

**A. Sagyndikova**

Senior Lecturer, Doctor PhD Of the department "Power supply  
and automation" Kazakh National Agrarian University  
Sagyndikova\_aigul@mail.ru

## INVESTIGATION OF THE GRAIN DRYING PROCESS BY INDUCTION HEATERS BY METHOD OF PLANNING A MULTIFACTOR EXPERIMENT

**Abstract.** This method of drying to relate to agriculture and can be used as a grain elevator. Improving the efficiency of the process of heating the grain material and the reduction of energy consumption is due to the fact that there is a uniform distribution of moisture in dried product. The induction method of drying has the advantage that it does not have heat transfer from the heater.

УДК 664.72:621.365.5

**А. Сагындикова**

старший преподаватель, доктор PhD кафедры «Энергообеспечение и автоматика» КазНАУ

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ ЗЕРНА ПОСРЕДСТВОМ ИНДУКЦИОННЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ПЛАНИРОВАНИЯ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

**Аннотация.** Это метод сушки зерна относится к сельскому хозяйству и может быть использовано в качестве зерносушилки на элеваторе. Повышение эффективности процесса подогрева зернового материала и снижение энергозатрат осуществляется за счет того, что происходит равномерное распределение влаги в сушеном продукте. Индукционный способ сушки обладает тем преимуществом, что у нее отсутствует передача тепла от нагревателя.

**Ключевые слова:** зерно, индукционный нагреватель, эксперимент, тепловая обработка, идеализированная установка контактного типа для тепловой обработки зерна, сушки зерна, геликоидная поверхность, регрессионная модель.

### Введение

Имеется возможность использования контактного способа передачи теплоты для нагрева зерна при его тепловой обработке подтверждена рядом исследований [1]. Так, контактный нагрев сырья применяют на мукомольных и крупяных заводах, главным образом, для подогрева зерна и небольшого снижения влажности при подготовке его к переработке.

В качестве источника теплоты для обогрева контактной поверхности тепловой камеры применяют пар, горячую воду, электроэнергию, энергию, образующуюся при сжигании газа и других видов топлива. Под контактной поверхностью мы приняли нагретую поверхность сушильной (тепловой) камеры, с которой зерновой слой находится в непосредственном контакте.

В настоящее время имеется достаточное количество теоретического материала по тепло- и массообменным процессам по сушке зерна [2]. Поэтому можно уточнить теорию тепловой обработки зерна применительно к разрабатываемому контактному электротеплообменнику.

Скорость контактного способа теплопередачи зависит от температуры нагрева контактной поверхности, толщины обрабатываемого зернового слоя, а также времени контакта зерна с

греющей поверхностью (экспозиции теплового воздействия). Как уже отмечалось выше, контактный нагрев в чистом виде для высокопроизводительных установок недостаточно эффективен по сравнению с наиболее распространенным конвективным способом подвода теплоты. Однако при переработке небольших партий зерна контактный способ теплопередачи можно использовать гораздо шире и на более совершенном энергетическом уровне[3].

Обеспечение качества процесса тепловой обработки, при соблюдении эксплуатационных и технологических требований с минимальными энерго- затратами, идеализированная установка контактного типа для тепловой обработки зерна должна включать в свой структурный состав следующие основные элементы (рисунок 1).

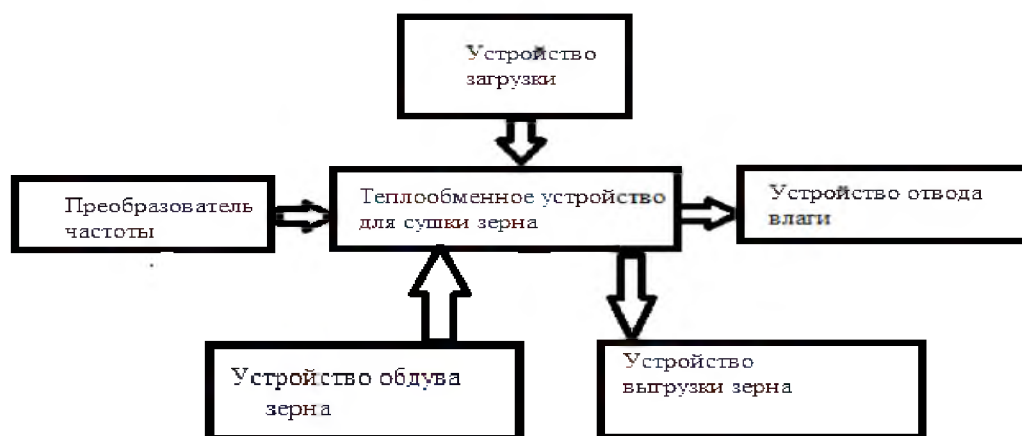


Рисунок 1– Структурная схема контактной электроустановки для тепловой обработки зерна

Теплообменное устройство для сушки зерна – это процесс обработки, соблюдения эксплуатационных, технологических требований к индукционным нагревателям, включают в свой структурный состав следующие основные элементы: теплообменное устройство 1 с устройством загрузки 2 и устройство выгрузки зерна 3. В теплообменном устройстве находятся нагревательные элементы, выполненным в виде электрической обмотки для индукционного нагрева. Концы обмоток подключены к преобразователю частоты 4. Преобразователь частоты и устройство обдува 5 подключены к теплообменному устройству. Выделенная влага выводится через устройство отвода влаги 6. Высушенное зерно передвигается к устройству выгрузки зерна 3. Процесс заканчивается.

## 2. Модель системы

Конструкционной основой контактной сушилки зерна посредством индукционного нагревателя является теплообменный аппарат с электрическими источниками тепла.

Элемент конструкции контактной электроустановки для тепловой обработки зерна служит теплообменный аппарат с электрическими источниками теплоты и транспортирующим рабочим органом для обеспечения непрерывности процесса, а также равномерного распределения обрабатываемого зерна по греющей поверхности при постоянном перемешивании зернового слоя[4].

Выделим определенные требования для нормального протекания процессов тепловой обработки (сушки, поджаривания, подогрева и т.д.). Применительно к контактному способу подвода теплоты эти требования заключаются в следующем:

- равномерный подвод теплоты к обрабатываемому зерну;
- обеспечение максимально возможной площади контакта поверхности зерна, подвергающегося тепловой обработке;
- постоянный отвод выделяющейся из зерна влаги (т.е. постоянный подвод сухого и отвод влажного агента сушки);
- перемещение и одновременное перемешивание зернового слоя во избежание локального перегрева зерен.

Итак, процессы тепловой обработки зерна в контактном теплообменнике характеризуются совокупностью различных факторов, каждый из которых непосредственно или косвенно оказывает влияние на эффективность разрабатываемой установки в целом. По теоретическому описанию взаимосвязи параметров, имеем представления о характере протекания процесса тепловой обработки на реальной зерносушилке ее идеализированной модели, обладающей основными свойствами рассматриваемой зерносушилки и наглядно раскрывающей характер и степень влияния взаимодействия основных параметров, определяющих эффективность процесса сушки [5].

### 3. Методика исследований

С целью повышения эффективности процессов тепловой обработки зерна, повышения пропускной способности установки, обеспечения более равномерного распределения зерна по греющей поверхности (увеличение коэффициента заполнения), а, следовательно, и для более равномерного прогрева обрабатываемого зернового слоя нами предложен новый метод исследования режимов сушки зерна, рисунок 2. Метод, такие преимущества перед традиционными, как направленность основной энергии, не на нагрев материала зерна, а целенаправленно во внутреннюю влагу, находящуюся в зерне, что обусловлено различной диэлектрической проницаемостью двух сред – влаги и материалов самого зерна. Благодаря этому КПД такой сушильной камеры превышает традиционные, а кроме того не наносятся термические травмы эндосперме зерна [6].

