



ISSN 1561-4212  
декабрь, 2014 г.

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ■ ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛ

Д. Серікбаев  
атындағы  
Шығыс Қазақстан  
мемлекеттік техникалық  
университетінің

**ХАБАРШЫСЫ**



**ВЕСТНИК**

Восточно-Казахстанского  
государственного технического  
университета  
имени  
Д. Серикбаева

4

Регистрационный № 145-ж

№ 4 (66), декабрь, 2014

Основан в 1993 году

Выходит 4 раза в год

---

Ғылыми журнал

Д. Серікбаев атындағы  
Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық  
университетінің

**ХАБАРШЫСЫ**



**ВЕСТНИК**

Восточно-Казахстанского государственного  
технического университета  
им. Д. Серикбаева

Научный журнал



Бас редакторы - Главный редактор

**Н.М. Темирбеков**

ректор, профессор

<i>Жанарова А.Г., Квасов А.И.</i> Балама энергия көзімге біріктіріліп жасалған автономды жарық диодтарының төменгі вольтты жарықтандыру жүйесі	52
<i>Килжибекова А.К., Приходько Е.В.</i> Аз қуатты қазандықтардың жұмыс тиімділігін талдау	59
<i>Лопухов Ю.И., Габдысәліқ Р.</i> Жылуэнергетикадағы қосылыстар технологиялығын және МАГ балқыту шарттарында дисперсиялы қағатын бслаттың қызметтік қасиеттерін жоғарылату	63
<i>Лопухов Ю.И., Қабдуллина Д.С.</i> ІОХІ7Н8С3Г2Т және ІОХІ9Н9С5М2РГТ балқытылған металға дилатометриялық зерттеулер	70

## ҚҰРЫЛЫС ЖӘНЕ СӘУЛЕТ

<i>Новиков Ю.М.</i> Темірбетон көпірлерінің жүретін жол бөлігі тактасының кернеуді-деформациялық жағдайын кеністіктік үлгі бойынша зерттеу	75
--	----

## ЭКОЛОГИЯ

<i>Боғатырев М.Ф., Боғатырев А.М., Даниленко Т.М.</i> Қоршаған ортағы зерттеу флора	79
<i>Боғатырев М.Ф., Боғатырев А.М.</i> Өндіріс эволюциялығының көрсеткіштері туралы	84
<i>Сейтқазиев А.С., Шилібек К.К., Салыбаев С.Ж., Жанарова С.Б.</i> Тұщандық жерлердің гидротермиялық режимін реттеу принциптерін эволюциялық бағалау	86
<i>Хаймулдинова А.К., Мамзин Б.Б., Ибулатов А.Б.</i> Қоршаған органы қорғау жағдайлары мен өндіріс өнеркәсіптеріндегі пандар	91

МАТЕМАТИКА, ФИЗИКА,  
ХИМИЯ, ИНФОРМАТИКА

<i>Боранбаев С.А., Оралбекова Ж.О.</i> Георадар сигналдарының түсіндірмелері және үшөлшемді көрсеткіштерді компьютермен модельдеу	96
---	----

<i>Жанарова А.Г., Квасов А.И.</i> Автономные светодиодные низковольтные системы освещения, интегрированные с альтернативными источниками энергии	52
<i>Килжибекова А.К., Приходько Е.В.</i> Анализ эффективности работы котлов малой мощности	59
<i>Лопухов Ю.И., Габдысәліқ Р.</i> Повышение технологичности и служебных свойств дисперсионно-твердеющих сталей в условиях наплавки МАГ для теплоэнергетической арматуры	63
<i>Лопухов Ю.И., Кабдуллина Д.С.</i> Дилатометрические исследования наплавленного металла ІОХІ7Н8С3Г2Т и ІОХІ9Н9С5М2РГТ	70

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

<i>Новиков Ю.М.</i> Исследование напряжённо-деформированного состояния плиты проезжей части железобетонных мостов по пространственной модели	75
--	----

## ЭКОЛОГИЯ

<i>Боғатырев М.Ф., Боғатырев А.М., Даниленко Т.М.</i> Исследования окружающей среды: флора	79
<i>Боғатырев М.Ф., Боғатырев А.М.</i> О показателе экологичности производства	84
<i>Сейтқазиев А.С., Шилібек К.К., Салыбаев С.Ж., Жанарова С.Б.</i> Экологическая оценка принципов регулирования гидротермического режима засоленных земель	86
<i>Хаймулдинова А.К., Мамзин Б.Б., Ибулатов А.Б.</i> Пыль промышленных предприятий и охрана окружающей среды	91

МАТЕМАТИКА, ФИЗИКА,  
ХИМИЯ, ИНФОРМАТИКА

<i>Боранбаев С.А., Оралбекова Ж.О.</i> Компьютерное моделирование трехмерной визуализации обработки и интерпретации сигналов георадара	96
--	----

