1. Samarina, Ju.R. Vlijanie vlazhnosti na dlitel'nost' processa sushki granulirovannyh kormov (Humidity Influence on the Duration of the Process of Drying Granulated Fodder)
[Tekst], Ju.R.Samarina, Molodezh' XXI veka: shag v budushhee: mater. nauch.-prakt. konf., Blagoveshhensk: Izd-vo BGPU, 2007, Kn. 3, PP.276–277.
2. Samarina, Ju.R., Shhitov, S.V. Ocenka jenergozatrat pri sushke korma (Assessment of Power Inputs in Fodder Drying), *Tehnika i oborudovanie dlja sela,* 2014, No 7, PP.27-28.
3. Jakimenko, A.V. Teplo- i vlagoperenos v processe sushki zerna (Heat and Moisture Transfer (Supply) during the Process of Grain Drying), [Tekst], A.V.Jakimenko, Ju.R.Samarina, Mehanizacija i jelektrifikacija tehnologicheskih processov v sel'skohozjajstvennom proizvodstve: sb. nauch. tr. Dal'GAU, Blagoveshhensk, 2006, Vyp. 13, P. 146.

**УДК 631.365**
**ГРНТИ 68.85.35**

**Щитов С.В., д-р техн. наук, профессор;**
**Самарина Ю.Р., канд. техн. наук, доцент;**
**Краснощёкова Т.А., д-р с.-х. наук, профессор;**
**Шарвадзе Р.Л., д-р с-х наук, профессор;**
**Капустина Н.А., ст.преподаватель**
**ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ,**
**г. Благовещенск, Амурская облсть, Россия**
**E-mail: uoup_dalgau@mail.ru; ursa1980@mail.ru**

## ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИНФРАКРАСНОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

***Для повышения продуктивности животных, увеличения производства продукции животноводства и снижения ее себестоимости важным условием является полноценное кормление, предусматривающее выдачу животным полнорационных многокомпонентных кормовых смесей. Такие смеси значительно лучше перевариваются животными и способствуют повышению продуктивности. Многочисленными исследованиями выявлено, что наиболее рационально скармливать крупному рогатому скоту полнорационные кормосмеси, приготовленные непосредственно перед раздачей, но это не всегда возможно. Избежать проблем с кормлением можно, создав запас прессованных кормосмесей, но при кормлении крупного рогатого скота брикетированными кормами у них нарушается работа рубца, уменьшается продуктивность и снижается жирность молока, поэтому наиболее эффективной формой прессованных кормов для крупного рогатого скота является кормовая смесь из различных компонентов, приготовленная в виде гранул. Полнорационные гранулы по физической форме более отвечают физиологическим потребностям молочных коров, чем гранулы из частиц мелкого помола. На качество гранулированного корма влияет технология его приготовления, в том числе и высоко- или низкотемпературная сушка. Но в процессе высокотемпературной сушки некоторые незаменимые аминокислоты, входящие в состав травяного белка, разлагаются топочными газами, образуя нерастворимые формы коллоидов - пектиновые вещества, которые резко снижают перевариваемость клетчатки. Поэтому актуальным является вопрос изыскания наиболее рациональных технологий, режимов и параметров сушильного оборудования. Для решения этого вопроса авторами была поставлена следующая цель исследования – повышение эффективности процессов подготовки многокомпонентных кормовых смесей для КРС путем разработки технологии и средств механизации для длительного хранения. Для решения данной цели опреде-***

***лены следующие задачи: проведение анализа и обоснование перспективные направления совершенствования технических средств для подготовки кормов к длительному хранению; разработка математической модели для оценки эффективности способа подготовки кормов к длительному хранению; обоснование конструктивно-режимных параметров технических средств, предназначенных для подготовки кормов к длительному хранению.***

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГРАНУЛИРОВАННЫЙ КОРМ, ИНФРАКРАСНАЯ СУШИЛЬНАЯ УСТАНОВКА, ТЕМПЕРАТУРА НАГРЕВА, ВЛАЖНОСТЬ ПРОДУКТА.

