

ИМПЛЕМЕНТАЦИЯ МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ В МОДАЛЬНОСТЬ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ВИРТУАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

А.А. Кузьмин, кандидат педагогических наук, доцент;

Н.Н. Романов, кандидат технических наук, доцент.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Проанализированы проблемы использования метода наименьших квадратов при обработке результатов виртуального эксперимента. Предложены программные решения для эмуляции хода виртуального эксперимента, излагаются результаты педагогического эксперимента.

Ключевые слова: виртуальный лабораторный эксперимент, обработка результатов измерений, метод наименьших квадратов, погрешность измерения, коэффициент Стьюдента

THE METHOD OF LEAST SQUARES IMPLEMENTATION IN THE MODALITY OF THE VIRTUAL LABORATORY EXPERIMENT RESULTS PROCESSING

A.A. Kuzmin; N.N. Romanov. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

We analyzed the problems of using the least squares method in virtual experiment results processing. We offered software solutions to emulate virtual experiment, and outlined the results of the pedagogical experiment.

Keywords: virtual laboratory experiment, measuring results processing, least squares method, measurement error, Student's coefficient

Конфуций писал: «Скажи мне – и я забуду; покажи мне – и я запомню; дай мне действовать самому – и я научусь». Этот педагогический принцип является актуальным до сих пор. В пожарно-технических вузах лабораторный эксперимент (в ансамбле с иным изучением фундаментальных и технических наук) всегда лежал в основе профессионального образования будущих специалистов МЧС России, так как профессиональная компетентность сотрудников федеральной противопожарной службы (ФПС) предполагает наличие умений и навыков, связанных с измерением величин различных параметров и обработкой результатов этих измерений.

Однако специфика пожарно-технического образования предполагает изучение физических и химических процессов, протекающих достаточно продолжительное время (например, измерение теплофизических свойств теплоизоляционных и конструкционных материалов, прогрев строительных конструкций или самовозгорание), при этом применение виртуальных моделирующих комплексов требует адекватной продолжительности лабораторных занятий, что не всегда может вписаться в современные динамически насыщенные планы обучения [1]. Решением указанной проблемы могло бы быть временное масштабирование моделируемых процессов, а так же проведение комплексных расчетно-лабораторных занятий, продолжительностью четыре–шесть академических часов, в течение которых:

– моделировался физико-химический процесс во временном масштабе, максимально приближенным к естественно протекающему процессу;

– было выполнено достаточное количество измерений, позволяющее получить необходимый навык их проведения.

Однако используемые в учебном процессе большинства технических вузов моделирующие комплексы не предполагают выполнение массива измерений, результаты которых требовали бы применение статистических методов при их обработке. Это является существенным недостатком по сравнению с натурным экспериментом, в котором применяются статистические методы для оценки возможности использования полученных результатов для решения практических задач пожарного дела [2].

Для решения обозначенной проблемы представляется целесообразным:

- предложить вариант программной реализации рандомизирования измеряемых в ходе виртуального эксперимента параметров;
- определить структуру и сформировать методическое обеспечение процесса обработки результатов измерений, предусматривающее использование статистических методов;
- провести педагогический эксперимент по использованию статистических методов при обработке результатов виртуального лабораторного эксперимента и оценить его результаты.

В качестве «полигона» внедрения предлагаемой педагогической технологии был выбран виртуальный лабораторный эксперимент по определению теплоемкости конструкционных материалов в рамках лабораторного практикума дисциплины «Специальные главы теплотехники». Это было обусловлено целями данного лабораторного эксперимента: измерение зависимости повышения температуры исследуемого образца в муфельной печи от времени; вычисление по результатам измерений удельной теплоемкости образца и температурного коэффициента теплоемкости; оценка величины погрешности в измерении полученных результатов. Вид виртуальной лабораторной установки по определению теплоемкости конструкционных материалов представлен на рис. 1.