7. Харке В. Объединение в сеть бытовой техники и системы коммуникаций в жилищном строительстве // Умный дом. – М.: Техносфера, 2006. – 288 с.
8. Gyorok, S. Grigoryeva, "Search of optimal parameters for work of LED lighting system", International scientific-practical conference "Green Economy - the future of humanity", vol.2, pp. 62-71, May 2014, Ust-Kamenogorsk.
9. Adding Intelligence to Lighting Applications. LED Lighting Design Guide. Microchip Technology. Inc., 2008 ([www.microchip.com](http://www.microchip.com)).
10. Богданов С.В. Умный дом. – СПб.: Наука и техника, 2005. – 208 с.
11. Тесля Е. «Умный дом» своими руками. Строим интеллектуальную цифровую систему в своей квартире. – Санкт-Петербург, 2008. – 224 с.
12. Элсенпитер Р.К. «Умный дом» строим сами / Р.К. Элсенпитер, Т.Д. Велт. – М.: КУДИЦ-Образ, 2005. – 384 с.

Получено 3.11.2014

УДК 621.184

**А.К. Кинжибекова**

Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар

**Е.В. Приходько**

Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, г. Павлодар

#### АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЛОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Анализ реального состояния инфраструктуры котлов малой мощности (автономных котельных установок) показал, что большая часть котельного оборудования устарела и требует комплексной модернизации основных фондов. Коэффициент полезного действия (КПД) данных агрегатов колеблется в пределах до 60 %, а у некоторых среднестатистический коэффициент полезного использования энергии составляет не более 40 %, то есть около половины тепловой энергии, генерируемой в котельных, теряется на непроизводительные цели (подготовка и сжигание топлива, подготовка и циркуляция воды, потери теплоты через неэффективную теплоизоляцию и др.).

Так, тепловые потери в окружающую среду превышают нормативные. Объяснение этому кроется в просчётах при конструировании, неудовлетворительном состоянии обмуровки при эксплуатации (наблюдается нарушение не только теплоизоляционных свойств обмуровки, но и нарушение герметичности котла, что влияет на потери теплоты теплопроводностью и с уходящими газами), применении материалов, не подходящих для использования в нерасчётных условиях. При этом в абсолютном большинстве используются материалы, не отвечающие конъюнктуре рынка и современным требованиям, предъявляемым к теплоизоляционным материалам.

Процессы, связанные с эффективной работой котлов малой мощности, использующих слоевой метод сжигания топлива, можно рассматривать как случайные и анализировать их с помощью вероятностных методов. Для эффективного анализа работы этих агрегатов необходимо выявить взаимосвязи между факторами, определяющими ход процесса, и выходом данного процесса, а также представить их в количественной форме – в виде математической модели:

$$q = q(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

где  $q$  – коэффициент полезного действия котла;  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – факторы, оказывающие влияние на ход этого процесса.

Необходимо получить не только вид данной зависимости, опираясь на данные эксперимента, но и оценить влияние каждого фактора на величину к.п.д.

Зависимость (1) на практике часто бывает неизвестна, и тогда её пытаются найти путем обработки экспериментальных данных. Данная задача решается методом наименьших квадратов [1-4].

Малые котельные Павлодарского региона включают в себя достаточно широкий спектр котлов как по производителю, так и по году изготовления. Это такие котлы, как «Универсал», «Энергия», «Тула», «Братск», «Минск», «Жально», КВ, КТ и др.

Для определения основных факторов, влияющих на коэффициент полезного действия котла, сжигающего топливо слоевым методом, были рассмотрены водогрейные котлы типа КВ производства ТОО «Пётр и К» (г. Павлодар). Водогрейные котлы этого типа, мощностью 0,4; 0,6; и 1,0 Гкал, предназначены для сжигания твёрдого топлива (газообразное топливо – на заказ).

Они сжигают следующие виды топлива: экибастузский и майкубенский каменные угли. Характеристика органической и минеральной части данных углей представлены в табл. 1.

Исходя из анализа оценки влияния различных факторов на коэффициент полезного действия котла при слоевом сжигании топлива, в качестве факторов эксперимента выбираем:

- $x_1$  – теплота сгорания топлива, ккал/кг;
- $x_2$  – химический и механический недожог, %;
- $x_3$  – унос, %;
- $x_4$  – потери тепла в окружающую среду, %;
- $x_5$  – размеры кусков топлива, мм.