**UDC 631.365**

**Shhitov S.V., Dr Tech. Sci., Professor;**
**Samarina Yu.R., Cand. Tech. Sci., Professor;**
**Krasnoshhyokova T.A., Dr Agr. Sci., Professor;**
**Sharvadze R.L., Dr Agr. Sci., Professor;**
**Kapustina N.A., Senior Teacher**
**Far Eastern State Agricultural University,**
**Blagoveshhensk, Amur region, Russia**
**E-mail: uoup_dalgau@mail.ru; ursa1980@mail.ru**

**SUBSTANTIATION OF DESIGN-OPERATING CONDITIONS OF INFRARED DRYING UNIT**

***Full feeding is a very important question for animal husbandry. In order to enhance animal productivity, increase animal husbandry produce and decrease its cost price the feeding must provide animals with complete and multi-component feed mixes. Such mixes are better to digest and promote enhancing of productivity. Many investigations find out that it is the most rational way to give cattle complete feed mixes prepared right before feeding, but it is not always possible. It is possible to avoid feeding problems if you have a stock of pressed feed mixtures, but if you feed cattle with pelletized feed, the cattle may have paunch disorders, animal productivity and milk fat content are reduced. Therefore the most effective forms of the pressed feed for cattle is a feed mix of different components made in the form of pellets. So far as physical form is concerned complete feed pellets meet milk cows physiological needs better than pallets of fine crushing. The quality of the pelletized feed is under influence of the production technique including high-or low-temperature of drying. But in course of high-temperature drying some essential amino acids, being the components of grass protein, are decomposed by fuel gas, and then form insoluble forms of colloids-pectin substance which sharply reduce digestion of cellulose. Therefore the question of searching the most rational techniques, modes and conditions of drying equipment is an urgent question. In order to solve this problem the authors set their task as follows: enhance the efficiency of processes of making multi-component feed mixes for cattle by development of techniques and mechanization facilities for long-term storage. For the purpose of achieving this objective we determined the tasks as follows: to conduct the analysis and substantiation of promising trends of improving equipment for feed treatment (conditioning) before long-term storage; development of mathematic model for assessment of efficiency of the feed treatment method for long-term storage; substantiation of design-operating conditions of the technique (equipment) intended for feed treatment before long-term storage.***

KEY WORDS: PELLETIZED FEED, INFRARED DRYING UNIT, HEATING TEMPERATURE, PRODUCT HUMIDITY.

В основе практического применения ИК – излучения лежит всестороннее изучение механизма взаимодействия излучения и облучаемых веществ. Воздействие ИК – излучения на облучаемые вещества проявляется в ряде эффектов – в нагреве этих веществ (материалов, изделий), в удалении из них влаги (или жидких веществ, например, растворителей и т.д.), и физико-химических превращениях, возникающих внутри облучаемых веществ.

Самым широким применением ИК – техники является ее использование в облучательных установках самых различных назначений. Основное назначение таких установок – нагрев и сушка различного рода материалов. ИК- установки используются также для обогрева помещений, в сельском хозяйстве, в животноводстве, в медицине (для терапевтических и иных целей).

Одним из способов использования ИК – излучение является его применение в сельском хозяйстве в сушильных установках для сушки и термической обработки различных растительных продуктов – солода, зерна, фруктов, овощей, гранулированного корма и т.д.

Для интенсификации сушки ИК - излучением необходимо, чтобы инфракрасные лучи (ИКЛ) проникали в материал на возможно большую глубину. Это зависит как от пропускной способности материала, так и от длины волны ИКЛ. Чем она меньше, тем выше проникающая способность инфракрасных лучей [3]. Проницаемость пищевых растительных материалов увеличивается с уменьшением толщины слоя и с понижением влажности материала.