Для преобразования данных, выводимых на индикацию информационного окна виртуальной лабораторной установки «Определение теплоемкости конструкционных материалов», в UNIT-модуль исходного текста программы была внедрена процедура, модифицирующая содержание двумерных массивов «температура образца – текущее время эксперимента». Для этого была использована стандартная функция `Random (I)`, которая генерирует значение случайного числа из диапазона $0 \dots I$, при этом тип результата является целочисленным, при этом, чтобы генерируемые случайные числа были «более случайными», были предусмотрены периодические изменения в базе генерации, для чего использовалась процедура `Randomize`, которая при инициализации загружает новую базу в генератор случайных чисел. Соответствующий алгоритм представлен на рис. 2.



Рис. 1. Вид виртуальной лабораторной установки по определению теплоемкости конструкционных материалов

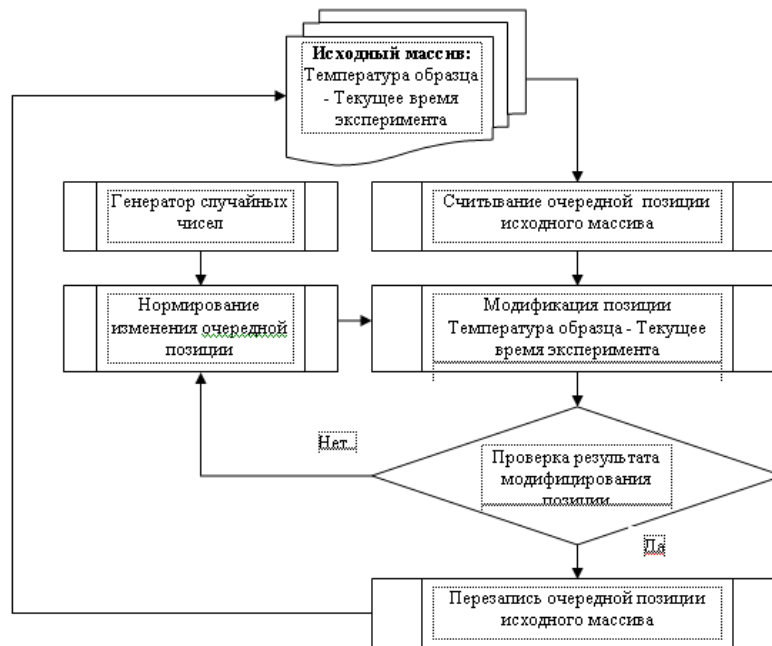


Рис. 2. Алгоритм преобразования данных, выводимых на индикацию информационного окна виртуальной лабораторной установки

Для формирования методического обеспечения процесса обработки результатов измерений, которое бы предусматривало использование статистических методов, был проведен опрос экспертов по выбору ее возможной структуры. Экспертам – преподавателям дисциплин, рабочие программы которых предусматривали выполнение натуральных и виртуальных лабораторных экспериментов, были предложены следующие варианты:

- пример обработки результатов похожего эксперимента;
- набор уравнений в соответствии со спецификой выполняемого эксперимента;
- дополнение набора уравнений в соответствии со спецификой выполняемого эксперимента рекомендациями по использованию стандартного программного обеспечения, например MS EXCEL;
- включение в программный комплекс процедур, которые бы позволили проводить необходимые операции в автоматическом режиме.