Таблица 1

*Характеристика органической и минеральной части  
экибастузского и майкубенского углей*

Показатель	Экибастузский	Майкубенский уголь		
	$A^d = 45\%$	$A^d = 13\%$	$A^d = 22\%$	$A^d = 28\%$
Рабочая влажность $W_r^r$ , %	5,0	18,0	18,0	18,0
Гигроскопическая влажность $W^{гм}$ , %	2,5	9,5	9,0	8,7
Выход летучих веществ $V^{лв}$ , %	30,4	41,1	42,1	42,9
Содержание серы $S_i^d$ , %	0,5	0,62	0,52	0,46
Теплота сгорания $Q_i$ , ккал/кг	3850	4670	4090	3700

В табл. 2 представлены интервалы варьирования факторов эксперимента.

Таблица 2

*Интервалы варьирования факторов эксперимента*

Факторы	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
Основной уровень ( $x_i = 0$ )	4180	10	20	2	60
Интервал варьирования	485	2,8	1	1	20
Верхний уровень ( $x_i = +1$ )	4670	12,8	21	3	100
Нижний уровень ( $x_i = -1$ )	3700	8,2	19	1	40

Верхний и нижний уровни - это предельные значения варьируемых переменных. Область планирования эксперимента:  $-1 \leq x_i \leq 1$ . Это было получено путем перехода к безразмерным переменным или к так называемому кодированию факторов:

$$x_i = \frac{a_i - \bar{a}_i}{|\Delta a_i|},$$

где  $a_i$  - фактор (значение  $i$ -й переменной в натуральном масштабе измерения);  $\bar{a}_i$  - средний уровень;  $|\Delta a_i|$  - шаг варьирования.

Таким образом, фактор  $x_i$  принимает значение только на двух уровнях. Без ограничения общности можно считать, что эти значения суть  $+1$  и  $-1$ . В дальнейшем будем обозначать эти величины соответственно знаком «+» и «-».

В табл. 2 представлены основные факторы эксперимента и пределы их изменения, т.е. условия проведения опытов в некоторых границах. Эти экспериментальные точки могут быть выбраны с условием достижения точности оценок. В этом и заключается основная идея планирования эксперимента: добиться требуемых свойств (например максимальной точности), выбирая условия проведения опытов.

Из физических соображений можно предположить, что взаимосвязь (1) имеет следующий вид:

$$y(b, x) = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n b_{ik} x_i x_k + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n b_{ikl} x_i x_k x_l + \dots + b_{12\dots n} x_1 x_2 \dots x_n, \quad (2)$$

где  $b_0$  - свободный член, равный выходу при  $x=0$ ;  $b_i$  - коэффициент регрессии, указывающий влияние фактора на процесс;  $b_{ij}$  - коэффициенты регрессии, определяющие степень воздействия на процесс взаимодействия факторов.

Определив коэффициенты регрессии этого уравнения, получим представление о влиянии изучаемых факторов на величину тепловых потерь. Расчет коэффициентов регрессии ведется по следующим формулам [1]:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \bar{q}_j x_i^j, \quad i = 0, \dots, n, \quad (3)$$

$$b_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{r=1}^N \bar{q}_r x_i^r \dots x_j^r, \quad i, j = 1, 2, \dots, n,$$

где  $\bar{q}_j$  - значение среднего выхода процесса в  $j$ -м варианте;  $x_i^j$  - значение фактора в  $j$ -м варианте.

Для оценки значимости коэффициентов регрессии необходимо найти их выборочную дисперсию  $S^2[b_i]$ . Значимость коэффициентов регрессии определяется по неравенству

$$b_i > S[b_i] \cdot t_p(f), \quad (4)$$

где  $t_p(f)$  - коэффициент Стьюдента для заданной достоверности  $p$  и числа степеней свободы  $f = (v-1) \cdot N$ .

Таким образом, математическая модель данного процесса может быть достаточно точно описана с помощью интерполяционной формулы (2) с учетом оценки влияния каждого из факторов эксперимента на целевую величину.



Необходимое число экспериментов для нашего исследования составляет величину:  $N=2^n$ , где  $n$  – количество исследуемых факторов. Для получения оценок коэффициентов модели типа (2) в принципе можно использовать полные факторные планы. Однако, как правило, модель включает не все, а лишь некоторые взаимодействия первого порядка (парные взаимодействия), редко взаимодействия второго порядка и почти никогда не содержит взаимодействий выше третьего порядка [1].

Для упрощения задачи будем рассматривать только линейную модель процесса без учета парных взаимодействий. Постановка задачи формулируется следующим образом: требуется экспериментальным путем найти интерполяционную формулу, с помощью которой можно было бы описать зависимость коэффициента полезного действия котла при слоевом сжигании топлива от перечисленных пяти факторов:

$$y(b, x) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5. \quad (5)$$

В каждой экспериментальной точке поставим по два эксперимента. Для расчета оценок коэффициентов будем использовать среднее арифметическое этих наблюдений для каждой точки  $\bar{y} = \frac{\hat{y}^1 + \hat{y}^2}{2}$ . Далее, базируясь на данных экспериментов, рассчитываем оценки коэффициентов по формулам (3) и получаем вид интерполяционной формулы (5). Последним этапом является оценка значимости коэффициентов регрессии и проверка адекватности модели.