Перенос тепла при сушке осложняется переносом влаги. При ее испарении с поверхности продукта возникает перепад (градиент) влагосодержания между его наружным и внутренними слоями, что и обуславливает дальнейшее перемещение влаги из внутренних, более влажных участков к его поверхности, имеющей наименьшую влажность. При сушке благодаря перепаду влагосодержания влажность во всем объеме продукта непрерывно уменьшается.

На перемещение влаги внутри продукта также влияет градиент температуры. На поверхности продукта температура выше, чем в центральных слоях. Под влиянием температурного градиента часть влаги будет перемещаться по направлению теплового потока от поверхности к внутренним слоям. Явление перемещения влаги внутри продукта под влиянием градиента температуры называют термодиффузией.

Явление термодиффузии значительно замедляет процесс сушки. Для того чтобы снизить негативное влияние термодиффузии одновременно с облучением продувают гранулы наружным воздухом, так как снижение температуры на поверхности гранулы способствует продвижению влаги от внутренних слоев к наружным.

На основании выше изложенного были выделены основные параметры режима сушки: температура агента сушки, исходная и конечная влажность продукта, а также скорость движения воздуха в сушильной камере [2].

Схема предлагаемой инфракрасной сушильной установки приведена на рисунке 1.

Из накопительного бункера *2* гранулированный корм подается на загрузочный лоток *1*, где равномерно распределяясь, подается на транспортер *5*. попадая в рабочую камеру гранулы нагреваются под воздействием длинноволнового инфракрасного излучения. Нагрев инфракрасными лучами продукта происходит в течении нескольких секунд. Одновременно через систему воздуховодом *4* происходит охлаждение поверхности гранул потоком воздуха, создаваемого вентилятором. Скорость обдува может так же меняться в пределах от 10 до 30 м/мин. За счет обдува поверхности влага начинает перемещаться к поверхности, что увеличивает скорость сушки в два раза. Высушенный корм ссыпается на выгрузной лоток, после чего упаковывается в мешки.

Привод транспортера осуществляется от электродвигателя *7*.

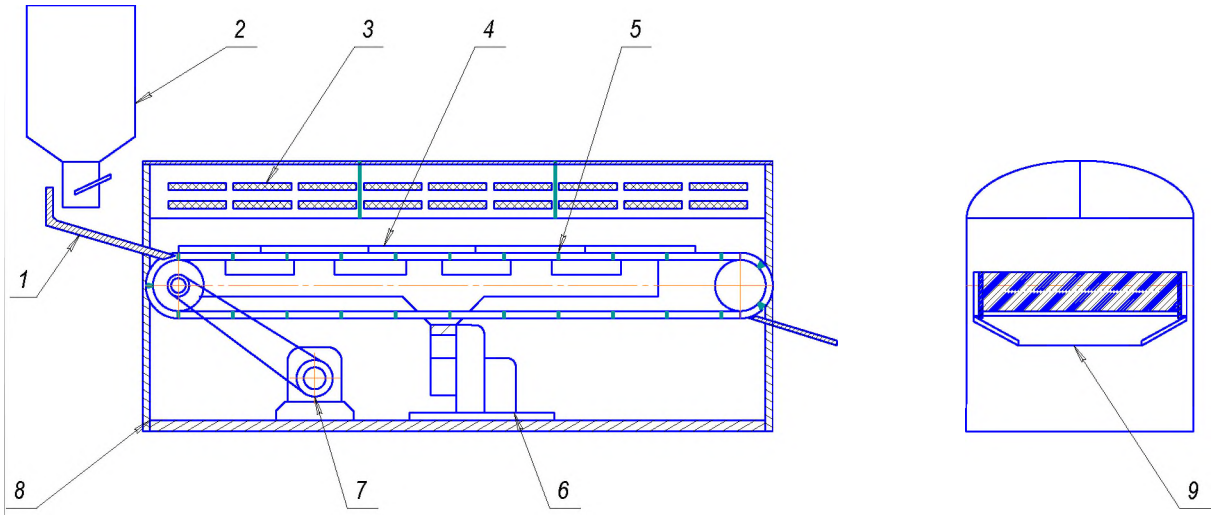


***Рис. 1. Инфракрасная сушильная установка:***
*1 – загрузочный лоток; 2 – накопительный бункер; 3 – инфракрасные нагревательные элементов; 4 – воздушные каналы; 5 – транспортер; 6 – вентилятор; 7 – двигатель; 8 – рама; 9 – выгрузной лоток*

Проведение экспериментальных исследований с применением методов планирования и анализа эксперимента является наиболее эффективным методом получения математической модели сложного процесса. Эксперимент, проведенный с применением данных методов, дает значительно больше информации, чем эксперимент, основанный на традиционных принципах с установлением детерминированных зависимостей, так как изучаются возможные взаимодействия между факторами эксперимента.

Кроме этого значительно сокращается число опытов по сравнению с традиционным методом, увеличивается емкость эксперимента за счет получения данных о роли взаимодействия различных факторов, оценивается ошибка опытов, позволяющая судить о действии факторов с определенным уровнем значимости [5].

Анализ факторов, влияющих на изменение качественных и количественных показателей исследуемого процесса, показал, что к ним относятся следующие факторы: $x_1$ – температура нагрева поверхности гранул (t, $^0$C); $x_2$ – длительность сушки (τ, мин); $x_3$ – интенсивность подачи воздуха (V, м/мин); $x_4$ – влажность гранул ($W_1$,%).

При проведении экспериментальных исследований использовался экспериментальный план, представляющий собой матрицу второго порядка на гиперкубе Хартли-Коно (На-Ко$_{34}$), включающий 18 опытов.

В качестве критериев оптимизации использованы: $y_1$ – удельная мощность, определяемая как отношение мощности, затрачиваемой на процесс сушки, к производительности сушильной установки ($N_{уд}$, Вт·ч/кг); $y_2$ – конечная влажность высушенного продукта (W,%).

Анализ полученной матрицы парных коэффициентов корреляции показал, что наиболее тесная связь моделируемого показателя $y_1$ (удельная мощность, $N_{уд}$) имеется с факторами $x_1$, $x_2$, $x_3$ и $x_4$, а показателя $y_2$ (конечная влажность продукта, W) – с факторами $x_1$, $x_2$, $x_3$. При этом факторы, включенные в модели, можно считать линейно независимыми.

Для обоснования оценки влияния факторов по длине матрицы планирования и результатам эксперимента были рассчитаны регрессионные уравнения второго порядка[1]:

$$Y_1=108,21+2,682x_1+1,868x_2+0,148x_3+ +0,498x_1x_2–0,184x_1x_3–0,617x_1^2. \quad (1)$$

$$Y_2=10,62–0,62\ x_2+1,4\ x_4+1,11\ x_1^2– – 0,65\ x_3^2+0,72\ x_4^2. \quad (2)$$

Уравнения после раскодирования имеют следующий вид:

1) для удельной мощности

$$N_{уд} = 30,349+2,673\cdot t– – 0,1244\tau +0,1068\cdot V+0,0099\cdot t\cdot\tau– –0,00184\cdot t\cdot V–0,02617\cdot t^2 \quad (3)$$

2) для конечной влажности продукта

$$W = 42,21–0,124\cdot\tau– –0,57\cdot W_1–1,11\cdot t+0,26\cdot V+0,0111\cdot t^2– –0,0065\cdot V^2+0,02\cdot W_1^2 \quad (4)$$

Установлено, что с увеличением температуры нагрева, уменьшением скорости обдува поверхности и длительности процесса сушки, происходит снижение удельной мощности. При увеличении температуры нагрева, уменьшении начальной влажности гранулированного корма и длительности процесса сушки наблюдается снижение конечной влажности гранулированного корма.

Адекватность моделей подтверждается с вероятностью $P_p$=0,95 при коэффициентах корреляции $R_1$=0,936; $R_2$=0,927 неравенством $F_R>F_T$ (при $F_{R1}$=571,26; $F_{R2}$=12,052 и $F_{T1}$=4,06; $F_{T2}$=4,68)

Анализ регрессионных уравнений показал, что наибольшее влияние на процесс оказывает фактор τ (длительность процесса сушки), при существующей нелинейности, а также – $W_1$ (начальная влажность гранулированного корма). Установлено, что при выборе параметра t (температура нагрева поверхности гранул) необходимо учитывать влияние фактора V (интенсивность подачи воздуха).

Для анализа влияния факторов на процесс сушки гранулированных кормов были построены поверхности отклика при помощи программы «Mathcad» и сечения поверхности отклика (рис. 2-4).

С этой целью исходные уравнения регрессии сводили к уравнениям с двумя факторами, оставляя остальные на постоянных уровнях.

При стабилизации факторов (рис.3) $x_2$ = - 0,60 (τ = 22 мин) и $x_4$=0,33($W_1$ = 21,98%) удельная мощность ($Y_1$) увеличивается при стремлении $x_3$ (V) и $x_1$ (t) к верхнему уровню.

На основании анализа сечения поверхностей отклика (рис.2) можно сказать, что при стабилизации факторов $x_3$=0 (V=20 м/мин) и $x_4$=0,33 ($W_1$=21,98%) удельная мощность ($Y_1$) увеличивается при стремлении $x_2$ (τ) и $x_1$ (t) к верхнему уровню.

При стабилизации факторов (рис. 4) $x_1$ = -0,70 (t = 43$^0$C) и $x_4$=0,33 ($W_1$ = 21,98%) удельная мощность ($Y_1$) увеличивается при стремлении $x_3$ (V) к нижнему уровню, а $x_2$ (τ ) к верхнему уровню.

Аналогично были построены и проанализированные поверхности, а также сечения откликов для других сочетаний различных факторов.

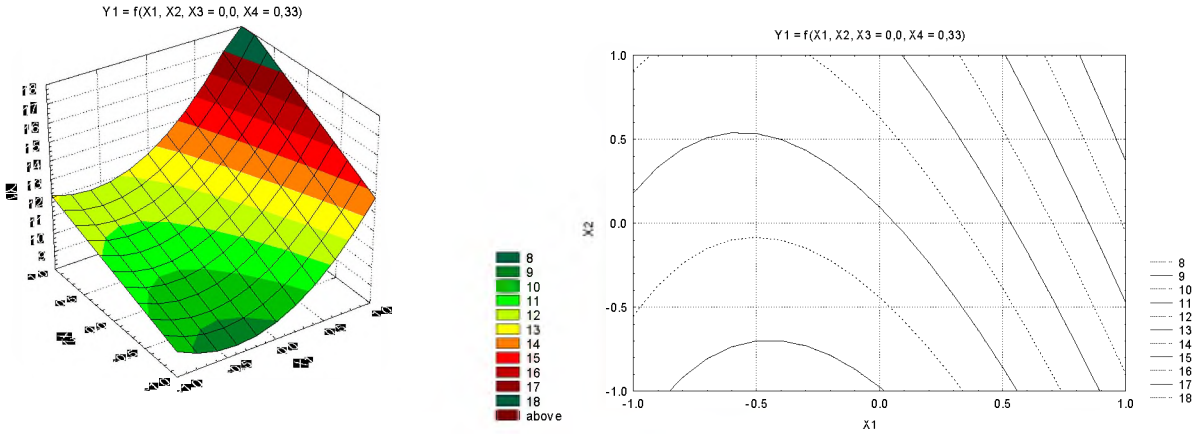


***Рис. 2. Поверхность и сечение поверхности отклика: $Y_1 = f(x_1, x_2)$ при $x_3 = 0$ и $x_4 = 0,33$***

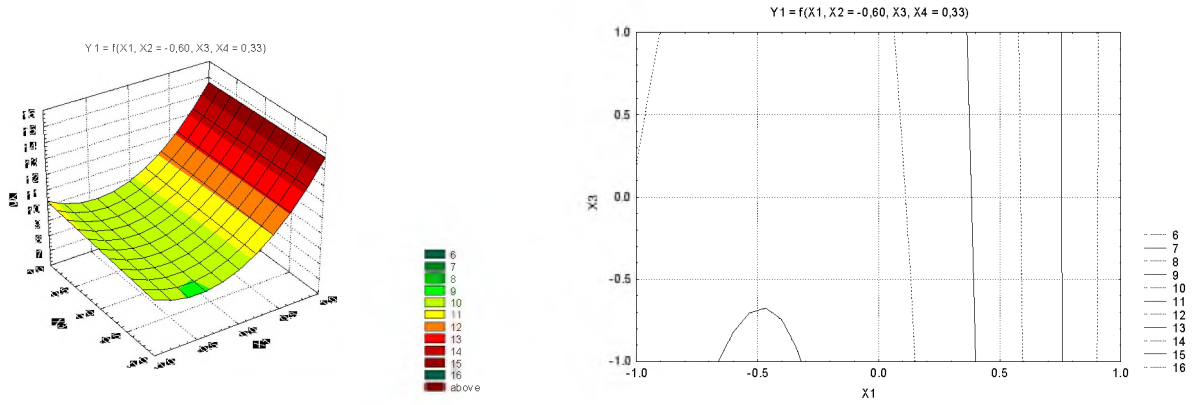


***Рис. 3. Поверхность и сечение поверхности отклика: $Y_1 = f(x_1, x_3)$ при $x_2$= -0,60 и $x_4$ = 0,33***

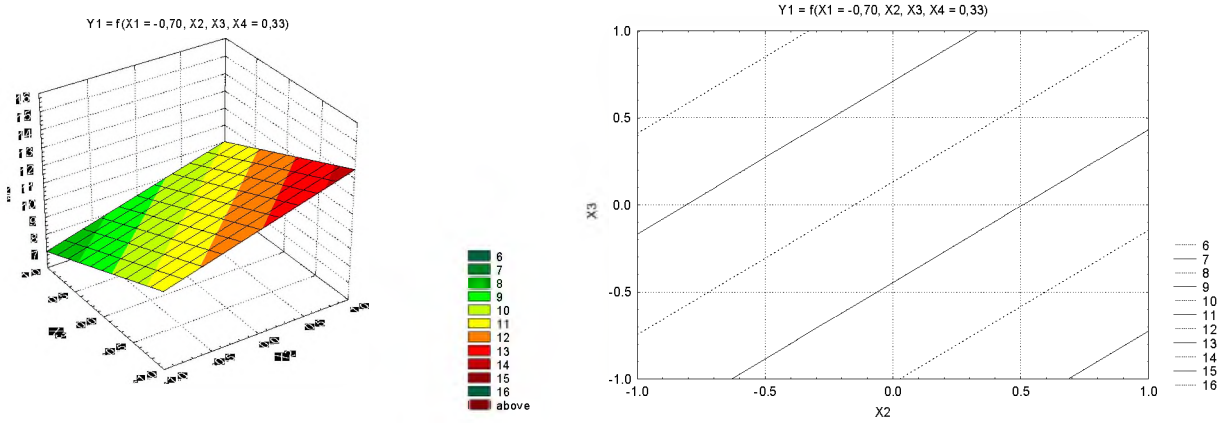


***Рис.4. Поверхность и сечение поверхности отклика: $Y_1 = f(x_2, x_3)$ при $x_1$ = -0,70 и $x_4$ = 0,33***

В многофакторном эксперименте, когда число регулируемых факторов равно трем и более, весьма затруднительно сформулировать рекомендации по принятию компромиссного решения. Для поиска компромиссного решения задачи нахождения оптимальных значений уровней факторов для нескольких критериев использовался метод Парето-оптимального решения

В результате решения компромиссной задачи оптимизации процесса сушки [4] в инфракрасной сушильной установке определены приемлемые значения факторов: температура нагрева поверхности гранул $x_1$=-0,70 (t =43$^0$C); длительность процесса сушки $x_2$=-0,60 (τ=22мин); интенсивность подачи воздуха $x_3$=-1 (V=10м/мин); влажность гранул $x_4$=-0,32 (W =21,98%).

Значения критериев оптимизации при приемлемых значениях факторов следующие: удельная мощность – $N_{уд}$= 94,53 Вт·ч/кг; конечная влажность высушенного продукта W = 11,64%.

Рассчитав уравнения регрессии для полученного теоретического значения τ=24мин, получим $N_{уд}$= 94,53 Вт·ч/кг и W = 11,64%.

Таким образом, из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. Экспериментальными исследованиями установлено, что качественные показатели процесса сушки гранулированных кормов зависят от технологических и конструктивных параметров сушильной установки.

2. Получены математические модели процесса сушки гранулированных кормов и определены оптимальные параметры: температура нагрева поверхности гранул t = 43 $^0$C; длительность процесса сушки τ = 22 мин; интенсивность подачи воздуха V = 10м/мин; влажность гранул W = 21,98%.

3. Установлены удельные затраты энергии на процесс сушки $N_{уд}$= 94,53

Вт·ч/кг, а также конечная влажность W = 11,64%.

**Список литературы**

1. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю.П.Адлер, Е.В.Маркова, Ю.В.Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.: илл.

2. Атаназевич, В.Н. Сушка зерна [Текст] / В.Н.Атаназевич. – М.: Лабиринт, 1997. – 329 с.

3. Левитин И.Б. Применение инфракрасной техники в народном хозяйстве. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отделение, 1981. – 264 с.: илл.

4. Обоснование параметров и режимов сушки инфракрасной сушильной установки / Ю.Р. Самарина [и др.] // Техника и оборудование для села. - 2012. - №12. - С. 20-23.

5. Якименко, А.В. Тепло- и влагоперенос в процессе сушки зерна [Текст] / А.В.Якименко, Ю.Р.Самарина // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: сб. науч. тр. ДальГАУ. – Благовещенск, 2006. – Вып. 13. – С 146.

**Reference**

1. Adler, Yu.P., Markova,E.V., Granovskij, Yu.V. Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nykh uslovij (Design of Experiments in Optimizing Process), [Tekst], M.: Nauka, 1976, 280 p., ill.

2. Atanazevich, V.N. Sushka zerna (Grain Drying), [Tekst], M.: Labirint, 1997, 329 p.

3. Levitin I.B. Primenenie infrakrasnoi tekhniki v narodnom khozyaistve (Appliance of Infrared Technique in National Economy), L.: Energoizdat. Leningr. otdelenie, 1981, 264 p., ill.

4. Obosnovanie parametrov i rezhimov sushki infrakrasnoi sushil'noi ustanovki (Substantiation of Operating Conditions of Infrared Drying Unit),

Yu.R. Samarina [i dr], *Tekhnika i oborudovanie dlya sela,* 2012, No12, PP. 20-23.

5. Yakimenko, A.V., Samarina, Yu.R. Teplo- i vlagoperenos v protsesse sushki zerna(Heat and Moisture Transfer in the Process of Grain Drying), [Tekst], Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya tekhnologicheskikh protsessov v sel'skokhozyaistvennom proizvodstve, sb. nauch. tr. Dal'GAU, Blagoveshhensk, 2006, Vyp. 13, P. 146.

.