

**Выводы**

1. Получен комплексный критерий оптимальности, а также целевая функция для оптимизации процесса вибросмешивания. Предложенный критерий может быть использован для оптимизации аналогичных технологических процессов.

2. Результаты многокритериальной оптимизации обнаруживают соответствие полученных результатов по качеству кормовой смеси (т.е. ее однородность) зоотехническим нормам. Затраты энергии и производительность смесителя приемлемы для приготовления премиксов, БВМК, а, возможно, и комбикормов (для сельских подворий и небольших фермерских хозяйств).

**Библиографический список**

1. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде. – М.: Физматлит, 2004. – 176 с.  
 2. Подиновский В.В. Введение в теорию важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений. – М.: Физматлит, 2007. – 64 с.  
 3. Kiefer J. Optimum designs in regression problems. – Ann. Math. Stat., 1959. – V 30. – P. 271-294.  
 4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.  
 5. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями: учебное пособие. – М.: Дрофа, 2006. – 175 с.  
 6. Пат. 2421271 Российская Федерация, С 1 В01 F3/18, В01 F 11/00. Смеситель для

сыпучих материалов / Федоренко И.Я., Пирожков Д.Н., Котов Р.А.; заявитель и патентообладатель И.Я. Федоренко; заявл. 08.02.2010; опубл. 20.06.2011, Бюл. № 17.

7. Федоренко И.Я., Морозова С.В. Оптимизация и принятие решений в агроинженерных задачах учебное пособие. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2012. – 238 с.

**References**

1. Nogin V.D. Prinyatie reshenii v mnogokriterial'noi srede. – M.: Fizmatlit, 2004. – 176 s.  
 2. Podinovskii V.V. Vvedenie v teoriyu vazhnosti kriteriev v mnogokriterial'nykh zadachakh prinyatiya reshenii. – M.: Fizmatlit, 2007. – 64 s.  
 3. Kiefer J. Optimum designs in regression problems // Ann. Math. Statist. – 1959. – Vol. 30. – P. 271-294.  
 4. Saati T. Prinyatie reshenii. Metod analiza ierarkhii. Per. s angl. – M.: Radio i svyaz', 1993. – 278 s.  
 5. Sobol' I.M., Statnikov R.B. Vybora optimal'nykh parametrov v zadachakh so mnogimi kriteriyami: uchebnoe posobie. – M.: Drofa, 2006. – 175 s.  
 6. Pat. 2421271 Rossiiskaya Federatsiya, S 1 B01 F3/18, B01 F 11/00. Smesitel' dlya sypuchikh materialov / I.Ya. Fedorenko, D.N. Pirozhkov, R.A. Kotov; zayavitel' i patentoobladatel' I.Ya. Fedorenko. Zayavl. 08.02.2010; opubl. 20.06.2011, Byul. № 17.  
 7. Fedorenko I.Ya., Morozova S.V. Optimizatsiya i prinyatie reshenii v agroinzhenernykh zadachakh: uchebnoe posobie. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2012. – 238 s.



УДК 621.384.3:664.039.51:635.1.2

**И.В. Алтухов, Н.В. Цугленок**  
**I.V. Altukhov, N.V. Tsuglenok**

**ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ИМПУЛЬСНЫХ ИК-ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ  
 В ТЕХНОЛОГИИ СУШКИ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ**

**THE OPERATIONAL FEATURES OF PULSE IR-EMITTERS IN ROOT CROP DRYING TECHNOLOGY**

**Ключевые слова:** сушка, импульсные ИК-излучатели, корнеклубнеплоды, нагрев, спектр.

Анализ развития электротехнологий, применяемых для сушки сельскохозяйственного сырья, показывает, что широкое применение получили установки, работающие на принципе использования электрической энергии, превращенной в энергию инфракрасного излучения. К числу важнейших

характеристик ИК-излучателей относят спектральные, энергетические и геометрические. Спектральные характеристики ИК-излучателей зависят в основном от температуры нагрева излучателя, и в настоящее время достаточно хорошо изучены. Если для процесса нагрева используются ИК-излучатели, то следует подумать о том, что экономичный нагрев сырья связан со степенью излучения (черноты). Высокий эффект будет достигнут в

том случае, когда будут учитываться такие спектральные характеристики ИК-излучателя, как степень излучения, температура нагрева излучателя и длина волны, приходящаяся на максимум ИК-излучения. Технология импульсной инфракрасной сушки влажных продуктов позволяет практически на 100% использовать подведенную к корнеклубнеплоду энергию. В отличие от всех других видов сушки, энергия подводится непосредственно к воде продукта, чем достигается высокое КПД процесса сушки. При данном подводе тепла можно вести процесс сушки при температуре 40-60°C. Подобная сушка максимально сохраняет исходное содержание питательных веществ продукта за счёт того, что не рвутся клетки, не погибают витамины, не карамелизируются сахара. Кроме того, низкие температуры не нагревают оборудование, потери тепла через стенки минимальны, а процессом сушки достаточно просто управлять. Вместе с тем импульсное инфракрасное излучение позволяет уничтожить микрофлору на поверхности корнеклубнеплодов, делая такой продукт пригодным для длительного хранения.

**Keywords:** *drying, pulse IR-emitters, root crops, heating, spectrum.*

The analysis of the electrical technology development used for drying agricultural raw materials shows that the devices functioning on the principle

of conversion of electric power into infrared energy are widely used. Spectral, energy and geometry characteristics are considered to be the most important characteristics of IR-emitters. The spectral characteristics of IR-emitters depend mainly on the heating radiator temperature and they are well studied. If the IR-emitters are used for heating process, the economical heating of raw material is related to the degree of radiation (emissivity). A high effect is achieved when such spectral characteristics as the degree of heat radiation, the temperature of the radiator and wavelength corresponding to the maximum IR-radiation are considered. Pulse infrared drying technology of wet products enables using almost 100% of the energy supplied to the root crops and tubers. As opposed to all other kinds of drying, the energy is supplied directly to the product's water, so high efficiency of the drying process is achieved. It is possible to dry raw materials by this heat supply at a temperature of 40-60°C. Such type of drying conserves to the maximum the original content of product nutrients due to the fact that the cells are not damaged, the vitamins do not die, and sugars do not caramelize. Moreover, the low temperatures do not heat the equipment, the heat loss through the walls is minimal and the drying process is simply operated. In addition, the pulse infrared radiation kills the microorganisms on the surface of roots and tubers making the product suitable for long storage.

**Алтухов Игорь Вячеславович**, к.т.н., доцент, каф. энергообеспечения и теплотехники, Иркутская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: altukhigor@yandex.ru.

**Цугленок Николай Васильевич**, д.т.н., проф., чл.-корр. РАСХН, председатель президиума Восточносибирского научно-образовательного центра, г. Красноярск. E-mail: altukhigor@yandex.ru.

**Altukhov Igor Vyacheslavovich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Power Supply and Heat Engineering, Irkutsk State Agricultural Academy. E-mail: altukhigor@yandex.ru.

**Tsuglenok Nikolay Vasilyevich**, Dr. Tech. Sci., Prof., Corresponding Member of Rus. Acad. Agr. Sciences, Chairman of the East Siberian Research and Education Center, Krasnoyarsk. E-mail: altukhigor@yandex.ru.

### Введение

Инфракрасное излучение, применяемое для сушки сельскохозяйственного сырья, – это один из самых простых и распространенных способов получения готовых продуктов [1-4, 7].

**Цель** работы – определить особенность применения импульсных ИК-излучателей в технологии сушки корнеклубнеплодов.

### Объекты и методы

Если в качестве тел накала для источника излучения использовать материалы с малым удельным электрическим сопротивлением, следовательно, с низкой степенью черноты, то в процессе нагрева имеются неоправданные потери энергии. Исходя из этого в данном случае предпочтение следует отдать излучателям с телами накала, обеспечивающими высокие радиационные свойства излучателя. К таким излучателям можно отнести импульсные керамические преобразователи излучения. По своим радиационным свойствам

эти излучатели приближаются к абсолютно черному телу, у которого, как известно, степень излучения равна единице [6].

Физические основы теплообразования при импульсном ИК-нагреве остаются теми же, что и при непрерывном облучении. Различие состоит в следующем: при использовании импульсного ИК-облучения и при обеспечении на облучаемом объекте высоких значений энергетической освещённости промежуток времени, необходимый для достижения предельной температуры, существенно короче, чем при обычных режимах постепенного непрерывного облучения, при этом объекты с высокой удельной теплоёмкостью нагреваются быстрее [1, 3].

При определении параметров импульсного ИК-нагрева необходимо учитывать спектральные характеристики излучателя и облучаемого сырья, что позволяет обеспечить соответствие между областью максимального поглощения сырья и максимума излучения источника. Соблюдение этого правила позволя-

ет достигать максимального технико-экономического эффекта инфракрасного нагрева [5, 6].

В данных исследованиях для осуществления операций сушки применялись электронагревательные элементы нового поколения – импульсные керамические преобразователи излучения

Источником первичного ИК-излучения в импульсных керамических преобразователях излучения является обычная нихромовая спираль. Спираль находится в трубке, изготовленной из чистого кварцевого стекла, покрытого многослойным функциональным керамическим покрытием. Это покрытие обеспечивает преобразование полного спектра ИК-излучения от нагревательного элемента в излучение очень узкого диапазона ближней области ИК-спектра, при этом излучение происходит не в непрерывном режиме, а идет в виде ряда импульсов длительностью 10-3000 мкс. Плотность излучения энергии в импульсе достигает значений 120-350 Вт/см<sup>2</sup>. Уровень энергии соответствует излучаемому ИК-диапазону [1, 3, 5]

Особенность работы излучателей данного вида состоит в том, что керамика аккумулирует тепловое излучение, преобразует, а затем импульсно «выстреливает» излучение в нужной области спектра. При этом длина волны генерируемого излучения варьируется в диапазоне 1,7-5,8 мкм. Уникальным свойством данного рода излучателей является возможность очень точного селективного воздействия непосредственно на молекулярные связи в любых веществах в различных агрегатных состояниях.

Так как система имеет определенный исходный энергетический потенциал, то при прохождении электрического тока система поглощает энергию всего ИК-спектра, используя ее для активизации своей электронной структуры и повышения своего исходного энергетического состояния. При достижении

уровня энергетического барьера (насыщения) система преодолевает его, и происходит импульсный выброс энергии, после которого система возвращается в исходное энергетическое состояние (рис. 1). Уровень энергии при этом соответствует излучаемому ИК-диапазону.

Благодаря высокой проникающей способности ИК-излучения определенной мощности с соответствующей длиной волны органические и биоорганические молекулы диссоциируют микроорганизмы, споры, грибки, а также разрушают и уничтожают вирусы. Данные особенности импульсного ИК-излучения позволяют получать продукты длительного хранения.

Эффект преобразования полного ИК-спектра в эффективное импульсное излучение ИК-спектра узкого диапазона – это частное проявление эффекта инфракрасного лазера [1, 3].

Для подтверждения теоретических положений выбора источников ИК-излучения для термообработки корнеклубнеплодов на экспериментальной установке проводились исследования с применением импульсных керамических ИК-излучателей, диапазона средневолнового и коротковолнового излучения.

Исследования терморadiационных характеристик и кривых нагрева корнеклубнеплодов показали, что температура нагрева корнеклубнеплодов не превышает 60°C при облучении их средневолновым излучателем мощностью 500 Вт на рабочем расстоянии 250 мм во время полного цикла работы облучателя 10 мин. Поскольку превышение данной температуры в корнеклубнеплодах при сушке ведёт к необратимым потерям витаминов и микроэлементов, то данные параметры ИК-энергоподвода можно принять как «эффективные». Экспериментальные исследования влияния параметров ИК-энергоподвода на температуру корнеклубнеплодов представлены в таблице 1.

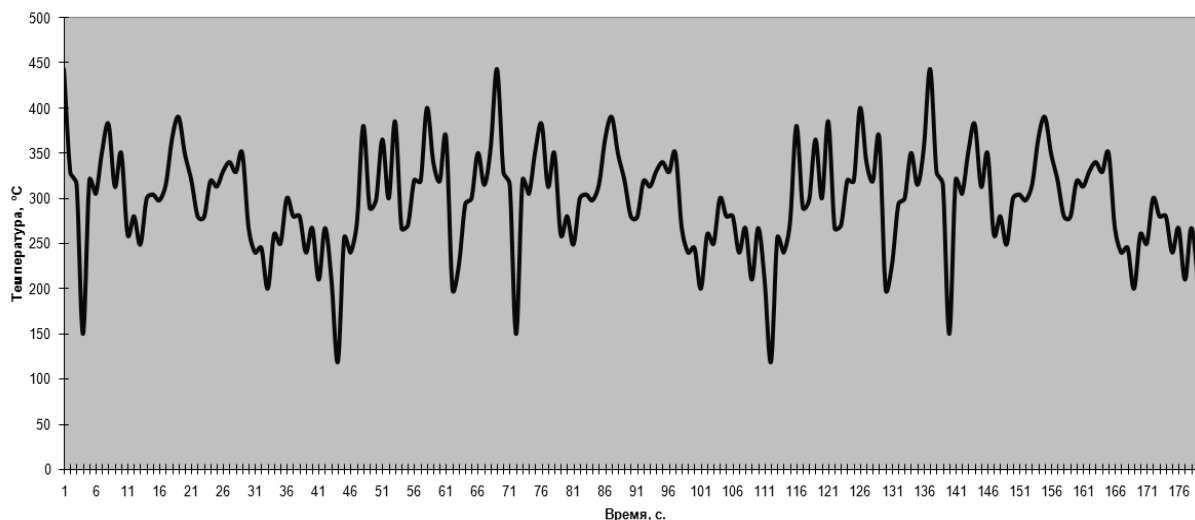


Рис. 1. Импульсная работа ИК-излучателя

Влияние параметров ИК-энергоподвода на температуру нагрева корнеклубнеплодов

Номер опыта	Мощность, Вт	Время, с	Расстояние, мм	Температура корнеклубнеплодов, °С
1	500	60	150	65
2	500	60	200	46
3	500	60	250	39
4	500	330	150	96
5	500	330	200	68
6	500	330	250	54
7	500	600	150	99
8	500	600	200	70
9	500	600	250	56
10	1100	60	150	111
11	1100	60	200	99
12	1100	60	250	80
13	1100	330	150	148
14	1100	330	200	126
15	1100	330	250	107
16	1100	600	150	148
17	1100	600	200	125
18	1100	600	250	107
19	1500	60	150	142
20	1500	60	200	74
21	1500	60	250	71
22	1500	330	150	180
23	1500	330	200	114
24	1500	330	250	108
25	1500	600	150	180
26	1500	600	200	130
27	1500	600	250	110

С помощью активного планирования проведена оценка зависимости температуры нагрева корнеклубнеплодов от параметров ИК-энергоподвода, представленная поверхностями отклика (рис. 2).

Анализ полученных данных позволил установить, что температура нагрева корнеклубнеплодов напрямую зависит от параметров ИК-энергоподвода. Рассмотрено влияние трех факторов: мощности излучателя (выбран средневолновый излучатель), (500 Вт (-1), 1100 Вт (0) и 1500 Вт (+1)); времени нагрева (60 с (-1), 330 (0) и 600 с (+1)); расстояния между излучателем и корнеклубнеплодами (150 мм (-1), 200 мм (0) и 250 мм (+1)). Получено уравнение регрессии:

$$y_1 = 118,74 + 28,67x_{1м} + 16,56x_{2н} - 24,28x_3 - 22,22x_{1м}^2 - 13,89x_{2н}^2 + 10,94x_3^2 - 8,5x_{1м}x_3, \quad (1)$$

где  $x_{1м}$  – мощность излучателя, Вт;

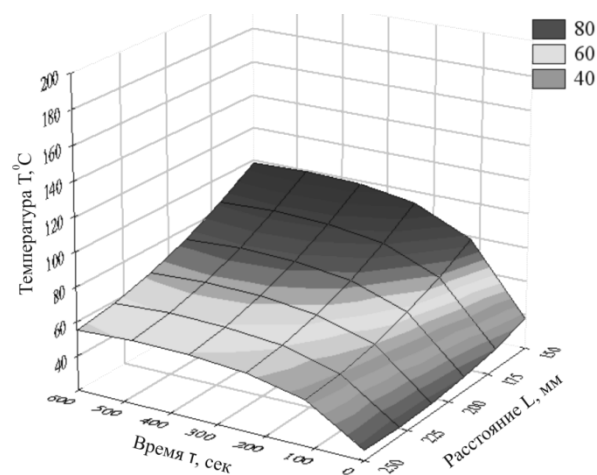
$x_{2н}$  – время нагрева, с;

$x_3$  – расстояние между излучателями и корнеклубнеплодами, мм;

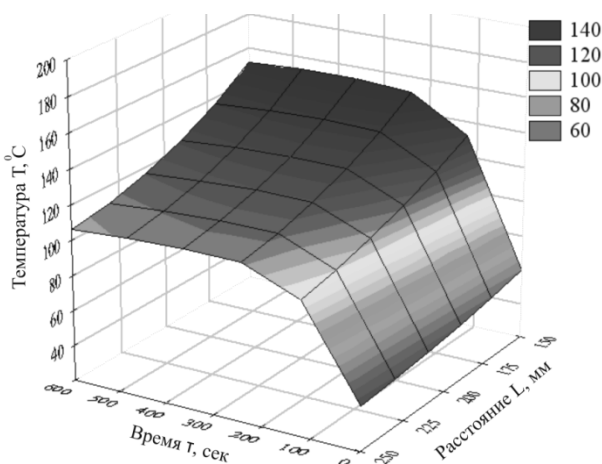
$y_1$  – температура нагрева корнеклубнеплодов, °С.

Как и следовало ожидать, поверхности отклика нагрева корнеклубнеплодов, приведенные на рисунке 2, представляют собой экспоненциальные зависимости. Экспоненциальный характер нагрева корнеклубнеплодов в процессе облучения его мощным потоком ИК-излучения указывает на хорошее совпадение теоретических и лабораторных экспериментов. Здесь наиболее отчетливо просматривается влияние показателя концентрации мощности на скорость нагрева продукта.

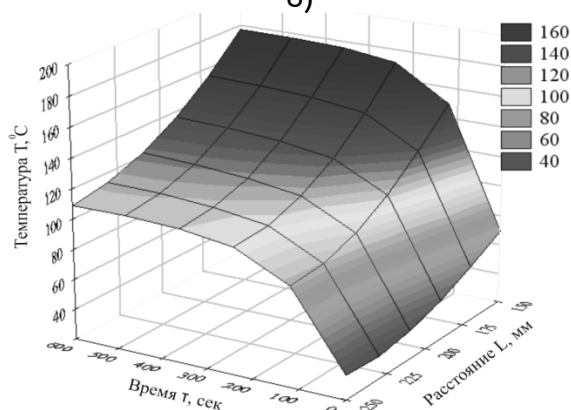
В качестве главного качественного параметра при получении продуктов высокой биологической активности принята температура нагрева корнеклубнеплодов, которая не должна превышать 60°С. Анализ результатов показывает, что на расстоянии 225-250 мм при мощности излучателя 500 Вт в течение полного цикла облучения 600 с температура нагрева корнеклубнеплодов не превышает 60°С. Минимальная температура нагрева корнеклубнеплодов (39°С) наблюдается при параметрах ИК-энергоподвода: 500 Вт, 60 с и 250 мм. Максимальная температура нагрева корнеклубнеплодов (180°С) наблюдается при следующих параметрах ИК-энергоподвода: 1500 Вт, 330-600 с и 150 мм.



а



б)



в

**Рис. 2. Зависимость температуры нагрева корнеклубнеплодов от параметров ИК-энергоподвода:**  
**а – мощность излучателя 500 Вт;**  
**б – мощность излучателя 1100 Вт;**  
**в – мощность излучателя 1500 Вт**

### Заключение

Используя особенности работы импульсных ИК излучателей, можно получать продукты длительного хранения с высокими качественными показателями при минимальных энергозатратах.

### Библиографический список

1. Григорьев И.В., Рудобашта С.П. Импульсная инфракрасная сушка семян овощных культур // Вестник МГАУ им. В.П. Горячкина. – 2009. – № 4 (35). – С. 7-10.

2. Лебедев П.Д. Сушка инфракрасными лучами. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1955. – 232 с.

3. Очиров В.Д. Обоснование режимов ИК-энергоподвода в технологии сушки корнеплодов моркови импульсными керамическими преобразователями излучения: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02. – Красноярск, 2011. – 189 с.

4. Алтухов И.В., Очиров В.Д. Технология инфракрасной сушки сахаросодержащих корнеплодов // Engineering problems in agriculture and industry: матер. Междунар. конф. – Улан-Батор, 2010. – С. 87-92.

5. Алтухов И.В. Применение дискретного ИК-энергоподвода в технологии сушки сахаросодержащих корнеплодов // Вестник ИрГСХА. – 2013. – № 55. – С. 100-105.

6. Пат. 2393397 РФ Способ импульсной инфракрасной сушки термолабильных материалов / Григорьев И.В., Рудобашта С.П. – № 2009119751; опубл. 27.06.2010; Бюл. №18.

7. Suvarnakuta P., Devahastin S., Mujumdar A.S. Drying Kinetics and  $\beta$ -Carotene Degradation in Carrot Undergoing Different Drying Processes // Food Science Technology. – Vol. 70 (8). – P. 520-526.

### References

1. Grigor'ev I.V., Rudobashta S.P. Impul'snaya infrakrasnaya sushka seyan ovoshchnykh kul'tur // Vestnik MGAU im. V.P. Goryachkina. – 2009. – № 4 (35). – S. 7-10.

2. Lebedev P.D. Sushka infrakrasnymi luchami. – M.-L.: Gosenergoizdat, 1955. – 232 s.

3. Ochirov V.D. Obosnovanie rezhimov IK-energopodvoda v tekhnologii sushki korneplodov morkovi impul'snymi keramicheskimi preobrazovatelyami izlucheniya: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.02. – Krasnoyarsk, 2011. – 189 s.

4. Altukhov I.V., Ochirov V.D. Tekhnologiya infrakrasnoi sushki sakharosoderzhashchikh korneplodov // Engineering problems in agriculture and industry: mat. mezhdunar. konf. – Ulan-Bator, 2010. – S. 87-92.



5. Altukhov I.V. Primenenie diskretnogo IК-energopodvoda v tekhnologii sushki sakharosoderzhashchikh korneplodov // Vestnik IrGSKhA. – 2013. – № 55. – S. 100-105.

6. Pat. 2393397 RF Sposob impul'snoi in-frakrasnoi sushki termolabil'nykh materialov / I.V. Grigor'ev, S.P. Rudobashta; zayavka

№ 2009119751, opubl. 27.06.2010 g., Byul. № 18.

7. Suvarnakuta P., Devahastin S., Mujumdar A.S. Drying Kinetics and  $\beta$ -Carotene Degradation in Carrot Undergoing Different Drying Processes // Food Science Technology. – Vol. 70 (8). – P. 520-526.



УДК 633.34:664.0:636.084

В.И. Земсков, Г.М. Харченко  
V.I. Zemskov, G.M. Kharchenko

## ФИЛЬТРУЮЩАЯ ЦЕНТРИФУГА ДЛЯ ОЧИСТКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ НА БАЗЕ СЕПАРАТОРА СЦ-3

### FILTERING CENTRIFUGE FOR VEGETABLE OIL CLARIFICATION BASED ON STS-3 SEPARATOR

**Ключевые слова:** растительные масла, актуальность, центрифугирование, фильтровальная перегородка, цеолит, свойства, Сокирнит, теория, переоборудование, сепаратор, устройство.

Указывается на актуальность постановки на производство фильтрующих конических центрифуг фильтрующей перегородкой из природного цеолита. Рассматриваются способы использования отходов производства растительных масел  $\square$  фосфатидов. Отмечается использование фосфатидов в хлебопечении, при производстве кондитерских изделий, быстрорастворимых напитков, смесей для детского питания, мороженого, сыров, мясных фаршей, маргарина и майонеза. Кормовой фосфатидный концентрат входит в состав кормов для вскармливания молодняка крупного рогатого скота, свиней, овец и кур, где он играет роль физиологически активной добавки и эмульгатора. Приводится свойства природного цеолита марки «Сокирнит», которые показывают, что он является хорошим фильтрующим материалом при использовании в фильтрующих центрифугах (адсорбционная ёмкость по воде – 34-38%, площадь макропор – 18-21 м<sup>2</sup>/г, площадь микропор – 1-2 м<sup>2</sup>/г). Приводятся ссылка на работы многих авторов, подтверждающих положительный эффект от использования цеолита в качестве кормовой добавки, а обогащение фосфатидами значительно повышает его ценность как кормовой добавки. Рассматривается теория фильтрования в конических центрифугах применительно к принципиальной схеме модернизации сепаратора СЦ-3 для очистки растительных масел. При использовании переоборудованной центрифуги на базе сепаратора СЦ-3 процесс очистки масла подчиняется закону Стокса в поле центробежных сил. Приводится формула производительности, доработанная с учетом особенностей принципиальной схемы модернизированного сепаратора. Центрифуга на базе модернизированного сепаратора отличается от серийного сепаратора изменением конструкции некоторых деталей. Внутренняя полость корпуса барабана делается конической, заполняется цеолитом, пакет тарелок удаляется.

Описываются конструкция модернизированного сепаратора, содержание модернизации, принцип действия при очистке растительных масел. Расчетная производительность центрифуги на базе сепаратора СЦ-3 равна 135 кг/ч.

**Keywords:** vegetable oils, topicality, centrifugation, filtering membrane, zeolite, properties, Sokirnit zeolite, theory, re-equipment, separator, design.

The topicality of manufacture of filtering conical centrifuges with filtering membranes of natural zeolite is pointed out. The use of vegetable oil production wastes, phosphatides, in bread baking, confectionery products, instant beverages, baby formulas, ice cream, cheese, ground meat, margarine and mayonnaise is discussed. Feed phosphatide concentrate is included in the feeds for young cattle, pigs, sheep and chickens and it acts as physiologically active supplement and emulsifier. The properties of Sokirnit natural zeolite confirm it is a good filtering material to be used in filtering centrifuges (water adsorption capacity – 34-38%, macro-pore area – 18-21 m<sup>2</sup> g, and micro-pore area – 1-2 m<sup>2</sup> g). The literature data that confirm the positive effect of zeolite as a feed supplement is presented, and phosphatide enrichment of feeds significantly increases its value as a feed supplement. The theory of filtration in conical centrifuges is discussed as applied to the concept of the STs-3 separator modernization for vegetable oil clarification. When the re-equipped centrifuge is used in the STs-3 separator, oil clarification process follows Stokes' law in the centrifugal force field. The modified capacity equation taking into account the features of the re-equipped separator is presented. The centrifuge in the upgraded separator differs from that in the series-produced separator by the design change of some parts. The internal cavity of the separating drum body is conical and filled with zeolite; the stack of plates is removed. The design of the upgraded separator, the essence of modernization and the principle of oil clarification action is described. The design capacity of the centrifuge based on STs-3 separator is 135 kg h.