Из 14 опрошенных экспертов третий вариант предпочли девять с коэффициентом конкордации, равным 0,74. Поэтому при обработке результатов виртуального эксперимента последовательно определялось:

- значение z , связанное с темпом нагревания $\exp(z) = \frac{\Delta t_o}{\Delta \tau}$ для пяти измерений:

$$z = \frac{\sum_{i=1}^7 \tau_i^2 \sum_{i=1}^7 \ln\left(\frac{\Delta t_i}{\Delta \tau}\right) - \sum_{i=1}^7 \left[\tau_i \ln\left(\frac{\Delta t_i}{\Delta \tau}\right) \right] \sum_{i=1}^7 \tau_i}{7 \sum_{i=1}^7 \tau_i^2 - \left(\sum_{i=1}^7 \tau_i \right)^2};$$

- величина удельной теплоемкости образца для температуры 0 °С:

$$c_o = \frac{\sum_{i=1}^5 t_i^2 \sum_{i=1}^5 c_{o,i} - \sum_{i=1}^5 [t_i c_{o,i}] \sum_{i=1}^5 t_i}{5 \sum_{i=1}^5 t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^5 t_i \right)^2};$$

– величина температурного коэффициента теплоемкости':

$$\beta' = \frac{5 \sum_{i=1}^5 t_i c_{o,i} - \sum_{i=1}^5 c_{o,i} \sum_{i=1}^5 t_i}{5 \sum_{i=1}^5 t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^5 t_i \right)^2};$$

– значение дисперсии точек:

$$S_o^2 = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^5 c_{o,i}^2 - \frac{1}{15} \left[\sum_{i=1}^5 c_{o,i} \right]^2 - \frac{\left[5 \sum_{i=1}^5 (t_i c_{o,i}) - \sum_{i=1}^5 t_i \sum_{i=1}^5 c_{o,i} \right]^2}{15 \left[5 \sum_{i=1}^5 t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^5 t_i \right)^2 \right]};$$

– дисперсия значений удельной теплоемкости:

$$S = \frac{S_o^2 \sum_{i=1}^5 t_i^2}{5 \sum_{i=1}^5 t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^5 t_i \right)^2};$$

– величина погрешности измерения удельной теплоемкости:

$$\Delta c_o = t_{\alpha,5} S,$$

где $t_{\alpha,5}=2,8$ – коэффициент Стьюдента для пяти измерений и вероятности 0,95.

Для уменьшения трудоемкости расчетов предлагается использовать табл. 1 промежуточных результатов вида.

Таблица 1. Промежуточные результаты вычисления дисперсии

№ режима	1	2	3	4	5	Σ
$t_i, ^\circ\text{C}$						$\sum t_i =$
$t_i^2, (^\circ\text{C})^2$						$\sum t_i^2 =$
$c_{o,i}, \text{кДж}/(\text{кг } ^\circ\text{C})$						$\sum c_{o,i} =$
$t_i c_{o,i}, \text{кДж}/\text{кг}$						$\sum t_i c_{o,i} =$
$c_{o,i}^2, (\text{кДж}/\text{кг } ^\circ\text{C})^2$						$\sum c_{o,i}^2 =$

При использовании стандартного программного обеспечения (табличного процессора MS EXCEL) трудоемкость вычислительных операций существенно сокращается. Например,

при вычислении дисперсии результатов измерения удельной теплоемкости материала для температуры 0 °С можно использовать стандартную статистическую функцию «ДИСПР».

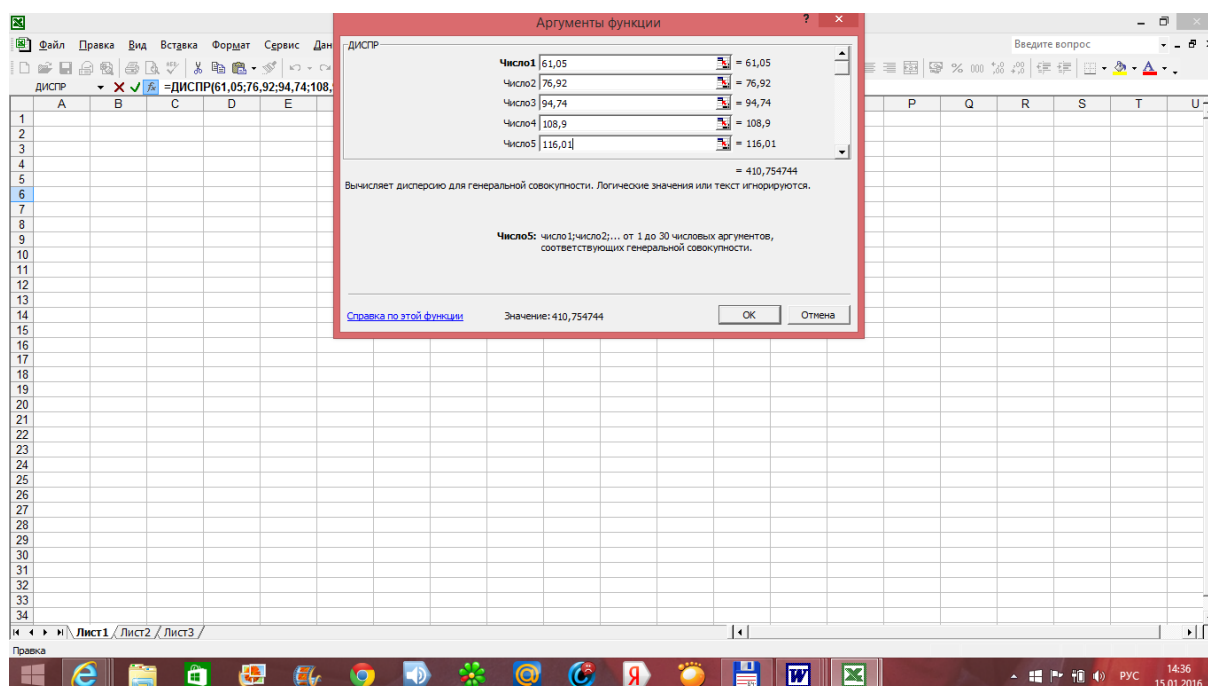


Рис. 3. Вид экрана ПК при использовании стандартной статистической функции «ДИСПР» табличного процессора MS EXCEL

В педагогическом эксперименте участвовали 43 обучающийся на 4 курсе по специальности «Пожарная безопасность»; 21 обучающийся в экспериментальной группе и 22 обучающихся в контрольной группе, при этом была использована параллельная схема проведения эксперимента, результаты которого представлены в табл. 2. Остаточные знания были оценены в ходе проведения двух предлабораторных коллоквиумов (по пять вопросов в каждом) и защите результатов в процессе выполнения последующих лабораторных экспериментов.

Таблица 2. Результаты контрольного опроса при измерении остаточных знаний

Баллы		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Эксперимент-курсанты (n=21)	Ответы	0	0	2	1	3	5	0	8	3	1
	Σ баллов	0	0	6	4	15	30	0	64	27	10
Контрольная-курсанты (n=22)	Ответы	0	0	0	1	6	9	4	1	1	0
	Σ баллов	0	0	0	4	30	54	28	8	9	0
Коэффициент достоверности									0,287		
t-Стьюдент для P<=0,05									2,024		

Статистическая значимость результатов контрольного опроса и смещение центра распределения в сторону более высоких баллов объективных показателей остаточных знаний позволяет сделать вывод об эффективности использования предлагаемой педагогической технологии. Кроме того, анализ результатов педагогического эксперимента показывает, что имплементация статистических методов в процедуру обработки результатов виртуального лабораторного эксперимента не проявилась в форме отрицательного влияния на соблюдение графика выполнения лабораторных работ.

Литература

1. Баскин Ю.Г., Сапрыкин И.И., Елисеев Д.А. Опыт использования виртуальных кейс-технологий при самостоятельном проведении лабораторного эксперимента // Вестник С.-Петерб. ин-та ГПС МЧС России. 2006. № 4 (15).
2. Белявцев А.И., Кузьмин А.А. Структура моделирующего комплекса виртуальной теплофизической лаборатории: материалы конф. стран СНГ «Современный физический практикум». Самара: СГУ, 2000. С. 123–124.