Как было уже сказано выше, количество основных факторов, влияющих на величину КПД котла, равно 5. Поэтому количество взаимодействий  $N = 2^n = 2^5 = 32$ . Таким же будет минимальное количество необходимых опытов. Так как наша цель состоит в том, чтобы, пользуясь по возможности малым числом опытов, извлечь необходимую информацию об исследуемом объекте, оказывается целесообразным для построения модели типа (1) применить дробный факторный план.

Дробные планы типа  $2^{n-p}$  строятся так же, как и для линейных моделей, т.е. матрицу полного факторного плана для  $(n-p)$  основных факторов дополняют столбцами, элементы которых представляют произведения элементов определённых столбцов основных факторов. Обычно предполагается, что только некоторые парные взаимодействия и взаимодействия высших порядков являются значимыми. При этом значимые взаимодействия рассматриваются как самостоятельные факторы, а незначимые приравниваются к факторам, не вошедшим в число основных. Для определения способа образования каждого из  $p$  столбцов дробного факторного плана вводится понятие генератора плана. Генератор представляет собой произведение основных факторов, определяющее значение элементов каждого из дополнительных  $p$  столбцов матрицы плана.

Для изучения возможности повышения коэффициента полезного действия котла, используем дробный факторный план типа  $2^{5-2}$ , т.е. четверть реплики полного факторного плана. Дробный план типа  $2^{5-2}$  содержит восемь опытов по сравнению с  $2^5 = 32$  опытами полного факторного плана.

Очевидно, что в нашем случае (случае плана типа  $2^{5-2}$ ) должно иметься два генератора для образования столбцов факторов. Исходя из анализа процесса сжигания топлива в слоевых топках, для построения плана используем следующие генераторы плана:

$$x_4 = x_1x_2; \quad x_5 = x_1x_2x_3.$$

Опираясь на порядок оценивания коэффициентов при использовании данного плана, можно, составив план эксперимента, получить матрицу планирования эксперимента (табл. 3). В нижней части таблицы приведены рассчитанные оценки коэффициентов.

Таблица 3

## Матрица планирования эксперимента

Номер опыта	Планирование						Выход процесса
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	
1	-	-	-	-	+	+	η <sub>ср.</sub> , % 63,55
2	+	-	+	+	-	-	54,2
3	+	+	-	+	-	-	75,35
4	+	-	-	+	+	-	56,8
5	+	+	+	-	+	-	69,75
6	+	-	+	-	-	+	52,2
7	+	+	-	-	-	+	72,35
8	+	-	-	+	+	-	57,8
b <sub>i</sub>	63,00	21,95	13,675	-1,925	-1,275	27,475	

Таким образом интерполяционная формула (5) имеет следующий вид

$$\hat{y} = 63,00 + 21,95x_1 + 13,675x_2 - 1,925x_3 - 1,275x_4 + 27,475x_5.$$

Следующими этапами исследования являются анализ значимости входящих в уравнение регрессии коэффициентов, проверка адекватности предлагаемой модели, а также проверка значимости квадратичных эффектов.

## Список литературы

1. Хартман К. и др. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. - М.: Мир, 1977. - 552 с.
2. Мусин И.А. Планирование экспериментов при моделировании погрешности средств измерений. - М.: Изд-во стандартов, 1989. - 135 с.
3. Зажибаев Л.С. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента / Л.С. Зажибаев, А.А. Кисьян, Е.И. Романов. - М.: Атомиздат, 1978. - 231 с.
4. Математическая теория планирования эксперимента / Под ред. Ермакова С.М. - М.: Наука, 1983. - 391 с.

получено 13.11.2014

УДК 621.791.927.5

Ю.И. Лопухов, Р. Габдысалык

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ И СЛУЖЕБНЫХ СВОЙСТВ ДИСПЕРСИОННО-ТВЕРДЕЮЩИХ СТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ НАПЛАВКИ MAG ДЛЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ АРМАТУРЫ**

Аустенитно-ферритные дисперсионно-твердеющие Cr – Ni – Si стали, используемые для наплавки уплотнительных поверхностей затворов теплоэнергетической арматуры высоких параметров, надежно заменяют кобальтовые стеллиты.

Для механизированной износостойкой наплавки уплотнительных поверхностей деталей крупнопроходной арматуры применяется порошковая проволока ПП-АН133 (тип 10X17H8C5Г2Т), ПП АН157 (тип 10X19H9C5M2PГТ) под флюсом и в аргоне. Широко-слойную наплавку производят порошковыми лентами ПЛ-АН150 (10X17H8C5Г2Т),