

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

УДК 536.242

УСМАНОВ БОТИРЖОН СОТИВОЛДИЕВИЧ

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА
ПРИ СУШКЕ ГРАНУЛ ШРОТА, ПОЛУЧЕННЫХ
СКОРОСТНЫМ ГРАНУЛИРОВАНИЕМ

Специальность 05.18.12 - Процессы, машины и агрегаты
пищевой промышленности

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ташкент - 2003

Работа выполнена на кафедре «Технологические процессы и аппараты»
Ташкентского химико-технологического института.

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Нурмухамедов Х.С.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Гулямов Ш.М.

кандидат технических наук,
Зупаров Р.И.

Ведущая организация: – АООТ «Узбеккимемаш»

Защита диссертации состоится « » _____ 2003 года в ____ часов
на заседании специализированного совета Д.067.24.03 в Ташкентском химико-
технологическом институте по адресу: 700011, г. Ташкент, ул. А. Навои, 32.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ташкентского химико-
технологического института по адресу: 700011, г. Ташкент, ул. А. Навои, 32.

Автореферат разослан « » _____ 2003 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
доктор технических наук, профессор

Кадиров Ю.К.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Президент Республики Узбекистан И.А.Каримов при определении стратегических целей в области реформирования экономики, одним из важнейших положений определил следующее: "...осуществление глубоких структурных преобразований экономики, обеспечение эффективного использования материальных, природных и трудовых ресурсов, производство конкурентоспособной продукции, интегрирование в мировую экономическую систему»¹.

В этом свете важнейшей задачей стоящей перед маслособывающей промышленностью является повышение эффективности переработки хлопковых семян и продуктов его промышленной переработки – шрота.

В настоящее время хлопковый шрот после технологической переработки складывается, и подвергается порче тем больше, чем дольше он хранится. Доля хлопкового шрота составляет до 47% от производительности предприятия по исходному сырью, т.е. по семенам хлопчатника. Вследствие того, что получаемый шрот не кондиционен по влажности и гранулометрическому составу, а размеры частиц шрота колеблется от мелкодисперсного до 10-15мм. Следовательно, гранулирование рассыпного хлопкового шрота является эффективным способом ликвидации вышеназванных недостатков.

Анализ состояния вопроса кондиционирования шротов как по влажности, так и гранулометрическому составу показал, что работ посвященных данной проблеме крайне малочисленны. Данные же по сушке гранулированного шрота вообще отсутствуют.

Общеизвестно, что сушка - один из самых энергоемких процессов, поэтому в области техники сушки, экономия энергетических ресурсов всегда является актуальной проблемой.

Известно, что создание высокоэффективных и экономичных сушильных аппаратов и установок позволит значительно снизить энергоемкость процесса сушки. В последние годы все шире применяются сушилки с активными гидродинамическими режимами. Обработка полидисперсных материалов в струйно-псевдооживленном слое является одним из способов интенсификации тепло-и массообмена дисперсной фазы с теплоносителем. Но данный процесс применительно к гранулам хлопкового шрота, полученных скоростным гранулированием вообще не изучен и не исследован. Следовательно, возникает необходимость проведения экспериментальных исследований, обобщение данных и анализ данных по сушке гранул в струйно-псевдооживленном слое.

Данная работа выполнена в соответствии с ГНТП ГКНТ РУз по направлению «Разработка ресурсосберегающих, экологически безопасных технологий для производства химических и пищевых продуктов», шифр 19.4, государственный регистрационный № 01.97.0006056, а также с планом НИР госбюджетной НИГ «Тепломассообмен» и кафедры «Технологические процессы и аппараты» ТашХТИ.

¹ Каримов И.А. Узбекистан по пути углубления экономических реформ. - Т.: Узбекистан, 1995. - 246 с.

Цель работы: исследование гидродинамики и теплообмена при сушке гранул хлопкового шрота в струйно-псевдооживленном слое, а также аппаратное оформление процессов гранулирования и сушка.

Научная новизна:

- разработан новый способ сушки твердых тел в струйно - псевдооживленном слое при числах псевдооживления $K_w \leq 1,8$ и разности температур теплоносителей общего потока и струи $60-80^\circ\text{C}$, позволяющий снизить энергозатраты;

- получены новые опытные данные по гидродинамике струйно-псевдооживленного слоя гранул хлопкового шрота и выведена критериальная формула для расчета скорости начала псевдооживления;

- выявлены пределы существования неподвижного, псевдооживленного слоя и уноса гранул хлопкового шрота при струйном псевдооживлении;

- получены новые данные по теплообмену при сушке гранул хлопкового шрота в псевдооживленном слое, при наложении гидродинамически активных, плоских струй;

- определены оптимальные режимные параметры процесса сушки гранул шрота: температура общего потока $t_{\text{оп}} = 60^\circ\text{C}$, струи $t_{\text{ст}} = 120-140^\circ\text{C}$ и число псевдооживления $K_w \leq 1,8$, при которых циркулирующая модель перемешивания гранул близка к идеальной, а энергетические затраты минимальны;

- установлено влияние режимных параметров на теплообмен при сушке гранул шрота в условиях струйного псевдооживления, при котором интенсификация теплообмена составляет 10-30%.

Практическая ценность. Создана инженерная методика расчета промышленных сушилок для гранул шрота, полученных скоростным гранулированием. На основе экспериментальных данных предложены конструкции сушилки с псевдооживленным слоем и гранулятора турболопастного типа. Создана технология получения улучшенного качества и гранулометрического состава товарных гранул, на основе исходного рассыпного хлопкового шрота.

Результаты экспериментальных исследований, представленные в виде графических зависимостей и таблиц данных, а также формулы для расчета интенсивности теплообмена струйно-псевдооживленного слоя могут быть использованы инженерно-техническими и научными работниками различных отраслей промышленности, проектно- и научно-исследовательских институтов при создании новых типов сушильных аппаратов и грануляторов, а также при разработке технических заданий. Внедрение предлагаемой технологии гранулирования рассыпного шрота и сушки в псевдооживленном слое при наложении гидродинамически активных струй позволит существенно улучшить качество и товарный вид шрота.

Реализация результатов работы: Основные научные результаты диссертации используются при чтении курса «Процессы и аппараты химической технологии» для бакалавров ТашХТИ и ФерПИ.

Результаты работы внедрены в АООТ «Узбеккимемаш» с ожидаемым экономическим эффектом 48,05 млн. сумов.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы были доложены, обсуждены и получили одобрение на: ежегодных научно-технических конференциях Ташкентского химико-технологического института, г. Ташкент, 1999-2002 г.; научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава Ферганского политехнического института, г. Фергана, 1999, 2000 г.; Республиканской научно-теоретической конференции "Нетрадиционные методы техники и технологии", г. Фергана, 1999, 2001 г.г.; Международной научно-теоретической конференции "Процессы и аппараты химической технологии", г. Чимкент, 2001 г.; Республиканской научно-технической конференции "Передовые технологии в пищевой промышленности", г. Ташкент, 2001 г.; Международной научной конференции "Математические модели в технике и технологии. ММТТ-4", г. Смоленск, 2001 г.; Республиканской научно-практической конференции молодых ученых "Современные проблемы техники и технологии", г. Фергана, 2002 г.

Публикации: По диссертации опубликовано 19 научных трудов, в том числе 3 статьи и 16 тезисных докладов.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, литературы, условных обозначений и приложений, включающих материалы и документы, подтверждающие практическое применение и экономическую эффективность результатов работы.

Работа изложена на 157 стр., в том числе 33 рисунков, 2 таблиц и список использованной литературы из 156 наименований.

Пользуясь случаем, автор выражает глубокую благодарность генеральному директору ОАО «Илмий таджикотчи» д.т.н. Касымходжаеву Б.К. и д.т.н. профессору Маннанову У.В. за оказание всесторонней помощи при разработке технологии гранулирования рассыпного шрота и сушки в струйно-псевдооживленном слое, а также всем сотрудникам госбюджетной НИГ "Тепломассообмен" за оказанную поддержку при выполнении работы и повседневную помощь.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и постановка задачи исследования.

В первой главе представлен обзор работ по физико-механическим свойствам трудносыпучих материалов. Довольно-таки подробно рассмотрены способы сушки гранул и аппаратурное оформление процесса сушки твердых тел. Здесь же, приведены выводы по главе и постановка задачи исследования.

Во второй главе диссертации приведены схемы экспериментальных установок для грануляции трудносыпучих материалов и сушки гранул, полученных методом скоростного гранулирования. Затем даются методики проведения опытов, их обработки и обобщения данных по гидродинамике и

теплообмену при струйном псевдоожигении слоя.

Кроме того, в этой главе приводятся результаты анализа погрешности измеряемых и вычисляемых параметров. Завершается глава выводами.

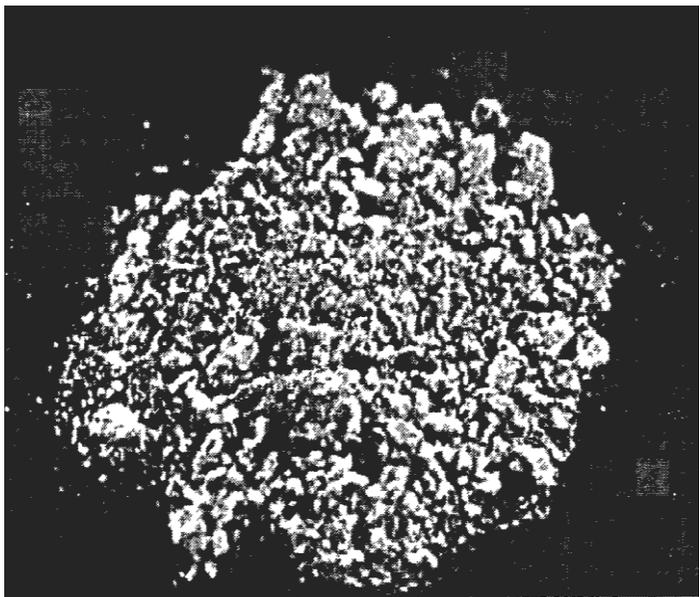
В третьей главе даются материалы по экспериментальному исследованию гидродинамики слоя тел неправильной формы трудносыпучих материалов и теплообмену при сушке гранул шрота в струйно-псевдоожигенном слое.

В данной главе рассматриваются результаты влияние удельной массовой нагрузки и влажности гранул шрота, температуры и скорости теплоносителей на интенсивность теплообмена в условиях струйного псевдоожигении слоя.

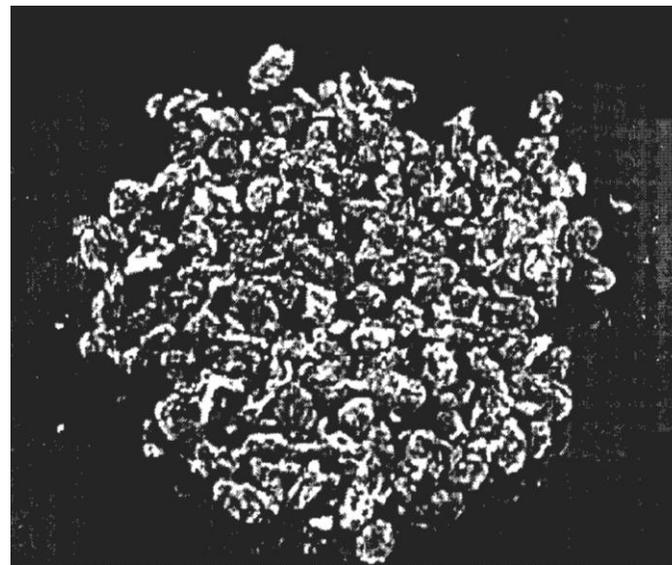
Известно, что гранулометрический состав исходного шрота очень плохой и не соответствует требованиям стандарта по влажности, питательным свойствам и товарному виду (рис.1). Основную долю (74%) составляет фракции до 5 мм, а на 5÷10 мм приходится - 1/4 часть (24%), и соответственно на 10-15 мм всего 2% от общей массы материала. Особенно следует подчеркнуть большое количество мелкодисперсной фракции (1/5 часть), которая создает трудности в производстве, при транспортировке и распыляясь – загрязняет территорию предприятия и близлежащие районы шротовой пылью. Кроме того, зачастую в процессе распыления с этой фракцией происходят безвозвратные потери и маслосодержащих частиц.

Гранулирование исходного шрота с плохим грансоставом (рис.1а) и товарным видом резко улучшает его показатели (рис.1 в,г,д). В качестве обогащающего и связующего компонента использовано суспензия рисовой муки или пивной дробины. В результате скоростного гранулирования в турбулентном потоке резко улучшается гранулометрический состав гранул хлопкового шрота (рис.1). Так, например, при влажности гранул $U = 25\%$ грансостав $R = 89\%$, при $U = 28\%$ $R = 92\%$ и наконец при $U = 33\%$ - $R = 96\%$. Но самое главное, как видно из графиков, после грануляции отсутствует мелкодисперсная фракция, которая вся распределяется по вновь образованным гранулам и служит связующим компонентом при налипании относительно мелких частиц, чем гранула. Одновременно ликвидированы и частицы размером свыше 10 мм. Это обусловлено применением дополнительной стадии измельчения, предшествовавшее процессу гранулообразования.

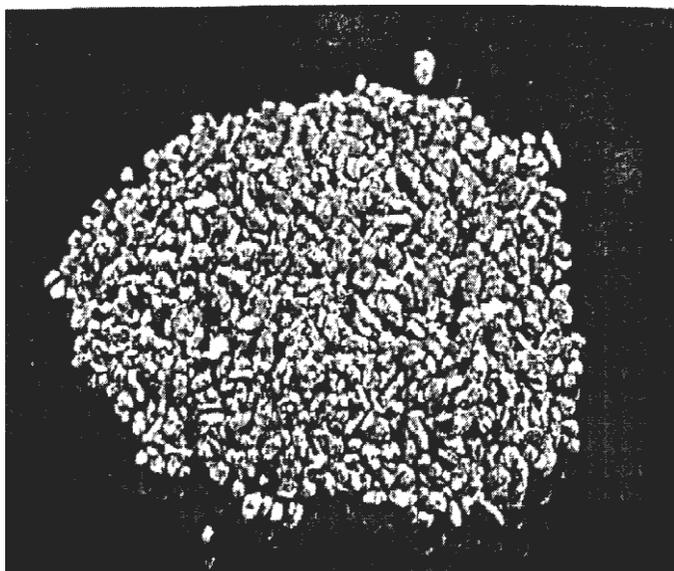
На рис.2 приведена зависимость насыпной плотности слоя гранулированного шрота от изменения их диаметра. Из функции $\rho_{\text{нас}} = f(d_3)$ видно, что для исходного шрота (линия 1) численные значения $\rho_{\text{нас}} = 432 \text{ кг/м}^3$ не изменяется, а для гранулированного шрота (линия 2) она меняется в зависимости от эквивалентного диаметра. Из графика следует, что с уменьшением d_3 насыпная плотность растет. Так, если для $d_3 = 10 \text{ мм}$, $\rho_{\text{нас}} = 358 \text{ кг/м}^3$, то для $d_3 = 6 \text{ мм}$ - $\rho_{\text{нас}} = 414 \text{ кг/м}^3$. Начиная с $d_3 = 5,0 \text{ мм}$ насыпная плотность сравнивается с плотностью исходного шрота. Дальнейшее снижение диаметра гранул ведет к резкому росту его насыпной плотности. Уже при $d_3 < 5,0 \text{ мм}$ численные значения $\rho_{\text{нас}}$ начинают увеличиваться. При $d_3 = 4,0 \text{ мм}$



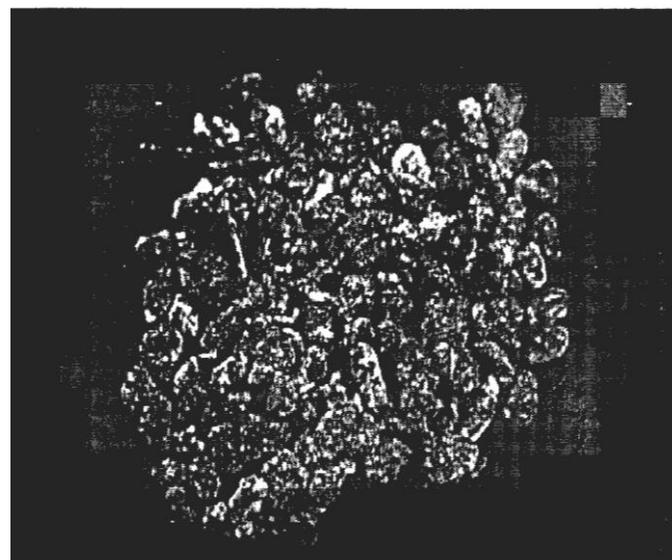
a)



б)



в)



г)

Рис.1. Фотоснимки исходного рассыпного (а) и гранулированного хлопкового шрота (в,г,д)

значение $\rho_{\text{нас}} = 448 \text{ кг/м}^3$, то при $d_3 = 2,0 \text{ мм}$, $\rho_{\text{нас}} = 528 \text{ кг/м}^3$ наблюдается рост $\rho_{\text{нас}}$ на 30 %. Если же, $d_3 = 1,0 \text{ мм}$, то $\rho_{\text{нас}}$ будет равна 645 кг/м^3 , т.е. увеличение насыпной плотности слоя гранул достигнет 50 %.

На рис.3 представлены результаты экспериментального исследования скорости начала псевдооживления гранул шрота. Из графиков видно, что с повышением диаметра гранул, численные значения скорости начала псевдооживления возрастают. Если, для $d_3 = 3 \text{ мм}$ $w_{\text{пс}} = 1,05 \text{ м/с}$, то для $d_3 = 10 \text{ мм}$, $w_{\text{пс}} = 2,15 \text{ м/с}$. Аналогичная тенденция сохраняется и для других диаметров гранул, т.е. с увеличением численных значений d_3 скорость начала псевдооживления возрастает абсолютно для всех значений влажности. Заметное влияние оказывает и влажность материала. Так например, при диаметре $d_3 = 2,0 \text{ мм}$ с ростом влажности от 27 до 35% численные значения скорости начала псевдооживления возрастают от $w_{\text{пс}} = 1 \text{ м/с}$ до $1,25 \text{ м/с}$. Для гранул диаметром $d_3 = 8,0 \text{ мм}$ при $U = 27\%$ скорость начала псевдооживления $w_{\text{пс}} = 1,95 \text{ м/с}$, при и соответственно при $U = 35\%$ - $w_{\text{пс}} = 2,5 \text{ м/с}$. Как видно, с повышением влажности гранул с 27 до 35% скорость начала псевдооживления возрастают на 25-30%. Следует отметить, что из-за наличия небольшого количества волокон хлопка и пористой структуры гранул, повышается парусность материала, что позволяет получить устойчивое псевдооживление при числах псевдооживления $K_w \leq 1,8$.

Опытные данные по скорости начала псевдооживления гранул шрота различного диаметра и влажности обобщены критериальной формулой в виде:

$$\text{Re}_{nc} = 56,4 \cdot \left(\frac{Ar}{10^6} \right)^{1,6} \cdot \left(\frac{U}{U_p} \right)^{0,67} \quad (1)$$

Полученная формула (1) справедлива в диапазоне изменения эквивалентного диаметра $d_3 = (1 \div 10) \cdot 10^{-3} \text{ м}$, критерия Архимеда $Ar = (0,27 \div 43,6) \cdot 10^6$ и описывает опытные результаты с погрешностью $\pm 6,0\%$.

На рис. 4 представлена зависимость скорости уноса частиц от диаметра в виде функции $w_{\text{ун}} = f(d_3)$. Видно, что с ростом d_3 скорость уноса увеличивается, и такая тенденция наблюдается для всех значений влажности материала.

Обработка экспериментальных данных и теоретический анализ результатов по скорости начала псевдооживления и уноса позволили установить пределы существования различных состояний слоя гранул хлопкового шрота (рис. 5).

Опыты по сушке гранул различной влажности представлены на рис.6 Эксперименты проводились при влажности гранул $U = 26,7 \div 35,2 \%$, при температурах общего потока $t = 60^\circ\text{C}$ и струи $80^\circ\text{C} \div 160^\circ\text{C}$, числах псевдооживления $K_w = 1,5 \div 3,0$; удельной массовой нагрузке $p = 24 \div 130 \text{ кг/м}^2$; диаметр гранул шрота $d_3 = 2 \div 6 \text{ мм}$. При этом, живое сечение газораспределительной решетки имело численное значение $f = 7,2 \%$, а диаметр аппарата – $0,15 \text{ м}$.

Влияние скорости теплоносителя. Известно, что с ростом скорости потока улучшаются интенсивность перемешивания частиц слоя и условия омывания их

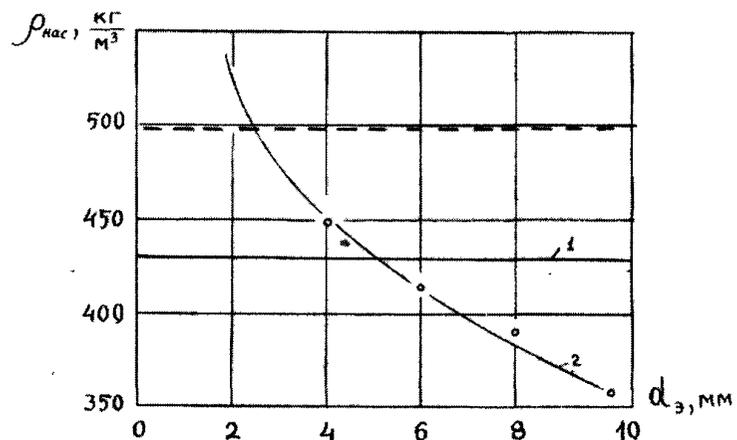


Рис.2. Зависимость насыпной плотности от эквивалентного диаметра гранул, полученных скоростным гранулированием.
1 – насыпная плотность исходного шрота;
2 – насыпная плотность гранулированного шрота

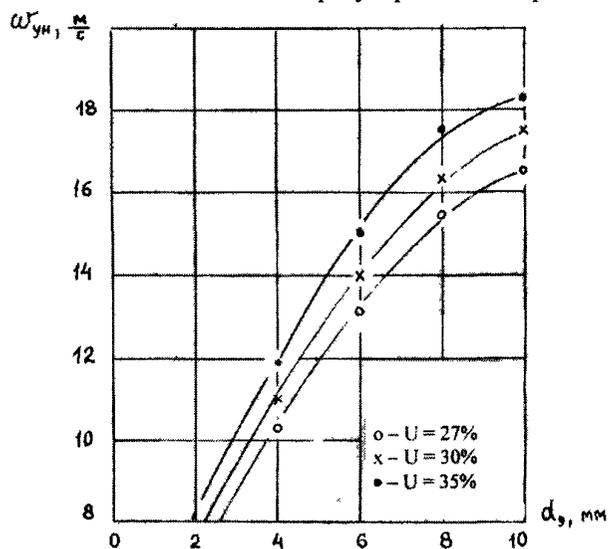


Рис.4. Зависимость скорости уноса $\omega_{ун}$ от диаметра гранул шрота.

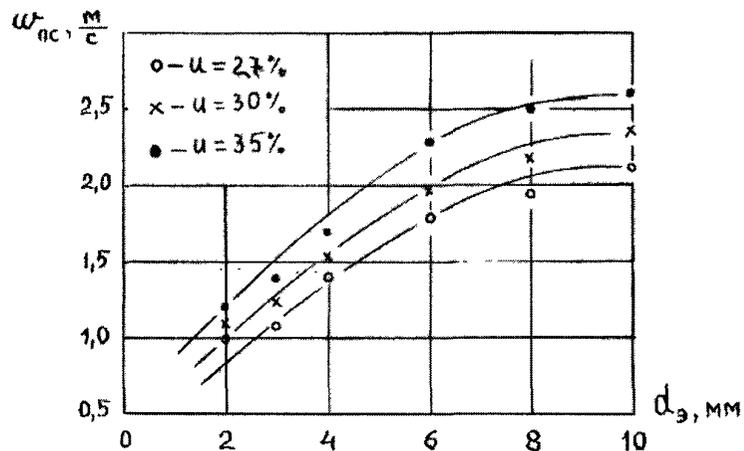


Рис.3. Скорость начала псевдооживления гранул хлопкового шрота, полученных скоростным гранулированием.

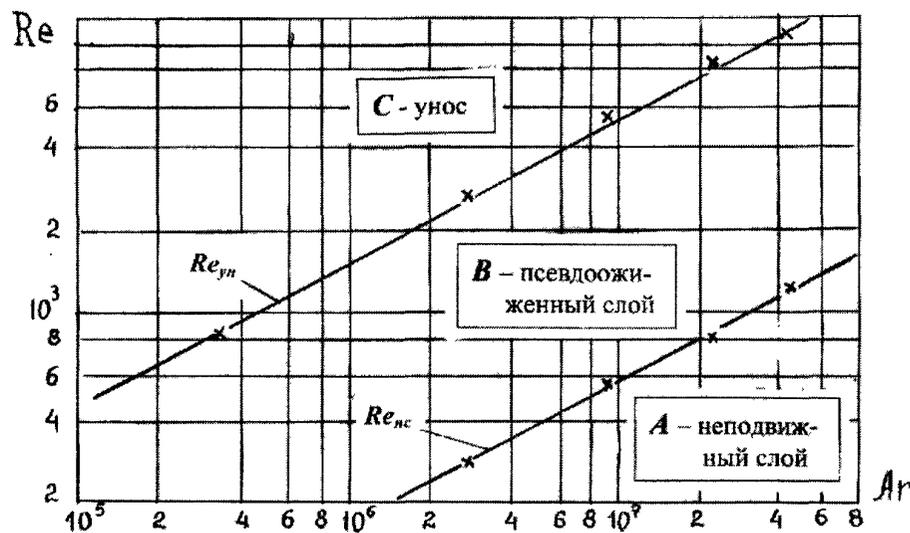


Рис.5. Пределы существования неподвижного и псевдооживленного состояний слоя, а также уноса гранул шрота.
А – неподвижный слой; В – псевдооживленный слой; С – унос частиц

потоком теплоносителя. Но также общеизвестно образование застойных зон характерных для классического псевдооживленного слоя сыпучих материалов. Поэтому, в целях ликвидации застойных зон, образующихся на периферии (у стенки аппарата), в слой с относительно высокими силами сцепления между частицами вводится плоская, гидродинамически активная струя.

Из рис. 6 в видно, что при температуре общего потока $t_{оп} = 60^{\circ}\text{C}$, струи $t_{ст} = 160^{\circ}\text{C}$, диаметре гранул $d_3 = 2$ мм, удельной массовой нагрузки $p = 32,7$ кг/м² и числе $Re = 6900$ значение коэффициента теплоотдачи составляет $\alpha = 325$ Вт/(м²·К), при $Re = 15000$ величина $\alpha = 760$ Вт/(м²·К) и при $Re = 34000$ соответственно равно $\alpha = 1750$ Вт/(м²·К). Такая же зависимость характерна и для других режимов при различных значениях диаметра гранул шрота.

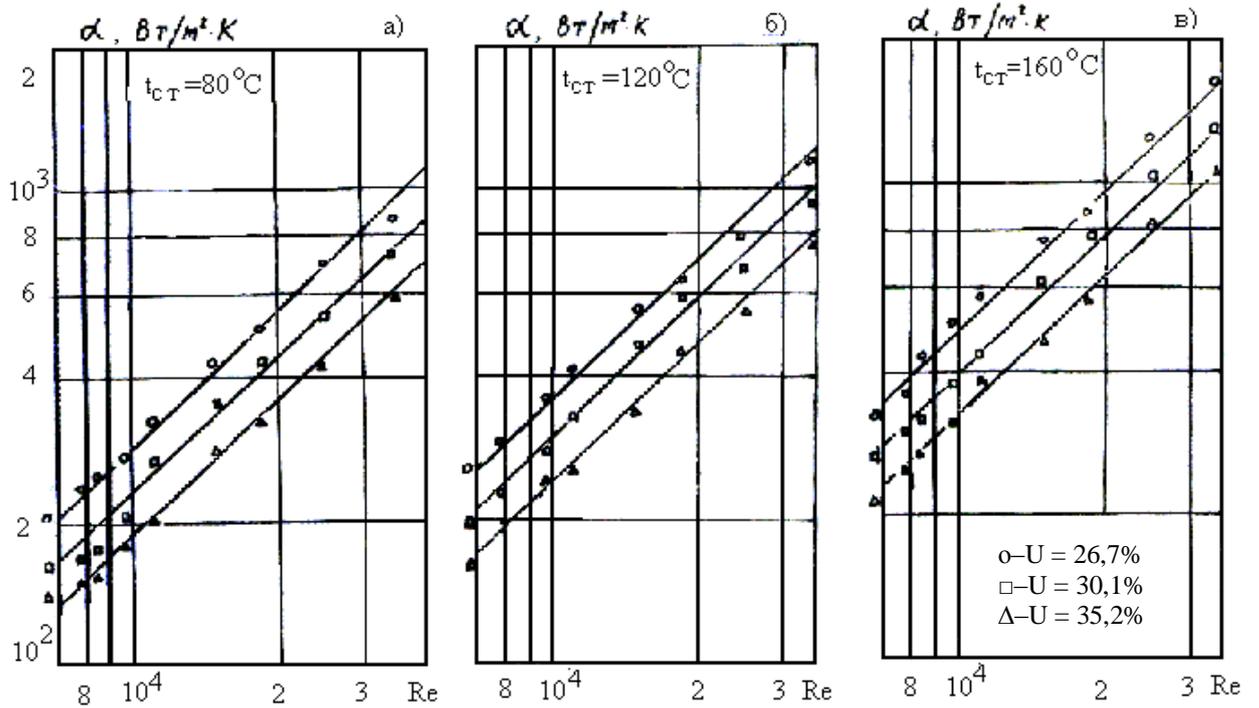
Анализ результатов по теплоотдаче показывает, что с ростом чисел Re , т.е. скорости теплоносителя, происходит увеличение численных значений коэффициента теплоотдачи. Видно, при росте скорости в 1,5 раза, интенсивность теплоотдачи возрастает в 2 с лишним раза. Аналогичное увеличение коэффициента теплоотдачи зафиксировано во всех опытах в широком диапазоне изменения режимных параметров. Обобщая влияние скорости теплоносителя на теплоотдачу при сушке гранул и созданию «идеальных» условий омывания потоком теплоносителя частиц шрота установлена, что повышение скорости потока теплоносителя всегда ведет к росту обмена тепла между взаимодействующими фазами.

Многочисленные опыты показали, что гранулы хлопкового шрота относятся к классу трудносыпучих материалов с большими силами сцепления между частицами. И для интенсификации процесса перемешивания, обеспечения циркуляционного движения гранул и ликвидации застойных зон были использованы 3 плоских струй.

Влияние влажности на теплоотдачу однозначно и естественно, ее рост приводит к снижению численных значений коэффициента теплоотдачи α . На примере рис.6а видно, что при $Re = 10500$ для гранул с влажностью $U = 26,7\%$ имеем $\alpha = 325$, для $U = 30,1\%$ значение α равно 275 и для $U = 35,2\%$ соответственно - 210 Вт/(м²·К). Сопоставление численных значений для различных влажностей показывает, что если влажность возрастает с 26,7 до 35,2%, то коэффициент теплоотдачи уменьшается в 1,5-1,6 раза. Повышение влажности материала всегда ведет к снижению величины α . Аналогичная зависимость характерна и для других влажностей материала.

На рис.7 приведены результаты опытов в виде функции $Nu = f(Re)$ для различных значений удельных массовых нагрузок, влажности гранул и температуры струи при неизменной температуре общего потока теплоносителя.

Из рис.7 видно, что общая закономерность роста интенсивности теплообмена Nu в зависимости от Re сохраняется, как и для функции $\alpha = f(Re)$. Так, при удельной массовой нагрузке $p = 32,7$ кг/м², диаметре гранул шрота $d_3 = 2$ мм, температуре общего потока $t_{оп} = 60^{\circ}\text{C}$ и струи $t_{ст} = 80^{\circ}\text{C}$ для влажности $U = 26,7\%$, для $Re = 10500$ значение $Nu = 21$, для



Рис

воздуха общего потока $t_{оп} = 60^\circ\text{C}$.

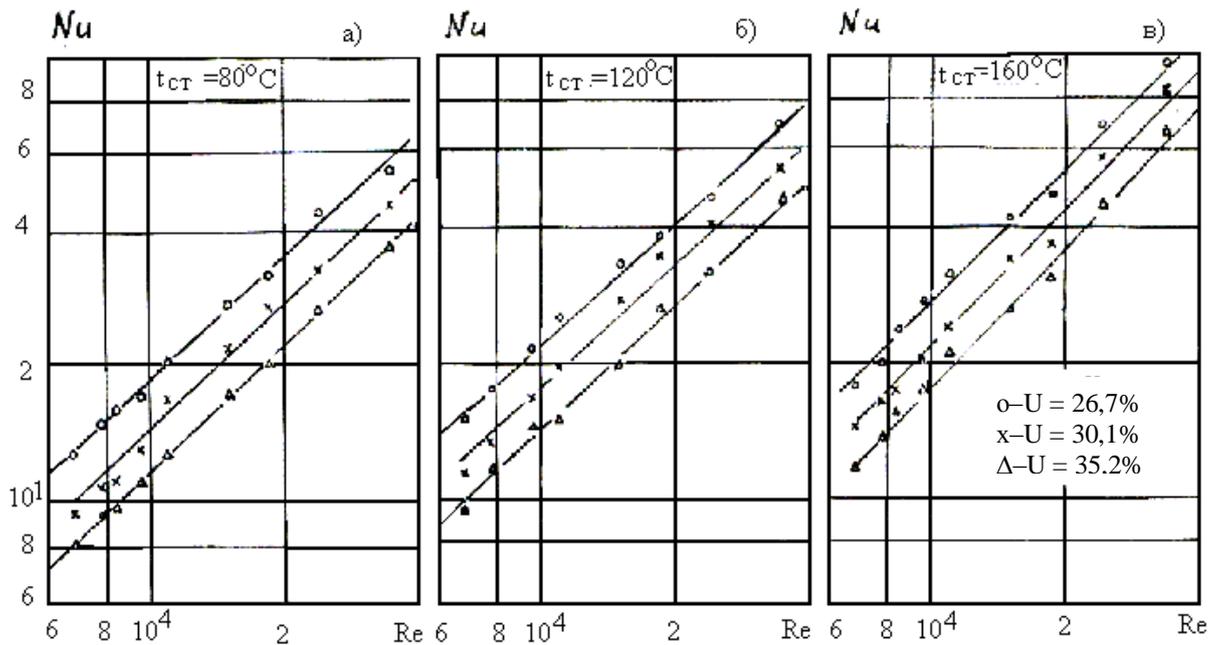


Рис. 7. Зависимость интенсивности теплообмена Nu от скорости теплоносителя Re при сушке гранул шрота в струйно-псевдоожиженном слое. $H=50$ мм, $\rho = 32,7$ кг/м², $d_3 = 2$ мм, $t_{оп} = 60^\circ\text{C}$.

$Re = 24000$, $Nu = 44$ и для $Re = 34000$ соответственно - $Nu = 56$.

Гранулы хлопкового шрота полученные, скоростным гранулированием имеют, высокопористую структуру. Отсюда и условия теплообмена более предпочтительны и способствуют их интенсивному удалению влаги. Причем, фронт углубления температуры в гранулах намного лучше.

Механизм влияния осциллирующего температурного режима тепловой обработки досконально изучен и установлено, что при сушке в потоках с переменной температурой, съём влаги происходит интенсивней и материал не подвергается чрезмерному перегреву. Поэтому, для сушки пористых гранул шрота использован метод сушки при числах псевдооживления $K_w \leq 1,8$, температуре общего потока $t_{оп} = 60^\circ\text{C}$ и струи $t_{ст} = 120 \div 140^\circ\text{C}$, т.е. при разности температур $\Delta t = 60 \div 80^\circ\text{C}$. Эти параметры являются оптимальными режимами процесса сушки гранул шрота.

Обобщение опытных данных по Nu при сушке гранул шрота в условиях струйно-псевдооживленного слоя с использованием гидродинамически активных струй позволило получить формулу в виде:

$$Nu = A \cdot Re^{0,95} \cdot Pr^{0,33} \cdot U_o^{-1,54} \cdot p_o^m \quad (2)$$

где значение коэффициента A и показателя степени m для слоя, состоящего из гранул $d_3 = 2$ мм равны $A = 2,6 \cdot 10^{-4}$ и $m = -0,45$; для слоя из $d_3 = 6$ мм соответственно $A = 6,1 \cdot 10^{-4}$ и $m = -0,427$.

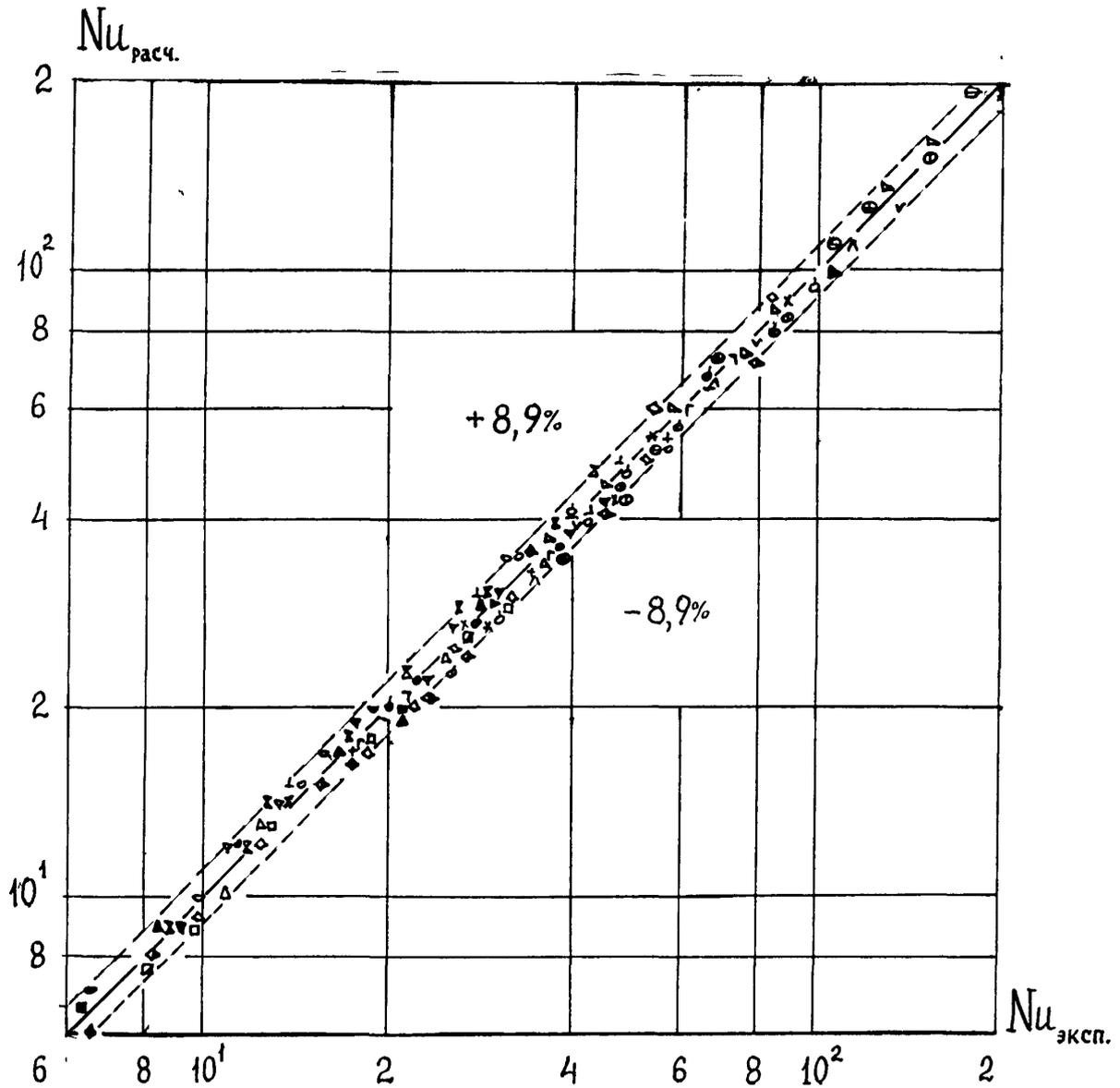
Формула дает справедливые данные в следующем диапазоне изменения режимных данных: $Re = 10^4 \div 3,5 \cdot 10^4$; $d_3 = 2 \div 6$ мм; $Pr = 0,686 \div 0,689$; относительной влажности $U_o = 0,26 \div 0,35$ и относительной нагрузке $p_o = 0,24 \div 1,3$. Формула (2) описывает опытные данные с погрешностью $\pm 8,9\%$ (рис.8). Завершается глава выводами.

В четвертой главе даются материалы практического использования результатов диссертации. Здесь приводится новая технология, включающая процессы обогащения, гранулирования и сушки влажных гранул.

В госбюджетной НИГ «Тепломассообмен» вопрос компактирования решен путем скоростного гранулирования. Одновременно со скоростным гранулированием происходит обогащения исходного шрота питательными веществами из отходов пищевой промышленности. Из скоростного гранулятора гранулы шрота, имеющие форму близкой к шарообразной выходят с влажностью $18 \div 30\%$.

Естественно, такая влажность перед складированием или упаковкой не соответствует требованиям ГОСТ. Качество при этом низкое и из-за наличия влаги в гранулах не может продолжительное время храниться.

Поэтому, необходима организация процесса тепловой обработки, т.е. сушки, до влажности обеспечивающий длительное хранение готового продукта. Одним из интенсивных методов тепловой обработки является сушка сыпучих материалов в псевдооживленном слое. Но, он хорош только для сыпучих зернистых материалов. А если учесть тот фактор, что гранулы шрота,



Температура струи	$t_{ст} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$			$t_{ст} = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$			$t_{ст} = 160\text{ }^{\circ}\text{C}$		
U_0	0,27	0,30	0,35	0,27	0,30	0,35	0,27	0,30	0,35
P_0									
0,244	∇	∧	*	▷	▷	◀	⊖	⊖	⊕
0,327	○	●	●	-	+	×	⊥	⊥	⊥
0,656	△	△	▲	▽	▽	▽	⊗	⊗	⊗
0,974	⌈	⌈	⌈	◇	◇	◇	⊙	⊙	⊙
1,3	□	▣	▣	◇	◇	◇	⊕	⊕	⊕

Рис.8 Сопоставление опытных данных по интенсивности теплообмена $Nu_{эксп}$ с расчетными $Nu_{расч}$ при сушке гранул хлопкового шрота в условиях струйного псевдоожижения.

полученный скоростным гранулированием имеют в своем составе небольшое количество волокна хлопка и имеют неправильную форму, то это будет приводить к образованию застойных зон и к неоднородному псевдоожигению. Поэтому, для предотвращения образования застойных зон и получения однородного ожигения, необходимо ввод плоских струй в псевдоожигенный слой. Кроме того, что в центре псевдоожигенного слоя имеет активное перемешивание, а по краям слоя малоинтенсивное перемешивание. Следовательно, струи должны вводиться в область менее активного перемешивания, т.е. на периферию аппарата.

Многочисленные исследования по форме и месту ввода гидродинамически активной струи слоя трудносыпучих материалов показали, что наиболее эффективным является ввод струй сбоку аппарата в виде плоских струй.

Причем материал, подвергается обработке в потоке с переменной температурой. Разность температур общего потока и струи, как правило, составляет $60 \div 80^\circ\text{C}$. Процесс сушки в аппарате струйного псевдоожигения осуществляется при числах псевдоожигения $K_{\text{п}} \leq 1,6 \div 1,8$. Слой гранул ожигается в потоке горячего воздуха. В целях экономии теплоносителя, общий поток горячего теплоносителя (большой по расходу и его доля составляет 70 - 80%) подается с более низкой ($t_{\text{оп}} = 60^\circ\text{C}$), а поток струи (меньший по расходу, доля которого 20-30 %) с более высокой температурой ($t_{\text{ст}} = 120 \div 140^\circ\text{C}$).

Высушенный материал, имеющий конечную влажность 8% разгружают через штуцер и подается на линию упаковки.

Получение механически прочных, обогащенных гранул по предлагаемой технологии позволяет достичь следующее: предотвращение образования комков и глыб при длительном хранении; отсутствие пылевидной фракции при обращении с готовым продуктом на заводе изготовителе, при упаковке и его конечном применении; улучшение питательных свойств и повышение кормовой ценности.

К вышеперечисленным достоинствам можно прибавить: улучшение товарного вида; равномерное распределение обогащающего компонента в каждой грануле, обусловлено применением сильной турбулизации двухфазного потока в процессе образования гранул; ликвидируется потери сырья, из-за уменьшения доли мелкодисперсной фракции и улучшаются условия работы для людей.

В целях повышения эффективности предлагаемой технологии, процесс гранулообразования должно производиться при минимально возможной влажности материала. Так как, вслед за грануляцией – сушка является последующей технологической операцией. Для эффективной организации процесса сушки гранул шрота выбрана сушилка струйно-псевдоожигенного слоя.

Для равномерного распределения вводимого в аппарат теплоносителя, установлены две газораспределительные решетки. Нижняя имеет живое

сечение 25÷30%, а верхняя для удобства выгрузки высушенного материала установлена под небольшим углом (до 5°) наклона и имеет живое сечение 6-7%.

Характерная особенность предлагаемой сушилки в том, что он обеспечивает однородное псевдооживление, а также придает слою гранул еще и циркуляционное движение. Иными словами, частицы совершают не только возвратно-поступательное, но и вращательное движение.

Применение плоских, гидродинамически активных струй приводит к снижению энергетических затрат на 10÷20%. Данный фактор обусловлен тем, что устойчивое псевдооживление гранул хлопкового шрота при наложении плоских струй происходит при числах псевдооживления $K_w \leq 1,8$.

Струйному псевдооживлению зачастую подвергаются материалы с различными геометрическими размерами частиц. Известно, что в подобных аппаратах одновременно существуют явления перемешивания и сегрегации частиц. Сочетание обеих явлений ведет к интенсификации процесса тепловой обработки влажных материалов. Кроме того, правильная организация циркуляции всего слоя всегда ведет к интенсификации процесса сушки. А самым удачным решением является организованная, управляемая циркуляция всего объема материала. Это достигается в условиях струйного псевдооживления с помощью гидродинамически плоских струй. Особенно это важно при эксплуатации промышленных сушилок с псевдооживленным слоем. В таких аппаратах новая порция влажного материала вводится в различные точки и быстро, эффективно перемешивается с материалом, который уже находится в слое и подвергнут тепловой обработке.

Преимущества сушилки струйно-псевдооживленного слоя: высокая эффективность перемешивания частиц слоя, т.е. одновременно осуществляется возвратно-поступательное и циркуляционное движение частиц; процесс оживления материала происходит при числах псевдооживления $K_w \leq 1,8$; очень низкие эксплуатационные расходы и высокая надежность, обусловленные отсутствием механически трущихся деталей и узлов; условия омывания частиц теплоносителем близки к идеальному, вследствие организации движения частиц не только в возвратно-поступательном направлении, но и во вращательном их движении; сушилка конструктивна, проста и технологична, адаптирована к условиям машиностроительных предприятий РУз.

Также в этой главе приводится инженерная методика расчета сушилок струйно-псевдооживленного слоя, которая включает расчеты по выявлению основных конструктивных размеров аппарата. Здесь же представлен экологический анализ предлагаемой технологии, а также выводы по главе.

В завершении работы приведены основные выводы по диссертационной работе, список использованной литературы и условные обозначения.

В приложении даются расчет экономической эффективности, акты внедрения результатов в промышленность и основных научных положений в учебный процесс, программы расчетов и обобщения опытных данных.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Проведены исследования и получены новые данные по гидродинамике и теплообмену в условиях псевдооживления при наложении гидродинамически активных струй в широком интервале изменения влажности материала, температуры и скорости теплоносителя общего потока и струи.

2. Предложен способ сушки влажных гранул в энергетически эффективной области ($K_w \leq 1,8$) и при разности температур между общим потоком теплоносителя и струей в пределах $60 \div 80^\circ\text{C}$.

3. Определены численные значения скорости начала псевдооживления и скорости уноса гранул хлопкового шрота, диаметры которых изменяются в диапазоне от 0,5 до 8 мм и выведена формула для их расчета. На основе выведенных критериальных формул по гидродинамике псевдооживленного слоя определены пределы существования состояния слоя гранул шрота.

4. Выявлено, что одновременное проведение процессов обогащения и гранулирования рассыпного хлопкового шрота путем скоростного гранулирования позволяет увеличить насыпную плотность материала до 30%.

5. Определены оптимальные режимные параметры процесса сушки гранул шрота, полученных скоростным гранулированием: температура общего потока $t_{\text{оп}} = 60^\circ\text{C}$, струи - $t_{\text{ст}} = 120 \div 140^\circ\text{C}$ и число псевдооживления $K_w \leq 1,8$, обеспечивающие сокращение энергетических затрат.

6. Установлено, что с ростом скорости и температуры теплоносителя коэффициент теплоотдачи α и интенсивность теплообмена Nu повышается, а с повышением влажности и удельной массовой нагрузки материала падает. Для расчета Nu выведена критериальная формула, погрешность которой не превышает $\pm 8,9\%$.

7. Установлена степень влияния гидродинамически активных, плоских струй на теплообмен при сушке гранул шрота в условиях струйного псевдооживления, при котором достигается интенсификация теплообмена до $- 30\%$.

8. В результате кондиционирования исходного шрота по гранулометрическому составу и влажности, т.е. тепловой обработки, улучшаются условия транспортировки, хранения и устраняется слеживаемость гранулированных шротов, а самое главное ликвидируется мелкодисперсная фракция. Кроме того, повышаются товарный вид и качество хлопковых шротов.

9. Разработана инженерная методика расчета промышленных аппаратов, для сушки гранул хлопковых шротов в струйно-псевдооживленном слое с использованием гидродинамически активных, высокотемпературных струй.

10. Предложена безотходная и энергетически эффективная технология получения обогащенных, улучшенного качества и гранулометрического состава гранулы шрота, включающая скоростной гранулятор и сушилку струйно-псевдооживленного слоя.

11. Произведен экологический анализ предлагаемой технологии и установлено, что данная технология позволяет ликвидировать загрязнение

окружающей среды и потери ценного маслосодержащего сырья.

12. Ожидаемый экономический эффект от организации мероприятия по улучшению качества хлопкового шрота, по предлагаемому методу составит 48,05 млн. сум/год, на предприятие производительностью 280 т семян в сутки.

**Основное результаты диссертации опубликованы в
следующих научных трудах:**

1. Усманов Б.С., Нурмухамедов Х.С., Касымходжаев Б.К. Особенности псевдооживления гранул шрота, полученных скоростным гранулированием // Илмий техника журнали, 2000. – №2. - С. 99-101.

2. Нурмухамедов Х.С., Усманов Б.С., Касымходжаев Б.К., Алиева К.К. Скоростное гранулирование шротов - эффективный метод повышения качества продукции // Илмий техника журнали, 2000. - №3/4. - С.112-113.

3. Усманов Б.С., Маннанов У.В., Касымходжаев Б.К., