем строительства солнечных электростанций. Развитие централизованной системы электроснабжения вероятнее всего будет происходить параллельно с появлением местных электростанций на ВИЭ, что сделает возможным их объединение в единую структуру микросети.

В качестве ключевой и наиболее перспективной технологии создания энергороутера считается технология твердотельного трансформатора (Solid State Transformer, SST). Использование SST в micro-grid позволит: управлять потоками электроэнергии в сети 0,4 кВ; управлять передачей электроэнергии из сети 10-20 кВ в сеть 0,4 кВ и обратно; быстро и качественно регулировать напряжение; интегрировать автономные источники энергии без затрат на дополнительное оборудование [6, 7].

В настоящий момент работы по созданию твердотельного трансформатора, ведущиеся в США, Европе, Японии, Китае, а также в других странах, находятся в стадии экспериментальных исследований. Над разработкой трудятся такие коллективы как Future Renewable Electric Energy Delivery and Management (США) [8], лаборатория силовой электроники Швей-

царского федерального института технологий [9], европейская фирма Infineon и японская компания ROHM Co Ltd.

Организация серийного выпуска отечественных твердотельных трансформаторов в ближайшее время невозможна из-за необходимости разработки и развития новых материалов и элементов. Поэтому создание в России «энергетического Интернета» следует рассматривать как поэтапный процесс.

В качестве первого этапа предполагается создание опытного образца модуля энерго-роутера для сети низкого напряжения, который будет обладать следующими параметрами:

- один multifunctional вход, позволяющий подключать источник или накопитель электроэнергии: переменного и постоянного тока, однофазный и трехфазный, в диапазоне выходного напряжения от 50 до 400 В;

- один выход для подключения нагрузки: переменного напряжения 380/220 В; частотой 50 Гц; с соблюдением требований ГОСТ 32144-2013 по качеству выдаваемой электрической энергии;

- установленная мощность модуля – 10 кВА.

Важными качествами модуля энерго-роутера будут являться:

- универсальность – возможность подключения к входу устройства источников малой генерации (в том числе возобновляемые источники энергии) и накопителей электроэнергии различных типов, моделей, производителей.

- реализация принципа Plug'n'Play - обеспечение самоидентификации и самонастройки подключаемых устройств.

Разработка алгоритмов системы управления энерго-роутером будет основана на выполнении принципа адаптивности - распределении потоков мощности в зависимости от протекания процессов генерации и потребления, стоимости электрической энергии в различное время суток для получения наилучшего результата (наиболее эффективное использование электрической энергии) (рис.2).

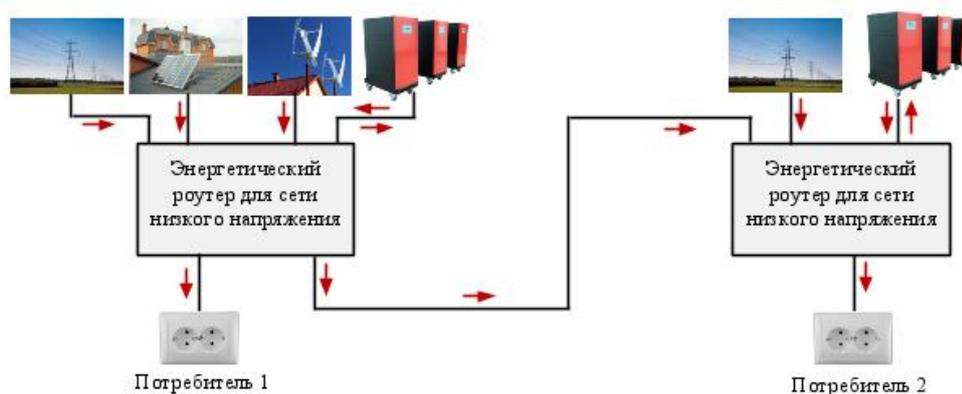


Рис. 2. Пример использования энерго-роутера в сети низкого напряжения

Непосредственный эффект от внедрения энерго-роутера будет заключаться:

- для владельцев источников малой генерации – в упрощении схемных решений за счет подключения источников, накопителей и нагрузки к одному блоку без дополнительных устройств; в повышении эффективности использования электрической энергии за счет полной автоматизации управления;

- для «умных сетей» - в упрощении подключения электрооборудования с различными выходными параметрами и обеспечении высокого качества электрической энергии;
- для ответственных объектов – в снижении рисков получения ущерба и потери информации от нарушения электроснабжения.

Уже сегодня компания ООО «Энергороутер» совместно с НГТУ им. Р.Е. Алексеева начала работу над реализацией модуля энергороутера для сети низкого напряжения. Данное устройство будет востребовано в существующих электрических сетях и станет заделом для создания полноценного твердотельного трансформатора. Модуль энергетического роутера будет обладать возможностью взаимодействия со ступенью низкого напряжения твердотельного трансформатора. С помощью модулей будет производиться подключение к низкой стороне твердотельного трансформатора источников малой генерации и накопителей электроэнергии.

Литература:

1. Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью. Москва, 2012. URL: http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies_aas.pdf (дата обращения 12.02.2017).
2. Соснина Е.Н., Лоскутов А.Б., Чивенков А.И., Опытная цифровая подстанция с активно-адаптивной системой управления и автоматическим плавным регулирование напряжения и мощности // Промышленная энергетика. 2013. №12.
3. Соснина Е.Н., Шалухо А.В., Кечкин А.Ю, Вопросы создания виртуальных электростанций в масштабе micro-grid // Вестник НГИЭИ. 2015. №4 (47).
4. ПЛАН мероприятий («дорожная карта») «Энерджинет» Национальной технологической инициативы. Москва, 2016. URL: http://fasie.ru/upload/docs/DK_energynet.pdf (дата обращения 12.02.2017).
5. Doug Hurley Paul Peterson Melissa Whited, «Demand Response as a Power System Resource»: Program Designs, Performance, and Lessons Learned in the United States. Synapse Energy Economics, 2013.
6. She X., Huang A.Q., Burgos R. Review of Solid State Transformer technologies and their applications in power distribution system // IEEE J. Emerg. Sel. Topics in Power Electron. 2013. Vol. 1. № 3. P. 186-198.
7. Kolar J.W., Ortiz G. Solid-State-Transformers: Key Components of Future Traction and Smart Grid Systems // International Power Electronics Conference (IPEC). Hiroshima, 2014.
8. Stefanski K., Qin H., Chowdhury B.H. Identifying Techniques, Topologies and Features for Maximizing the Efficiency of a Distribution Grid with Solid State Power Devices // Proc. 2nd annual FREEDM conf. Tallahassee, 2010.
9. Kolar J.W. Research Challenges and Future Perspectives of Solid-State Transformers // Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich Power Electronic Systems Laboratory.

References:

1. Osnovnyye polozheniya koncepcii intellektual'noj jenergosistemy s aktivno-adaptivnoj set'ju. Moskva, 2012. URL: http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies_aas.pdf (data obrashhenija 12.02.2017).

2. Sosnina E.N., Loskutov A.B., Chivenkov A.I., Opytnaja cifrovaja podstancija s aktiv-no-adaptivnoj sistemoj upravljenja i avtomaticheskim plavnym regulirovanie naprjazhenija i moshhnosti // Promyshlennaja jenergetika. 2013. №12.

3. Sosnina E.N., Shaluhu A.V., Kechkin A.Ju, Voprosy sozdanija virtual'nyh jelektro-stancij v masshtabe micro-grid // Vestnik NGI Jel. 2015. №4 (47).

4. PLAN meroprijatij («dorozhnaja karta») «Jenerdzhinnet» Nacional'noj tehnologicheskoy iniciativy. Moskva, 2016. URL: http://fasie.ru/upload/docs/DK_energynet.pdf (data obrashhenija 12.02.2017).

5. Doug Hurley Paul Peterson Melissa Whited, «Demand Response as a Power System Resource»: Program Designs, Performance, and Lessons Learned in the United States. Synapse Energy Economics, 2013.

6. She X., Huang A.Q., Burgos R. Review of Solid State Transformer technologies and their applications in power distribution system // IEEE J. Emerg. Sel. Topics in Power Electron. 2013. Vol. 1. № 3. P. 186-198.

7. Kolar J.W., Ortiz G. Solid-State-Transformers: Key Components of Future Traction and Smart Grid Systems // International Power Electronics Conference (IPEC). Hiroshima, 2014.

8. Stefanski K., Qin H., Chowdhury B.H. Identifying Techniques, Topologies and Features for Maximizing the Efficiency of a Distribution Grid with Solid State Power Devices // Proc. 2nd annual FREEDM conf. Tallahassee, 2010.

9. Kolar J.W. Research Challenges and Future Perspectives of Solid-State Transformers // Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich Power Electronic Systems Laboratory.



Сведения об авторах

Елена Николаевна **Соснина**, доктор технических наук, профессор кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (Нижний Новгород, Россия).

Андрей Владимирович **Шалухо**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (Нижний Новгород, Россия).

Никита Васильевич **Шумский**, магистрант кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (Нижний Новгород, Россия).

Сергей Александрович **Ковтун**, генеральный директор ООО «Энергороутер» (Саранск, Россия).

Секция «Машиностроение, материаловедение»

УДК 623.544

РЕГИСТРАЦИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ BOS МЕТОДОМ

Д.И. Белкин, Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (Саров, Россия).

Н.В. Нижегородцев, Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (Саров, Россия).

Н.А. Трепалов, Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (Саров, Россия).

Аннотация. В данной работе рассмотрен один из оптических методов регистрации неоднородностей в прозрачных средах – BOS (Backgroundorientedschlieren) метод. Показана возможность применения BOS метода в задачах диагностики ударно-волнового возмущения, продемонстрирована возможность визуализации воздушных ударных волн. В случае сферического взрыва в воздухе представляемый метод позволяет получить большое число экспериментальных точек для $R(t)$ диаграммы ударной волны.

Ключевые слова: BOS (Backgroundorientedschlieren), ударная волна, методы визуализации, взрыв.

REGISTRATION OF SHOCK WAVE BY BOS METHOD

Abstract. This article presents the optical method for detecting inhomogeneities in transparent medium - BOS (Background oriented schlieren). The possibility of using the BOS method in problems of shock wave disturbance diagnostics is demonstrated, and the possibility of visualizing air shock waves is demonstrated. In the case of a spherical explosion in air, the proposed method makes it possible to obtain a large number of experimental points for $R(t)$ of the shock wave diagram.

Keywords: BOS (Backgroundorientedschlieren), shock wave, visualization methods, explosions.

Введение

В ряде случаев при обработке различных боеприпасов (БП) необходимо измерить параметры ударной волны (УВ). В настоящее время для измерения параметров УВ широко применяются датчики давления (ДД). ДД позволяют измерять зависимость давления от времени в конкретной точке пространства (обычно несколько датчиков, расположенных в одной плоскости). Регистрация сигналов осуществляется, как правило, по традиционной схеме «ДД – согласующее устройство – регистратор». При этом, с одной стороны, количество датчиков ограничено с точки зрения построения подробной $R(t)$ диаграммы с десятками экспериментальных точек, с другой, существующим датчикам физических величин с электрическим способом вывода информационного сигнала присущ недостаток, связанный с наличием переходных характеристик в электрических цепях [1]. Кроме того, в случае отражения распространение УВ имеет сложный характер. Процесс отражения сферической УВ от плоской поверхности представлен на рисунке 1. После того как регулярное отражение становится невозможным ($\alpha > \alpha^*$), падающая ударная волна (ПУВ) и отраженная (ОУВ) отходят от поверх-

ности и образуется третья УВ, которую называют волной Маха или головной УВ (ГУВ) [2].

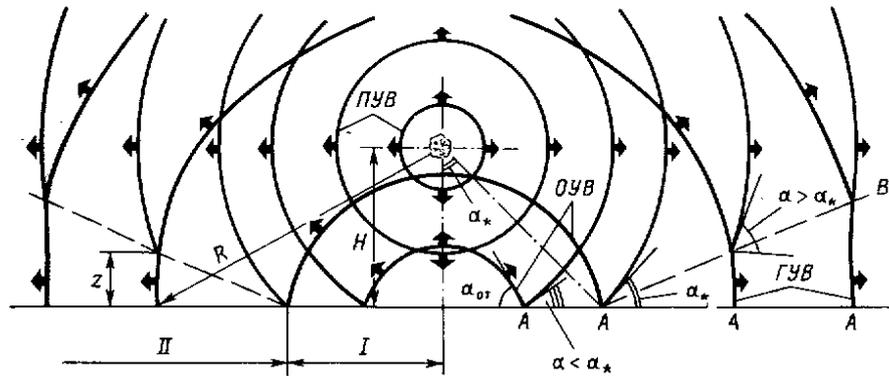


Рисунок 1. Отражение сферической УВ от плоскости.

Для регистрации УВ применяются и оптические методы. Оптические методы основаны на изменении параметров излучения в зависимости от оптических свойств исследуемой среды. К наиболее известным оптическим методам относятся теневой метод, интерференционный метод, шлирен метод, а также BOS (Backgroundoriented schlieren) метод. Одним из главных преимуществ BOS метода по сравнению с остальными оптическими методами является простота его реализации. Схема экспериментальной установки BOS метода состоит из некогерентного источника света, фонового экрана, видеокамеры и компьютера с программным обеспечением [3, 4]. BOS метод позволяет визуализировать УВ и проследить за ее распространением в пространстве.

Ниже представлены результаты применения BOS метода для регистрации УВ и последующей оценки ее параметров.

1. Видеорегистрация слабых ударных волн

С помощью BOS возможно визуализировать области в оптически прозрачной среде, имеющие градиент показателя преломления (n), и чем больше значение n , тем проще визуализировать эти области. УВ характеризуется скачкообразным изменением давления и плотности и, как следствие, образованием градиента показателя преломления.

На рисунках 2 и 4 приведены результаты обработки технологии BOS для регистрации слабых УВ. Производилась видеорегистрация электрического взрыва проволоочки и последующая визуализация созданной УВ. На рисунке 2 приведен один из кадров видеорегистрации, а на рисунке 3 результат визуализации. В качестве источника высокого напряжения использовался накопитель с энергией разрядного контура 216 Дж и уровнем напряжения 12 кВ. Взрывалась медная проволоочка диаметром 0,09 мм и длиной 30 мм.

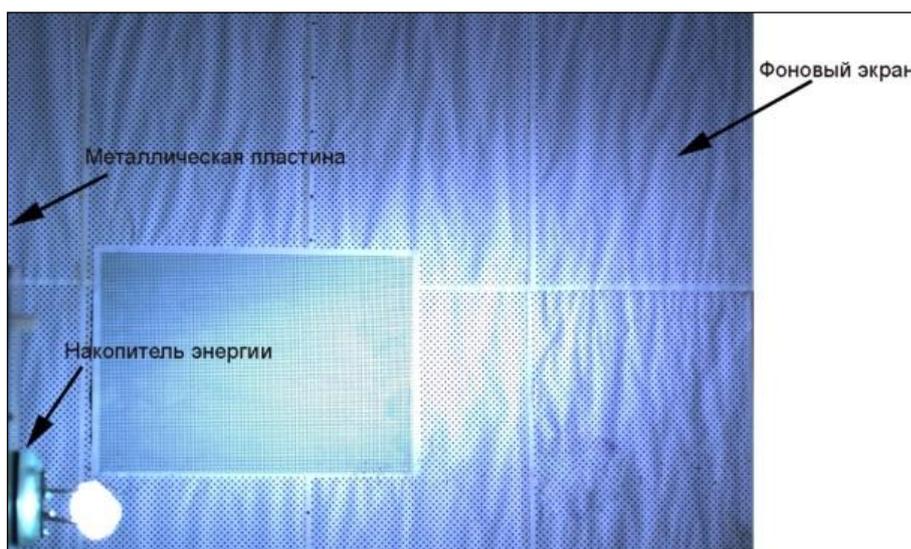


Рисунок 2. Электрический взрыв проволоочки ($t=0,86$ мс)

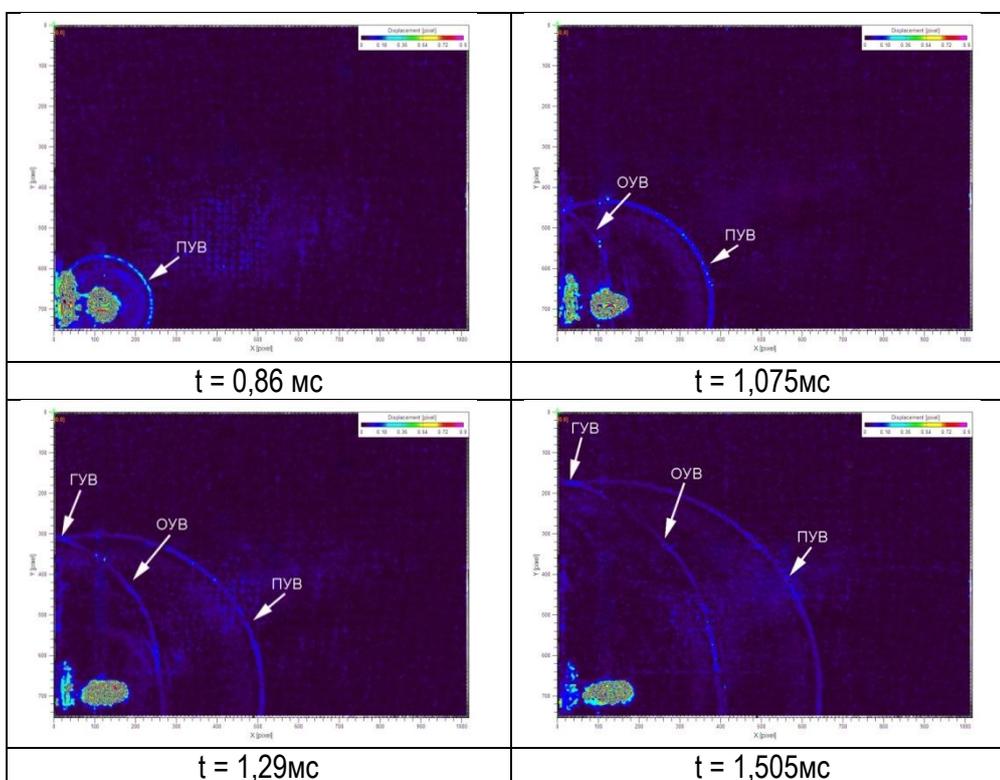


Рисунок 3. Результат визуализации УВ

2. Визуализация ударных волн в условиях полигонных испытаний

Специфика полигонных испытаний предъявляет жесткие требования к измерительному оборудованию, в частности, по критерию «живучести» и зоне регистрации. Оптическая регистрация позволяет выбрать интересующую зону регистрации и при этом расположить оборудование на безопасном расстоянии. Применение BOS метода позволяет визуализировать крупномасштабные оптические неоднородности, на рисунках 4 и 5 приведен один из таких примеров.



Рисунок 4. Выстрел из пороховой баллистической установки ($t=4,695$ мс)

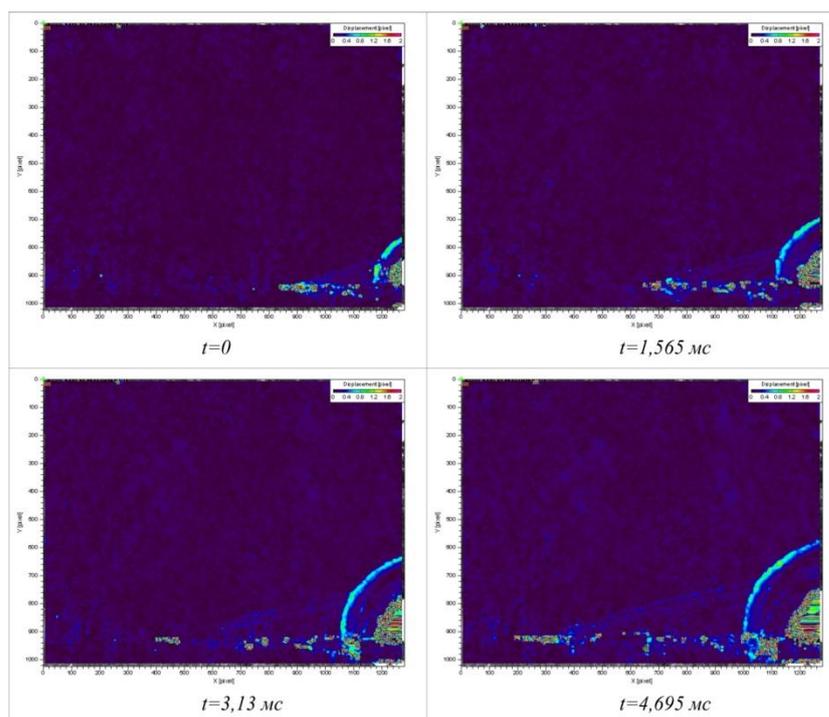


Рисунок 5. Результат визуализации УВ

3. Эксперимент

Для экспериментального подтверждения возможности оптической регистрации УВ проведены постановочные опыты. Производился подрыв заряда шарообразной формы диаметром 70 мм, состоящего из взрывчатого вещества ПВВ-7 массой 250 г. Заряд располагался на высоте 2 м. Проводилась как оптическая регистрация (ОР) сформировавшейся УВ, так и регистрация с помощью ДД, расположенных на одной прямой. На рисунке 6 представлена расстановка оборудования на рабочем поле. Видеорегистрация УВ осуществлялась на фоне

экрана с частотой съемки 9300 кадр/с и временем экспозиции 10 мкс. На рисунке 7 приведен один из полученных кадров и результат визуализации УВ в момент времени 5,5 мс после подрыва. Визуализирована как первичная (1), так и вторичная (2) ПУВ. Путем обработки результатов визуализации УВ получена диаграмма перемещения фронта первичной ПУВ $R_{\phi}(t)$, результат представлен на рисунке 8. Используя зависимость $R_{\phi}(t)$, найдены значения скорости и избыточного давления во фронте ПУВ (рисунок 9). На рисунке 10 представлены профили давлений, полученные с помощью ДД, и значения, полученные по результатам ОР. На рисунке 10 так же приведены дискретные значения избыточного давления во фронте ОУВ полученные путем перерасчета $R_{\phi}(t)$ диаграммы ПУВ. В данном случае под ОУВ имеется УВ отраженная от верхней (торцевой) поверхности корпуса ДД представляющего собой цилиндр диаметром порядка 5 см в центре которого располагается ДД (см. рисунок 6).



Рисунок 6. Расстановка оборудования на рабочем поле

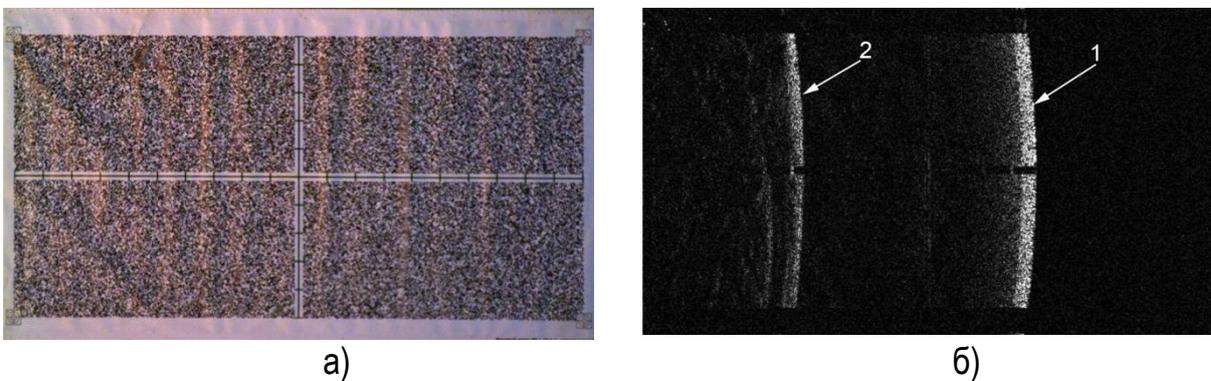


Рисунок 7. Исходная информация (а) и результат визуализации (б) УВ

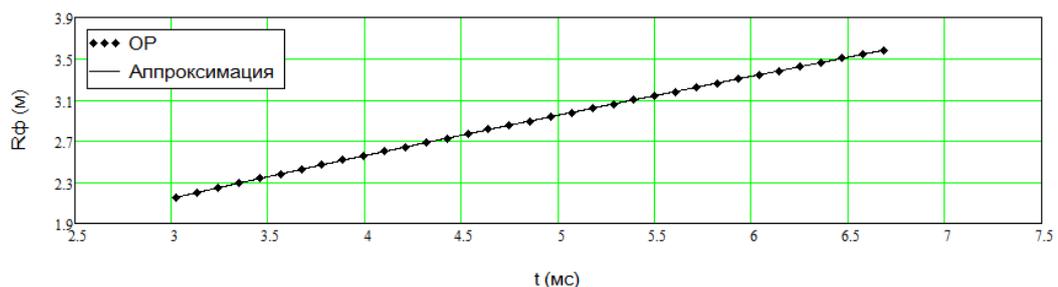


Рисунок 8. Результаты ОР распространения фронта ПУВ

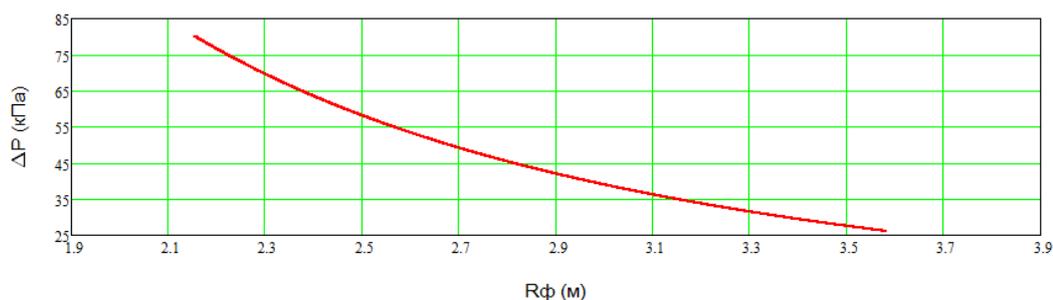


Рисунок 9. Зависимость избыточного давления во фронте ПУВ

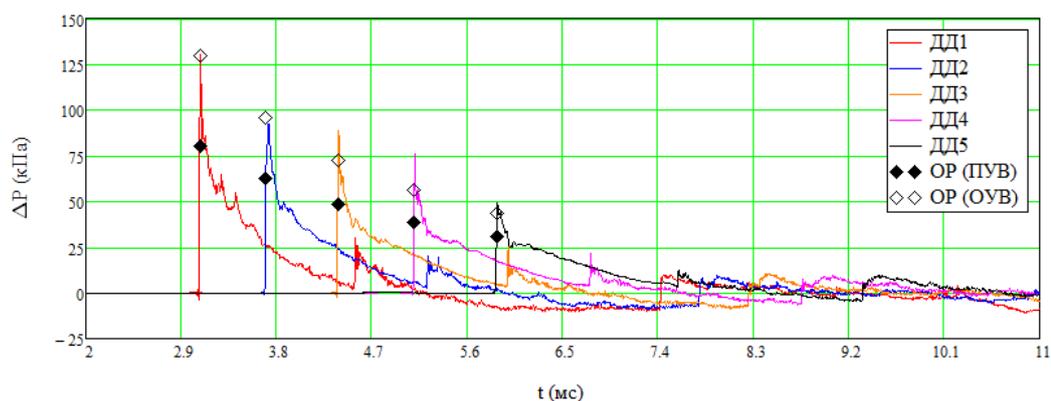


Рисунок 10. Величины давлений, полученные путем пересчета результатов ОР и наложенные на профили давлений ДД

Заключение

Представленные данные подтверждают возможность использования оптических методов, а именно BOS метода, для регистрации УВ, возникающих как при взрыве, так и при движении тел со сверхзвуковыми скоростями. Получаемые данные регистрации позволяют проследить за распространением УВ в пространстве, а также, в случае взрыва, оценить степень асимметрии взрывного энерговыделения, определить параметры УВ, сформировавшейся в результате взрыва ОИ и оценить мощность взрыва. BOS метод является дистанционным, что позволяет проводить регистрацию на безопасном расстоянии.

Литература:

1. Толстиков И.Г. Новые методы измерения параметров ударной волны // Забабахинские чтения. Сборник работ VIII международной научной конференции по физике высоких плотностей. 2005.
2. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко Изд. 3-е перер. Т.1. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002.
3. Meier G.E.A. Computerized background-oriented schlieren // Experiments in Fluids. 33. 2002. P. 181-187.
4. Richard H. and M. Raffel. «Principle and applications of the background oriented schlieren (BOS) method // Institute of Physics Publishing, Meas. Sci. Technol. 2001. №12. P. 1576–1585.

References:

1. Tolstikov I.G. Novye metody izmerenija parametrov udarnoj volny // Zababahin-skie chtenija. Sbornik rabot VIII mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii po fizike vysokih plotnostej. 2005.
2. Fizika vzryva / Pod red. L.P. Orlenko Izd. 3-e perer. T.1. M.: FIZMATLIT, 2002.
3. Meier G.E.A. Computerized background-oriented schlieren // Experiments in Fluids. 33. 2002. P. 181-187.
4. Richard H. and M. Raffel. «Principle and applications of the background oriented schlieren (BOS) method // Institute of Physics Publishing, Meas. Sci. Technol. 2001. №12. P. 1576–1585.

— ● —

Сведения об авторах

Дмитрий Игоревич **Белкин**, инженер-электроник, Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (Саров, Россия).

Николай Владимирович **Нижегородцев**, инженер-исследователь, Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (Саров, Россия).

Николай Александрович **Трепалов**, инженер-исследователь, Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (Саров, Россия).

— ● —