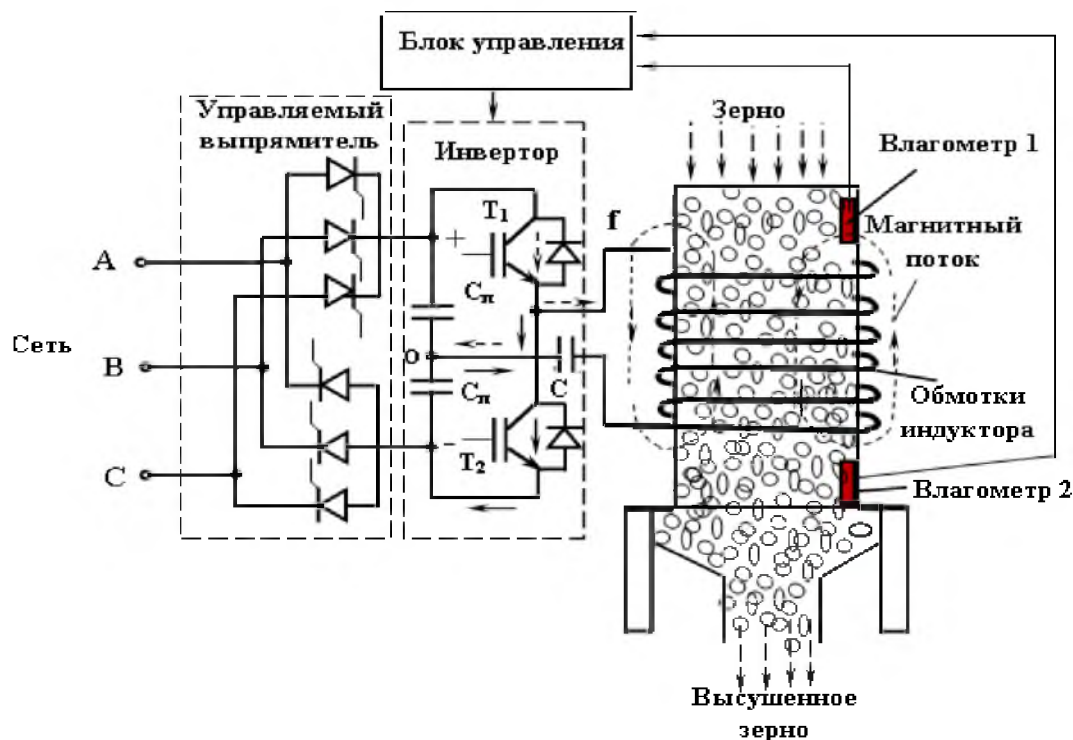


Рисунок 2- Способ и устройство для индукционной сушки зерна

Непосредственный нагрев самого зернового материала осуществляется за счет того, что загрузка сушильной камеры происходит под действием силы тяжести. Сушильная камера выполнена в виде цилиндра, на внешней поверхности которого намотана электрическая обмотка. Также в ней установлены влагомеры, для контроля влажности в сушильной камере. Блок управления установленный снаружи сушильной камеры регулирует уровнем нагрева температуры в сушильной камере. [7].

Технологическая схема зерносушилки показана на рисунке 3а. Установка содержит высоко-частотный генератор, возбуждающую обмотку, которая огибает цилиндр, в котором расположен шнек с геликоидной поверхностью.

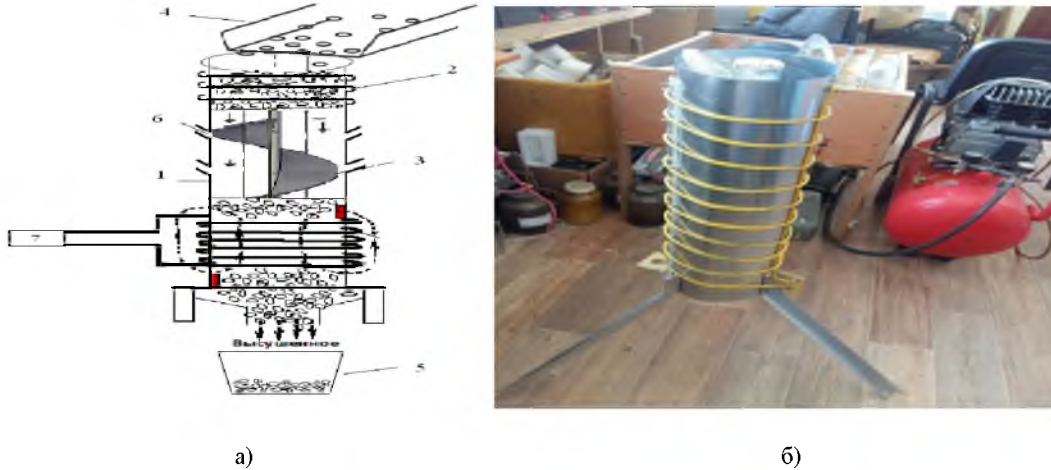
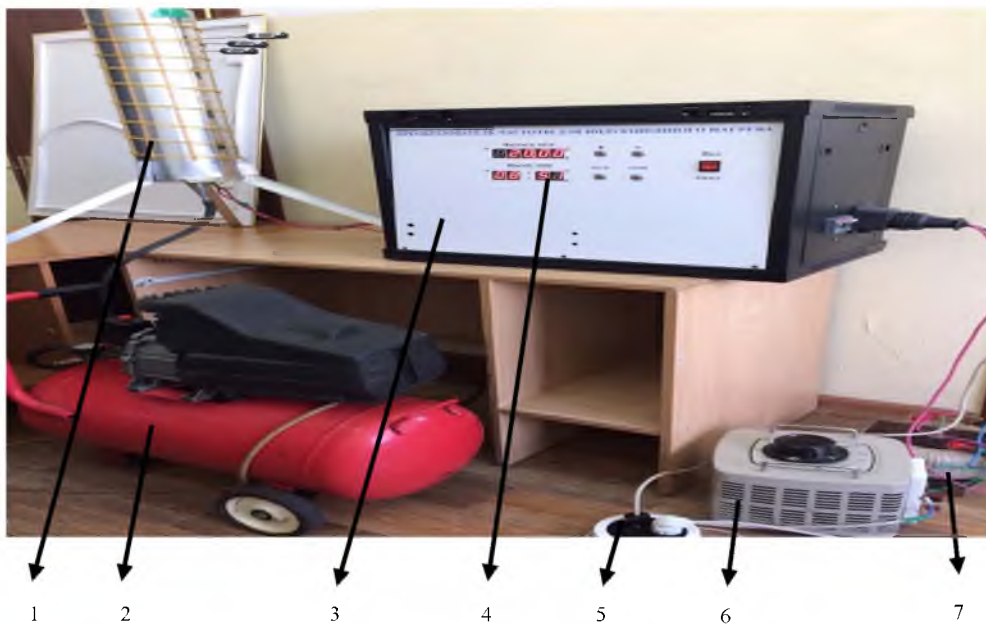


Рисунок 3- а) технологическая схема зерносушилки, б) макет лабораторной установки  
 1-цилиндрический кожух, 2- электрическая обмотка, 3-транспортирующий шнек, 4- загрузной лоток,  
 5 – выгрузной лоток,6- воздухоотвод

На рисунке 3б показан макет лабораторной установки, который выполнен соответственно технологической схеме.

Для проведения исследования была собрана вся конструкция зерносушилки с непосредственными индукционными нагревателями, рисунок 4. Установка цилиндрической формы со шнеком геликоидной поверхности включает в себя все выше перечисленные элементы– это подача зерна в бункер, способ подвода теплоты, определении расстояния.



1-сушильная установка, 2- компрессор, 3- преобразователь частоты, 4- индикаторы,  
 5- удлинитель, 6 – автотрансформатор, 7 – измеритель тока.

Рисунок 4 - Принцип работы зерносушилки с индукционными нагревателями

Принцип работы зерносушилки с индукционными нагревателями, рисунок 4, заключается в следующем лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) подключен к сети 220В, далее на преобразователе частоты настраиваем частоту сигнала от 10 МГц до 30МГц, начинается нагрев установки для сушки зерна. Бункер заполняем опытным образцом зерна, исходное зерно с влажностью 24% перемещается по винтовой поверхности сушильной установки. Снаружи сушильного бункера расположен электрический кабель, по нему протекает ток.

Внизу установки установлен штуцер, к которому подключается компрессор давлением в 6-8 ат. Штуцер соединен с устройством для обдува зерна. Установка для обдува зерна расположена в центре зерносушилки, на которой расположены отверстия, размер отверстий чуть меньше размера зерна. Когда температура сушильной установки поднимется до определенной температуры равной 60°C, зерно начинает двигаться вниз по шнеку.

Внутри этого цилиндра находится неподвижная винтовая поверхность, на которую с верхней части засыпается зерно из бункера. За счет гравитационных сил зерно движется вниз по винтовой поверхности. Здесь имеется одна особенность – винтовая поверхность должна иметь переменный шаг, уменьшающийся от верхней части к нижней. Это вызвано тем, что по мере высушивания зерна снижается коэффициент трения зерна по материалу винтовой поверхности.

#### 4. Результаты

При проведении исследования процесса сушки зерна посредством индукционных нагревателей на основе применения многофакторного планирования эксперимента придерживались цели – это получение простой модели процесса: оптимальные параметры и режимы работы рабочих органов установки для сушки зерна, связывающей его эффективность с наиболее важными факторами [8].

Критериями оценки работы установки для сушки зерна служили следующие показатели: зерно пшеницы с влажностью 13-15% предназначенной для длительного хранения. В первом случае учитывалась температура нагрева зерна, а во втором – слой зерна. Эксперименты проводились на лабораторно - экспериментальной установке (рисунок 4). Согласно агротехническим требованиям зерно пшеницы при уборке имеет влажность 25-28%, а после сушки должно иметь 13-15 %влажности.

Независимыми основными переменными факторами, определяющими процесс сушки, являются  $X_1$  – температура, °C;  $X_2$ - время сушки, мин  $X_3$ - толщина слоя зерна, см. Факторы  $X_1, X_2, X_3$  варьировались на трех уровнях. Опыты проводились с трехкратной повторностью.

Таблица 1-Факторы, интервалы и уровни их варьирования

Уровни, интервалы варьирования	Кодовое обозначение	Факторы		
		Температура нагрева $X_1, ^\circ\text{C}$	Время нагрева $X_2, \text{мин}$	Толщина слоя зерна $X_3, \text{см}$
Верхний	+1	52	25	15
Основной	0	40	19	10
Нижний	-1	28	13	5
Интервал варьирования	$\Delta X_1$	12	6	5

Таблица 2 – Данные многофакторного эксперимента

№ опытов	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_{\text{ср}}$	У
1	15,1	16,3	17,3	16,23333	25
2	54	50	48	50,66667	24
3	26	32	33	30,33333	24,1
4	50	55	50	51,66667	22
5	25	27	31	27,66667	22
6	52	57	55	54,66667	21,8
7	22	18	20	20	21,5
8	15,4	17,2	19,6	17,4	20
9	54	55	55	54,66667	19,4
10	28	32	38	32,66667	18,1
11	15,8	16,6	17,7	16,7	17,2
12	44	48	52	48	16,1
13	56	50	53	53	16
14	14,2	15,5	16,6	15,43333	14,8
15	13,8	15,2	14,4	14,46667	13,2



Была сформулирована задача линейного программирования, получена модель, используемая как целевая функция при условии искомым величин таблица 4.5; 4.6. Программой Statistica10 были обработаны полученные данные[9].

По результатам эксперимента было решено выйти на планирование эксперимента, в результате найдено уравнение регрессии со свободными членами, и было принято решение об его адекватности.

После введения факторов  $x_1$ - температура нагрева,  $x_2$  – время нагрева зерна,  $x_3$  –толщина слоя зерна, получаем результаты регрессионного анализа (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты многофакторного дисперсионного анализа

N=15	Regression Summary for Dependent Variable: y (Spreadsheet2) R=.29907896 RI= .08944823 Adjusted RI= ----- F(3,11)= .36020 p<.78298 Std.Error of estimate: 3.9245				
	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(11)
Intercept			19,21563	2,628292	7,311072
X <sub>1</sub>	-0,38692	1,398378	-0,08260	0,298522	-0,276695
X <sub>2</sub>	1,90107	2,174745	0,40878	0,467629	0,874156
X <sub>3</sub>	-1,35943	1,793439	-0,30600	0,403687	-0,758002

Результаты многофакторного дисперсионного анализа (таблица 4.7) показывают коэффициент определенности  $R^2=0,89$ , также показывают, что на 89% прошло изменение по оси У управляемая факторами  $x_1$  и  $x_2$  и описывают линейную модель. Коэффициент  $B_0=19,21$ ,  $B_2=-0,082$ ,  $B_3=0,408$ ,  $B_4=-0,306$ , т.к.  $p<0,782$  за три коэффициента. Критерий Фишера  $F(2.13)=0.36$ , что соответствует вероятности  $p<0,782$  показывает, что модель описывает изменения по У.

Получаем регрессионную модель, описывая поверхность, (рисунок 5) в трехмерном пространстве.

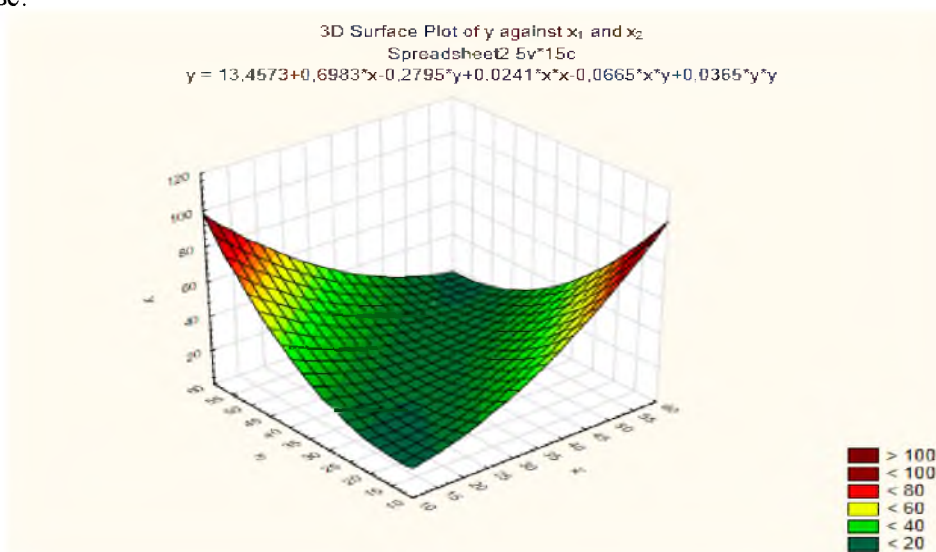


Рисунок 5- Трехмерная модель процесса сушки зерна

Из фигуры видна область изменения факторов  $x_1$  и  $x_2$  и постоянного параметра У. По отчету незначительного влияния на фактор  $x_3$  результат от (рисунка 5) по У запишем в следующей модели:

$$Y = 13,4573 + 0,6983x - 0,2795y + 0,0241x_1x_2 - 0,0665x_1y + 0,0365y_1y \quad (1)$$

Тогда модель изменяется по У с 89%, а критерий Фишера  $F(2.13)=0.36$  соответствует вероятности  $p<0,782<0,05$ , показывает, что полученный результат адекватен. По полученным данным, (рисунок 5), нормальные вероятностные графики второй степени  $x_1$  и  $x_2$  (рисунок 6).

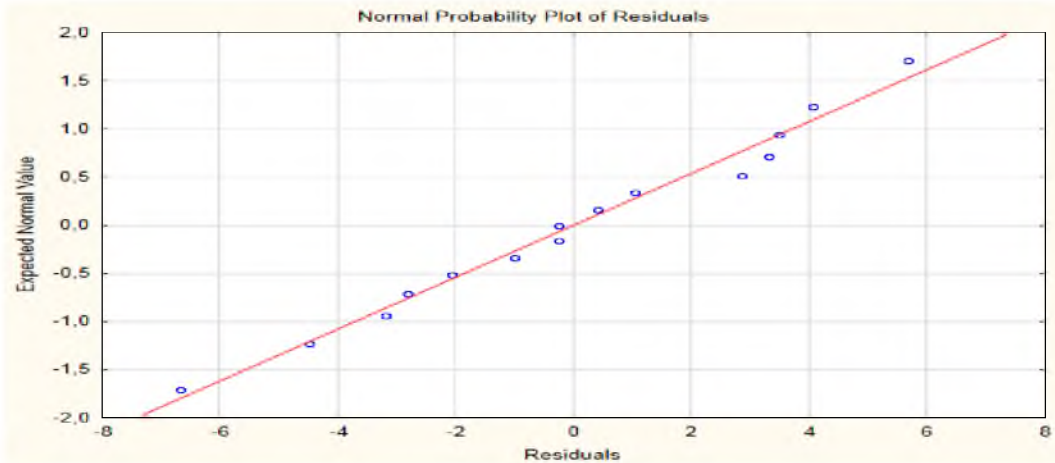


Рисунок 6 - Нормальный вероятностный график по заданной модели

Все полученные точки, располагаются по прямой линией, это и есть нормальное распределение и можно считать, что предположение на регрессионный анализ нормально [10].

Далее, чтобы получить линии одинакового отклика, (рисунок 7), с помощью программы Statistica 10, фигуры области изменения факторов  $x_1$  и  $x_2$  переводим в 3D систему.

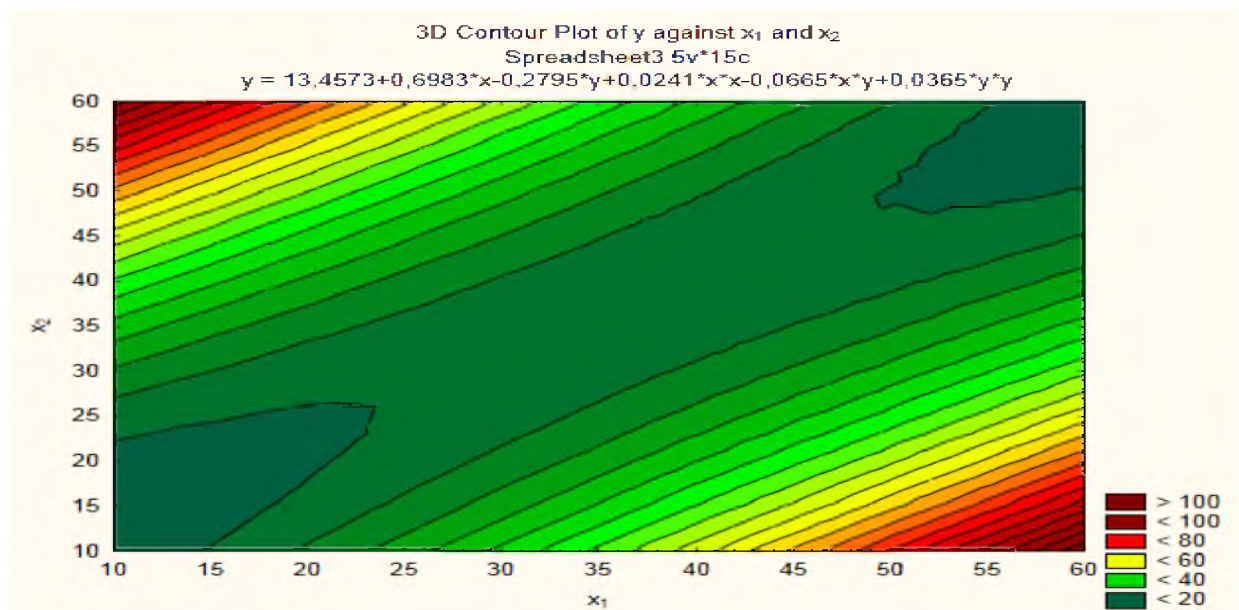


Рисунок 7 - Линии отклика

Таким образом, по результатам оптимизации можно сделать вывод, что улучшение процесса сушки зерна проходит при условиях, допустимых нормой.

#### 4. Заключение

В настоящее время доказана возможность эффективного применения электрического нагрева для сушки зерна. Были сконструированы, испытаны и даже применены на практике высокочастотные зерносушилки. Зерно, подвергаемое сушке в таких установках, соответствует всем технологическим требованиям, а в ряде случаев превосходило по качеству зерно, просушенное традиционным, конвективным способом. Экономические изменения в нашей стране выявили спрос на миниатюризацию установок, были созданы мини зерносушилки, мобильные зерносушилки, обладающие относительно невысокой потребляемой мощностью, высокоэкономичные, простые в употреблении и обслуживании, а главное – достаточно дешевые.

**ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Баум А.Е. Сушка зерна / А.Е.Баум, В.А.Резчиков.-М.:Колос, 1983.-223с.
- [1] Егоров Г.А. Влияние тепла и влаги на процессы переработки и хранения зерна. М.:Колос, 1973.-264с.
- [2] Мельник Б.Е. Технология приемки, хранения и переработки зерна / Б.Е.Мельник, В.Б.Лебедев, Г.А.Винников. - М.: Агропромиздат, 1990. -367с.
- [3] Сағындықова А.Ж., Исембергенов Н.Т.,Канай Б. Энергосберегающая установка для сушки зерна// Труды «Роль и место молодых ученых в реализации новой экономической политики Казахстана» Межд. Сатп. Чтения, том4, Алматы.2015.с.195-198.
- [4] Авторское свидетельство РК №91438 «Установка для сушки зерна», Сағындықова А.Ж., Исембергенов Н.Т., Тайсариева К.Н.,Астана 2014 г.
- [5] Борисов А.М. Влияние параметров шнекового транспортера на эксплуатационные показатели// Тракторы и сельскохозяйственные машины. -2004, - №6. 46-48.
- [6] Веденияпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных. – М.:Колос, 1973. -194с
- [7] Митков А.Теория эксперимента. -Русе.: Дунав прес, 2011, 227 с
- [8] Морозов В.В., Максимов Н.М. Сравнительный анализ конструкций бункерных зерносушилок зарубежного и отечественного производства. ФГБОУ ВПО «Великолукская ГСХА», Россия,г. Великие Луки, 2014. 29-35 с.
- [9] АС РК № 93979 «Установка для сушки зерна с применением индукционного нагрева», Сағындықова А.Ж., Исембергенов Н.Т.

**А. Сағындықова**

аға оқытушы, PhD докторы «Энергияны үнемдеу және автоматика» кафедрасы  
Қазақ ұлттық аграрлық университеті

**КӨП ФАКТОРЛЫ ЭКСПЕРИМЕНТ ЖОСПАРЛАУ  
ИНДУКЦИЯЛЫҚ ЖЫЛЫТҚЫШ ӘДІСІМЕН АСТЫҚ КЕПТІРГІШ ЗЕРТЕУ**

**Аннотация.** Бұл әдіс астық кептіруге жатады, ауыл шаруашылығы пайдаланылуы мүмкін ретінде астық кептіргіш элеваторында. Процесінің тиімділігін арттыру жылыту астық материал мен энергия шығынын төмендету есебінен жүзеге асырылады қатар, бұл біркелкі бөлу ылғал сушеном өнім. Индукциялық әдіс кептіру ие, сол артықшылығы, бұл тізім беру жылу қыздырғыштың.