

УДК 004.9:662.1/.4]:378

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.271118.66.368

ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА В ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРОВ ГРАЖДАНСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

НАЛИСЬКО Н. Н.¹, канд. техн. наук, доц.

¹Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24а, г. Днепро, Украина, 49600, тел. +38 (0562) 47-16-01, e-mail: 59568@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-4039-1571

Аннотация. Цель. Раскрыть роль и значение применения виртуальной учебной лабораторий VL-MCE 1.0 «Моделирование распространения ударной воздушной волны в ударной трубе» в изучении дисциплин из цикла промышленной безопасности и охраны труда для студентов направления подготовки «Гражданская защита». Качественная оценка повышения эффективности подготовки бакалавров и магистров при использовании виртуальных лабораторий. **Методика.** Анализ и обобщение теоретических исследований в области совершенствования учебного процесса, в частности методов формирования профессиональных знаний в лабораторно-практическом курсе, численное моделирование газодинамического процесса детонационного горения газозвушной смеси, включая модель химической кинетики горения, что в целом позволяет проследить динамику формирования ударных воздушных волн в условиях каналов протяженных сооружений. **Результаты исследования.** Особое значение для развития и обеспечения конкурентоспособности выпускников специальности «Гражданская защита» приобретает подготовка специалистов соответствующего уровня и квалификации, владеющих разнообразным инструментарием и способных принимать грамотные и обоснованные решения в области промышленной безопасности. Для изучения процесса горения и взрыва газозвушной среды, а также формирования и распространения ударных воздушных волн в каналах протяженных сооружений разработана интерактивная программа VL-MCE 1.0 – виртуальная лаборатория моделирования горения и взрыва. В статье раскрыта роль и значение применения виртуальной лабораторий в изучении дисциплин из цикла промышленной безопасности и охраны труда. Дидактическая составляющая использования VL-MCE 1.0 состоит в непосредственной оценке студентом параметров рассматриваемых процессов в зависимости от начальных условий, это позволяет сформировать проектировочные функции в деятельности специалиста гражданской защиты, а также знания на уровне ПС (продуктивно-синтетические) и выработать знаково-умственные и знаково-практические профессиональные умения на уровне С (самостоятельно). **Научная новизна.** Определено значение, место и форма применения виртуальной учебной лабораторий VL-MCE 1.0 «Моделирование распространения ударной воздушной волны в ударной трубе» в лабораторно-практическом курсе дисциплин из цикла промышленной безопасности и охраны труда для формирования более высокого уровня профессиональных знаний и умений. Показана дидактическая наглядность в визуализации быстропотекающих процессов, позволяющая во временных развертках детально оценить соотношение и динамику изменения параметров взрывных процессов. **Практическая значимость.** Разработанная компьютерная программа позволяет существенно снизить затраты на проведения лабораторных занятий и содержания лабораторной базы при этом не снижая уровня формирования профессиональных умений и навыков.

Ключевые слова: виртуальная лаборатория; газодинамический процесс; визуализация результатов расчета; проектировочные функции; профессиональные умения

ВИРТУАЛЬНА ЛАБОРАТОРІЯ ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ГОРІННЯ І ВИБУХУ У ПІДГОТОВЦІ ІНЖЕНЕРІВ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

НАЛИСЬКО М. М.¹, канд. техн. наук, доц.

¹Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва й архітектури», вул. Чернишевського, 24а, м. Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (0562) 47-16-01, e-mail: 59568@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-4039-1571

Анотація. Мета. Розкрити роль і значення застосування віртуальної навчальної лабораторії VL-MCE 1.0 «Моделювання поширення ударної повітряної хвилі в ударній трубі» у вивченні дисциплін з циклу промислової безпеки та охорони праці для студентів напряму підготовки «Цивільний захист». Якісна оцінка підвищення ефективності підготовки бакалаврів і магістрів при використанні віртуальних лабораторій. **Методика.** Аналіз і узагальнення теоретичних досліджень в області вдосконалення навчального процесу, зокрема методів формування професійних знань в лабораторно-практичному курсі, чисельне моделювання газодинамічного процесу детонаційного горіння газоповітряної суміші, включаючи модель хімічної кінетики горіння, що в цілому дозволяє простежити динаміку формування ударних повітряних хвиль в умовах каналів протяжних

споруд. **Результати дослідження.** Особливе значення для розвитку і забезпечення конкурентоспроможності випускників спеціальності «Цивільний захист» набуває підготовка фахівців відповідного рівня і кваліфікації, які володіють різноманітним інструментарієм і здатних приймати грамотні і обґрунтовані рішення в області промислової безпеки. Для вивчення процесу горіння і вибуху газоповітряної середовища, а також формування і поширення ударних повітряних хвиль в каналах протяжних споруд розроблена інтерактивна програма VL-MCE 1.0 – віртуальна лабораторія моделювання горіння і вибуху. У статті розкрито роль і значення застосування віртуальної лабораторій у вивченні дисциплін з циклу промислової безпеки та охорони праці. Дидактична складова використання VL-MCE 1.0 складається в безпосередній оцінці студентом параметрів розглянутих процесів в залежності від початкових умов, це дозволяє сформувати проектувальні функції в діяльності фахівця цивільного захисту, а також знання на рівні ПС (продуктивно-синтетичні) і виробити знаково-розумові і знаково-практичні професійні вміння на рівні С (самостійно). **Наукова новизна.** Визначено значення, місце і форма застосування віртуальної навчальної лабораторії VL-MCE 1.0 «Моделювання поширення ударної повітряної хвилі в ударній трубі» в лабораторно-практичному курсі дисциплін з циклу промислової безпеки та охорони праці для формування більш високого рівня професійних знань і умінь. Показана дидактична наочність в візуалізації швидкоплинних процесів, що дозволяє в часових розгортках детально оцінити співвідношення і динаміку зміни параметрів вибухових процесів. **Практична значимість.** Розроблена комп'ютерна програма дозволяє істотно знизити витрати на проведення лабораторних занять і утримання лабораторної бази при цьому не знижуючи рівня формування професійних умінь і навичок.

Ключові слова: віртуальна лабораторія; газодинамічний процес; візуалізація результатів розрахунку; проектувальна функція; професійні вміння

VIRTUAL LABORATORY OF STUDYING PROCESSES COMBUSTION AND EXPLOSION IN THE PREPARATION OF CIVIL SAFETY ENGINEERS

NALISKO N. N.¹, *Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.*

¹Department of Life Safety, State Higher Education Establishment «Pridneprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo st., Dnipro 49600, Ukraine, phone +38 (0562) 47-16-01, e-mail: 59568@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-4039-1571

Abstract. Purpose. To explain the role and importance of the use of virtual educational laboratories VL-MCE 1.0 "Simulation of the propagation of a shock air wave in a shock tube" in the study of disciplines from the cycle of industrial safety and labor protection for students in the field of study "Civil protection". Qualitative assessment of improving the efficiency of training bachelors and masters using virtual laboratories. **Research methods.** Analysis and synthesis of theoretical studies in the field of improving the educational process, in particular the methods of forming professional knowledge in the laboratory-practical course, numerical simulation of the gas-dynamic process of detonation combustion of the gas-air mixture, including the model of chemical kinetics of combustion, which generally allows to track the dynamics of the formation of air shock waves in a channels of extended structures. **Results.** Of particular importance for the development and maintenance of competitiveness of graduates of the specialty "Civil Protection" is the training of specialists of the appropriate level and qualification, possessing a variety of tools and able to make competent and informed decisions in the field of industrial safety. To study the process of combustion and explosion of the gas-air environment, as well as the formation and propagation of shock air waves in the channels of extended structures, an interactive program VL-MCE 1.0, a virtual laboratory for simulation of combustion and explosion, was developed. The role and importance of the use of virtual laboratories in the study of disciplines from the cycle of industrial safety and labor protection is analyzed in the article. The didactic component of the use of VL-MCE 1.0 consists in the direct assessment by the student of the parameters of the processes under consideration, depending on the initial conditions, this allows you to create design functions in the activities of a civil protection specialist, as well as knowledge at the PS level (productive-synthetic) and develop sign-mental and symbolic -practical professional skills at the C level (independently). **Scientific novelty.** The meaning, place and form of application of virtual educational laboratories VL-MCE 1.0 "Modeling the propagation of a shock air wave in a shock tube" are determined in the laboratory-practical course of disciplines from the cycle of industrial safety and labor protection for the formation of a higher level of professional knowledge and skills. A didactic clarity in the visualization of fast processes is shown, which allows in time scans to evaluate in detail the relationship and dynamics of changes in the parameters of explosive processes. **Practical value.** The developed computer program can significantly reduce the cost of conducting laboratory classes and maintaining the laboratory base without reducing the level of development of professional skills.

Keywords: virtual laboratory; gas-dynamic process; visualization of computation results; project functions; professional skills

Постановка проблеми. Качественное выполнение студентами лабораторно-практической части учебного плана является необходимым условием подготовки квалифицированного специалиста. В современных тяжелых экономических

условиях обновление лабораторной базы учебных заведений является весьма актуальной проблемой. Одно из решений этой проблемы состоит в разработке и использовании виртуальных лабораторий.

Для некоторых прикладных дисциплин которые изучают процессы с экстремальными параметрами (высокие и низкие температура и давление, взрывные и быстропротекающие процессы, высокие напряжения, опасные химические вещества) проведение лабораторных работ весьма затруднено и использование виртуальных лабораторий является единственно возможной формой получения практических навыков исследований соответствующих явлений [1, 2].

В подготовке инженера гражданской защиты значительное место занимают прикладные дисциплины одним из объектов которых являются процессы горения и взрыва. К ним относятся дисциплины «Теория горения и взрыва», «Пожаровзрывобезопасность», «Охрана труда в отрасли», «Предупреждение и ликвидация аварий», «Безопасность при ведении огневых работ», «Моделирование технологических процессов и систем» и др. Для практического изучения студентами взрывных процессов, еще в период существования СССР применялись взрывные камеры, которые имели только несколько академических ВУЗов: строительные – МИСИ (Москва) и горные институты в Москве, Донецке и Новосибирске. Для изучения взрывов газовых и газопылевых смесей учебные лаборатории (ударные трубы) в системе академического образования отсутствовали как в прошлые времена, так и в настоящее время. Поэтому, разработка компьютерных программ, моделирующих горение и взрыв газовых смесей позволит выйти на новый более качественный уровень в подготовки инженеров гражданской защиты и изучении взрывных процессов в целом.

Анализ последних исследований и публикаций. Известно, что виртуальные лаборатории делятся на программы для визуализации известных явлений или

объектов (качественные) и программы для расчета параметров явлений, процессов или работы объектов (количественные) [3, 4]. Особое место среди последних занимают программы, позволяющие проводить численный эксперимент, т.е. программы, очень точно моделирующие поведение объектов или процессов. Такие программы разрабатываются и используются в основном в научных целях. В принципе они являются идеальным инструментом обучения, но в связи со сложностью математических моделей процессов горения и взрыва такие программы реализуются на специальных мощных аппаратно-программных комплексах и практически не имеют блоков визуализации динамической картинки процесса. Например, в работе [5] приводятся результаты численного моделирования распространения детонационных волн в профилированных каналах на многопроцессорной технике. Выполнение расчета производится на специальных мощных суперЭВМ, расчет занимает не менее 10 ч. Визуализация выполняется в виде иллюстраций состояния системы в различные моменты времени, которые строятся по результатам расчетов.

Для учебных целей по возможности применения в рассматриваемой области, ближе всего находится программный комплекс FlowVision. Модуль позволяет моделировать сложные движения жидкости и газа, включая течения с сильной турбулентностью, горением, течением со свободной поверхностью [6]. Программа имеет достаточно развитый блок визуализации, в котором расчетная область заполняется цветной заливкой со сплошным градиентом цвета. Цветовая гамма зависит от величины расчетного параметра: скорости потока, температуры, ускорений и др. Для количественной оценки расчета приводится цветовая шкала. Однако визуальный результат расчета выводится в виде статической картинки или их набора для различных моментов времени. Так же недостатком программы с точки зрения применения в учебных целях является то, что интерфейс программы реализуется через

элементы программирования, для освоение которого необходимо задалживать аудиторные часы прикладных дисциплин, а модель горения не вполне соответствует условиям, возникающим в горных выработках.

Цель работы. Раскрыть роль и значение применения виртуальной учебной лабораторий VL-MCE 1.0 «Моделирование распространения ударной воздушной волны в ударной трубе» в изучении дисциплин из цикла промышленной безопасности и охраны труда. Качественная оценка повышения эффективности подготовки инженера при использовании виртуальных лабораторий.

Изложение основного материала. Дидактическое обеспечение изучения теоретического курса дисциплин из цикла промышленной безопасности и охраны труда имеет достаточный объем. По дисциплинам «Охрана труда в отрасли», «Теория горения и взрыва» имеются учебники, по дисциплинам «Пожаровзрывобезопасность», «Предупреждение и ликвидация аварий», «Моделирование технологических процессов и систем» «Безопасность при ведении огневых работ» учебные пособия и конспекты лекций. Лабораторно-практический курс обеспечивается за счет издания собственных вузовских методических указаний. Тематика процессов горения и взрыва в этих дисциплинах, как правило ограничивается проведением практических занятий. Для специальностей направления 26 «Гражданская защита» по указанным дисциплинам (согласно требованиям квалификационной характеристики) необходимо формирование проектировочной функции в деятельности специалиста с уровнем подготовки магистр-профессионал и магистр-научный, что очень трудно развить без лабораторного практикума. Лабораторные работы позволят сформировать знания на уровне ПС (продуктивно-синтетические) и выработать знаково-умственные (ЗУ) и знаково-практические (ЗП) профессиональные умения на уровне С (самостоятельно).

Такой подход обоснован, по крайней мере, по двум причинам: 1) множество современных предприятий имеют технологические процессы относящиеся к опасному виду производств, в т.ч. по взрывам газа и пыли. Наличие у выпускника-магистра знаний и умений достаточно высокого уровня по количественной оценке опасностей производства жизненно необходимо в этой области. Об этом может свидетельствовать и недавняя широкомасштабная авария на нефтехранилище "БРСМ-Нафта", обобщенной причиной которой стала недооценка опасности этого вида деятельности. Ведь нельзя сказать, что инженерный и руководящий персонал не имел знаний по опасным факторам данного вида производства. Катастрофические последствия произошли из-за недооценки правил промышленной безопасности; 2) выпускники стационара, магистры, которые приходят работать на производство имеют меньше практических навыков профессиональных навыков в опасных видах производственных процессов, по сравнению с выпускниками заочной формы обучения. При этом в отличие от специалистов других областей, например, сварочного производства или машиностроения, они не сталкиваются с аналогичными процессами производства в быту или другой сфере деятельности. Поэтому на стадии обучения требуется формирование максимально уровня специализированно-профессиональных компетенций специалиста, в т.ч. на лабораторных занятиях.

Для изучения процессов горения и взрыва газовой среды, а также формирования и распространения ударных воздушных волн в протяженных каналах разработана интерактивная программа VL-MCE 1.0 – виртуальная лаборатория моделирования горения и взрыва. Сложность в разработке модели состоит в том, что в одной системе необходимо объединить два процесса: процесс химической кинетики горения и взрыва газовой смеси, который

представляют зависимостями физической химии и процесс формирования и распространения ударных воздушных волн, который описывается законами газовой динамики. До настоящего времени эти процессы рассматривались как самостоятельные задачи. В разработанной виртуальной лаборатории выполнено совместное решение этих задач в единой расчетной сетке методом крупных частиц.

Для решения поставленной задачи была произведена модификация метода крупных частиц для возможности ведения расчета в гетерогенной газовой среде.

Задача решалась путём использования методов численного счёта уравнений гидродинамики в системе "газовая взрывчатая среда – окружающая среда" [7]. Движение среды в цилиндрической системе координат описывается уравнениями Эйлера (в дивергентном виде):

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \bar{W}) &= 0, & \text{неразрывности;} \\ \left. \begin{aligned} \frac{\partial \rho u}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho u \bar{W}) + \frac{\partial P}{\partial z} &= 0, \\ \frac{\partial \rho v}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho v \bar{W}) + \frac{\partial P}{\partial r} &= 0 \end{aligned} \right\} & \text{движения;} \quad (1) \\ \frac{\partial \rho E}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho E \bar{W}) + \operatorname{div}(P \bar{W}) &= 0, & \text{энергии;} \end{aligned}$$

где ρ – плотность; P – давление; W – скорость; u, v – компоненты скорости W по оси z и r соответственно; z, r – цилиндрические координаты;

$E = J + \frac{1}{2}(u^2 + v^2)$ – полная энергия.

Для замыкания этой системы используются уравнение состояния среды (УРС). В качестве УРС продуктов взрыва и рудничной атмосферы используется уравнение состояния идеального газа:

$$P = (\gamma - 1)\rho \cdot J \quad (2)$$

где J – внутренняя энергия; γ – показатель адиабаты; ρ – плотность газа.

Таким образом, система уравнений (3) является замкнутой и полностью описывает среду при решении газодинамических задач.

Поскольку формирование избыточного

давления при взрыве определяется скоростью тепловыделения, то для ее расчета предлагается использовать уравнения химической кинетики газофазных реакций горения в форме Аррениуса [8]:

$$Q = q \cdot c_1^n \cdot c_2^m \cdot k(T), \quad (3)$$

где: q – тепловой эффект реакции, кДж/моль; c_1, c_2 – концентрации компонентов смеси (метан, кислород); n, m – порядок реакции; $k(T)$ – константа скорости химической реакции:

$$k(T) = Z \exp\left(-\frac{E}{RT}\right),$$

где Z – предэкспонент; E – энергия активации T – температура компонентов реакции, R – универсальная газовая постоянная.

Выделившееся в результате реакции тепло увеличивает внутреннюю энергию частиц газа J , зная которую, можно определить избыточное давление взрыва по уравнению состояния газа (2).

Таким образом, приведенный алгоритм численного счёта позволяет выполнять динамический расчет с выводом текущих параметров процесса в каждый момент времени в виде графиков и значений конкретных величин. На рис. 1 представлено окно виртуальной лаборатории в начальный момент времени, все параметры имеют исходное значение. В левой части окна показана расчетная область – продольное сечение цилиндрического канала, которым представлена модель горной выработки. Поскольку задача осесимметрична, то она решена в цилиндрической системе координат и для ускорения счёта на схеме представлена левая часть симметрии, т.е. левая граница – ось выработки, правая – стенка выработки. Верхняя граница расчетной области – тупиковая часть выработки, образованная взрывозащитным сооружением (рис. 1а). На схеме наглядно представлено соотношение длины области участка заполненного газовойоздушной смесью и расстояния до сооружения (рис. 1б). В этой части окна так же выводятся время от начала процесса, максимальное значения

концентрации метана в газозудной смеси, расстояние до тупика выработки, значение плотности и полного механического импульса, действующего на сооружение и время силового воздействия. В правой части окна выведены

динамические графики распределения значений параметров вдоль линии сечения 1-1. Графики выводятся группами по 4. Набор графиков в группе по задает пользователь.

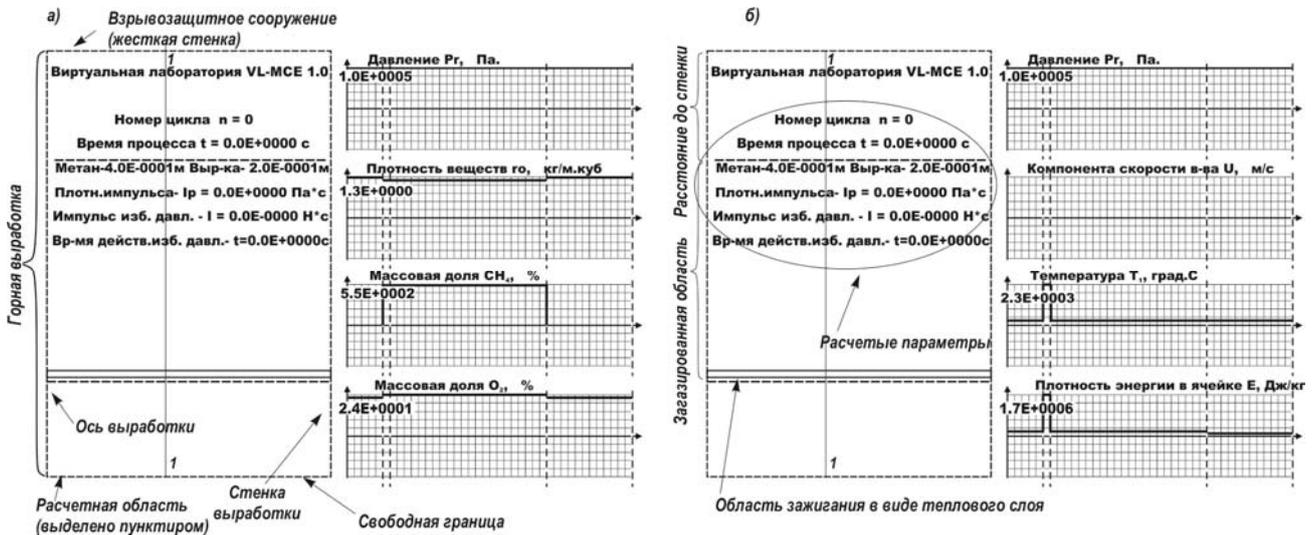


Рис. 1. Визуализация результатов расчета в виртуальной лаборатории VL-MCE 1.0: а) начальные условия с графиками давления, плотности и концентрации реакционных газов; б) начальные условия с графиками давления, скорости температуры и плотности внутренней энергии газового потока.

С точки зрения наглядности такая компоновка визуальной части программы позволяет исследователю полностью представить механику процесса, легко вникнуть и оценить количественные показатели газодинамики.

Очень важно для выработки профессиональных умений в вопросах безопасности горных работ в газовых шахтах видеть в динамике причинно-следственные связи между начальными параметрами и последующими эффектами распространения взрывных волн. Для этого графики строятся в вертикальной проекционной связи. При этом легко наблюдать как изменяются, например, во фронте горения или детонационной волны состав шахтной атмосферы, ее температура, плотность, избыточное давление, как распределяются эти параметры по сечению выработки как вдоль, так и поперек ее оси (рис. 2). В любой момент времени в программе есть возможность остановить расчет, проанализировать соотношение параметров и затем далее продолжить

расчет. Например, на рис. 2 приведены снимки части экрана (screenshot) с динамическими графиками. На снимке 2а мы можем наблюдать процесс зажигания газовой смеси: давление во фронте горения начинает расти (график давления), а метан и кислород выгорают (нижние графики содержания кислорода и метана в атмосфере). На рис. 2б-2е изображен последовательный процесс распространения детонации и ударной волны в протяженном канале, отражение ударной волны от взрывозащитного сооружения (жесткой стенки) в различные моменты времени.

Согласно хронометражным наблюдениям в репрезентативной выборке группы студентов, время на самостоятельные освоения инструкции по лабораторной работе и интерфейса программы на аудиторных занятиях составляет не более 10 мин. при условии предварительного изучения теоретического курса по теме на лекциях. Полное самостоятельное изучение темы и выполнение лабораторной работы для

студентов-заочников занимает 2 часа. Средний бал ответов на контрольные вопросы 3,75 (по пятибалльной шкале). При этом студент в состоянии количественно оценить возможные варианты развития

событий в аварийных ситуациях и соответственно планировать адекватные мероприятия по их предотвращению. Такие умения как правило молодой специалист приобретает на производстве.

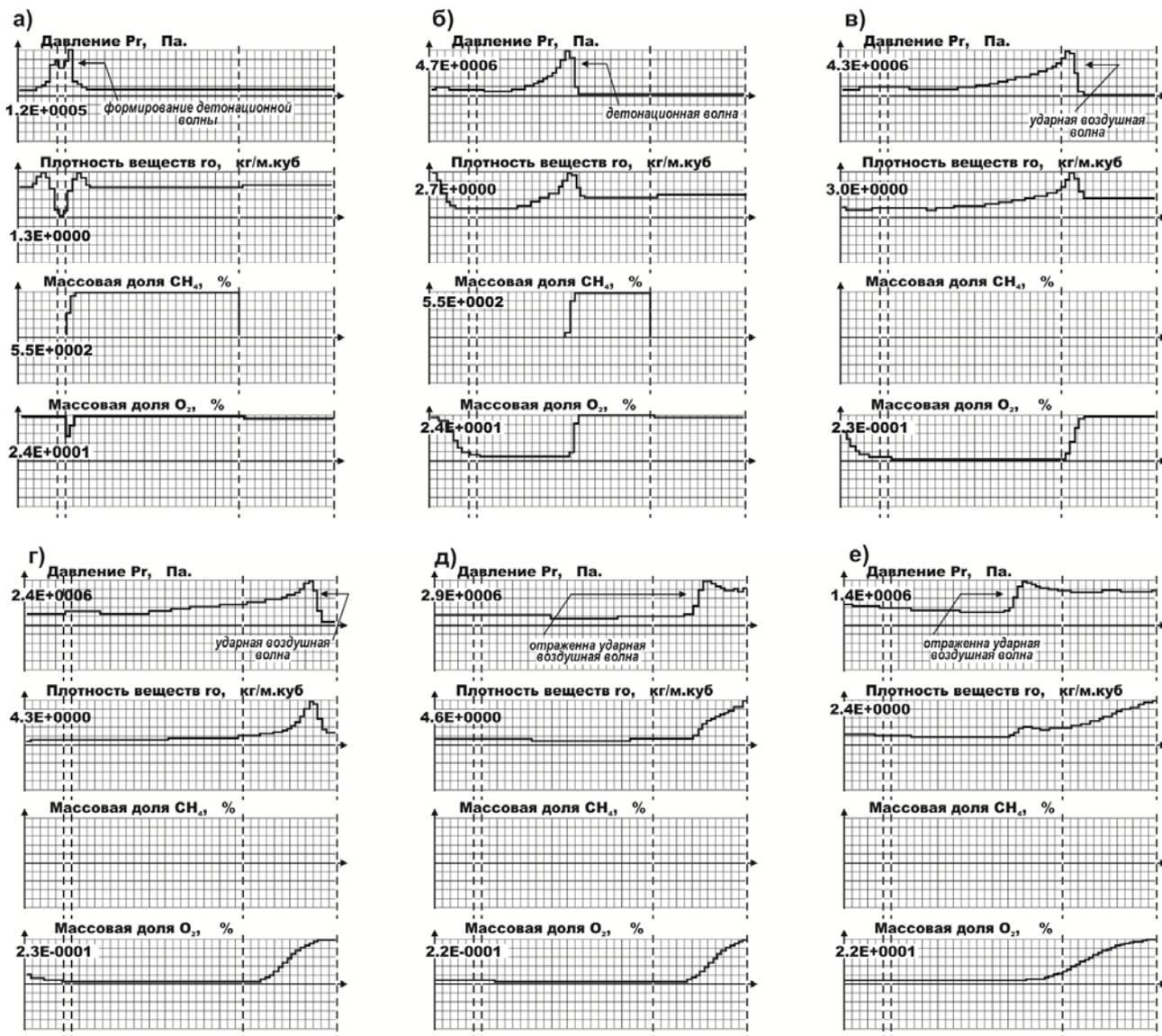


Рис. 2. Визуализация динамики процессов зажигания метановоздушной среды, распространения детонации и ударной волны в протяженном канале, отражение ударной волны от взрывозащитного сооружения (жесткой стенки): а) зажигание смеси, формирование детонационной волны, б) распространение фронта детонационной волны, в) переход детонационной волны в ударную, г) приближение ударной воздушной волны к взрывозащитному сооружению, д) отраженная ударная воздушная волна, е) распространение отраженной ударной волны по каналу

Для виртуальной лаборатории VL-MCE 1.0 в настоящее время разработаны лабораторные работы по пяти дисциплинам (табл.). Приведенные в табл. работы носят репродуктивный характер. Форма

организации студентов на лабораторных работах – фронтальная или групповая. Количество аудиторных часов на одну работу – 2.

Таблиця.

Лабораторные работ проводимые с использованием виртуальной лаборатории VL-MCE 1.0

Дисциплина	Тема лабораторной работы	Цель работы
Предупреждение и ликвидация аварий	Изучение методики изоляции аварийных участков протяженных сооружений.	Определение и анализ безопасных расстояний при выполнении работ по изоляции аварийных участков в зависимости от размеров загазированной области.
Теория горения и взрыва	Изучение режимов горения углеводородов.	Определение и анализ скорости распространения фронта горения для различных углеводородов. Определение типа горения: дефлаграция, детонация.
	Изучение влияния параметров источника зажигания на режим горения.	Определение и анализ скорости энерговыделения в зависимости от размеров и температуры источника зажигания.
Пожаровзрывобезопасность	Изучение степени опасности атмосферы на производственном участке по треугольнику взрываемости.	Определение и анализ условий зажигания метановоздушной среды, условий затухания вспышек и развития взрывов.
	Изучение эффектов отражения ударных волн в тупиковых частях каналов.	Определение и анализ параметров ударных воздушных волн при их полном отражении.
Охрана труда в отрасли	Изучение параметров распространения взрывных волн по протяженному каналу, подземной выработке.	Определение избыточного давления в ударной волне, установление характера влияния на его величину шероховатости и теплообмена со стенками выработок.
Моделирование технологических процессов и систем	Изучение устойчивости взрывозащитных сооружений к импульсным воздействиям.	Определение и анализ плотности импульса воздействия ударной волны на взрывозащитное сооружение.

Результаты применения виртуальной лаборатории в учебном процессе были обсуждены на научно-методичном и методичном семинаре кафедры безопасности жизнедеятельности ПДАБА.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Применение виртуальной лаборатории на стандартном 2-х часовом занятии при изучении дисциплин из цикла промышленной безопасности и охраны труда позволит выработать знаково-

умственные и знаково-практические профессиональные умения на уровне С (самостоятельно).

В перспективе исследований разработка тематики лабораторных работ для виртуальной лаборатории VL-MCE 1.0 с частично-поисковым и поисковый характером, а также индивидуальной формой организации её выполнения. Для этого необходимо в т.ч. модернизировать интерактивную часть программы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Трухин А. В. Об использовании виртуальных лабораторий в образовании / А. В. Трухин // Открытое и дистанционное образование. – 2002. – № 4(8). – С. 52–58.
2. Современные проблемы исследования быстропротекающих процессов и явлений катастрофического характера : к 75-летию В. П. Коробейникова / [отв. ред. : О. М. Белоцерковский, В. В. Марков, И. В. Семенов]. – Москва : Наука, 2007. – 223 с. – (Информатика : неограниченные возможности и возможные ограничения).
3. VirtuLab. Виртуальная образовательная лаборатория – Режим доступа: <http://www.virtulab.net>. – Проверено 18.03.2019.
4. Трухин А. В. Виды виртуальных компьютерных лабораторий / А. В. Трухин // Информационные технологии в высшем образовании. – Алматы, 2005. – Т. 2. – № 2. – С. 58–67.
5. Семенов И. В. Численное моделирование двумерных детонационных течений на многопроцессорной вычислительной технике / И. В. Семенов, П. С. Уткин, В. В. Марков // Вычислительные методы и программирование. – 2008. – Т. 9. – Вып. 1. – С. 119–128. – Режим доступа: http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=vmp&paperid=426&option_lang=rus. – Проверено 18.03.2019.
6. Система моделирования движения жидкости и газа FlowVision : ТУ ОКП 50 3000 / [А. А. Аксенов, В. И. Похилко, А. А. Дядькин, А. Сельвачев]. – Москва, 2007. – 265 с. – Режим доступа: https://flowvision.ru/images/pdf_folder/TechCondFV.pdf. – Проверено 18.03.2019.

7. Налисько Н. Н. Газодинамический расчет параметров распространения воздушных ударных волн в горных выработках / Н. Н. Налисько // Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського. – Кременчук : КрНУ, 2013. – Вып. 5(82). – С. 136–144
8. Чернай А. В. Обоснование новых подходов к расчету параметров взрывного горения газозвоздушных смесей в выработках угольных шахт / А. В. Чернай, Н. Н. Налисько // Техногенні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання : матеріали 3-ї міжнар. наук.-техн. конф. (22-24 травня 2013 р., м. Дніпропетровськ) / Нац. гірн. ун-т. – Дніпропетровськ : НГУ, 2013. – С. 132–143.

REFERENCES

1. Truhin A.V. *Ob ispolzovanii virtualnykh laboratorij v obrazovanii* [About usage of virtual laboratories in education]. *Otkrytoe i distancionnoe obrazovanie*. [Open and distance education]. 2002, no. 4 (8), pp. 52–58. (in Russian).
2. Belocerkovskiy O.M., Belocerkovskiy O.M., Markov V.V. and Semenov I.V. Eds. *Sovremennyye problemy issledovaniya bystroprotekeyushhih processov i yavleniy katastroficheskogo haraktera:k 75-letiyu V.P. Korobeinikova* [Present-day research problems of fast processes and phenomena of disastrous character: Korobeynikov V.P. 75th anniversary]. *Informatika: neogranichennyye vozmozhnosti i vozmozhnyye ogranicheniya* [Informatics: unlimited possibilities and possible limits]. Moskva: Nauka, 2007, 233 p. (in Russian).
3. *VirtuLab. Virtualnaya obrazovatel'naya laboratoriya* [VirtuLab. The virtual educational lab]. Available at: <http://www.virtulab.net>. (in Russian).
4. Truhin A.V. *Virtualnaya obrazovatel'naya laboratoriya* [Types of virtual computer laboratories]. *Informacionnyye tehnologii v vysshem obrazovanii*, [Informational technologies in higher education]. Almaty, 2005, vol. 2, no. 2, pp. 58–68. (in Russian).
5. Semenov I.V., Utkin P.S. and Markov V.V. *Chislennoe modelirovaniye dvumernykh detonacionnykh techeniy na mnogoprocessornoj vychislitel'noy tekhnike* [The numerical modelling of two-dimensional detonation flows on multiprocessor computing equipment]. *Vychislitel'nyye metody i programmirovaniye* [computational methods and programming]. 2008, vol. 9, iss. 1, pp. 119–128. Available at: http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=vmp&paperid=426&option_lang=rus. (in Russian).
6. Aksenov A.A., Pohilko V.I., Djadkin A.A. and Selvachev A. *Sistema modelirovaniya dvizheniya zhidkosti i gaza FlowVision*, [The modeling system of liquid and gas movement FlowVision]. 2007, Moskva, 265p. Available at: https://flowvision.ru/images/pdf_folder/TechCondFV.pdf. (in Russian).
7. Nalisko N.N. *Gazodinamicheskiy raschet parametrov rasprostraneniya vozdushnykh udarnykh voln v gornykh vyrabotkakh* [Gas-dynamic calculation of shock air wave propagation parameters in mine working]. *Vesnik Kremenchugskogo Natsionalnogo universiteta im. Mihaila Ostrogradskogo* [Bulletin of national Kremenchuk university named after Mikhail Ostrogradsky]. Kremenchuk: KrNU, 2013, iss. 5/(82), pp. 136–144. (in Russian).
8. Chernay A.V. and Nalisko N.N. *Obosnovaniye novykh podhodov k raschetu parametrov vzryvnogo goreniya gazovozdushnykh smesey v vyrabotkakh ugolnykh shaht* [Substantiation of new approaches to parameters calculation of explosive combustion of gas-air mixtures in mine workings]. *Materialy nauchnogo seminar "Vysokojenergeticheskaya obrabotka materialov i modelirovaniye vzryvnykh processov"*, 25-27 Maya, 2013 [Materials of scientific seminar "High-energy treatment of materials and modeling of explosion processes, dated on 25-27 May, 2013]. Dnepropetrovsk: NGU, 2013, iss. 10, pp. 147–151. (in Russian).

Рецензент: Бєліков А. С., д-р техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 17.09.2018 р.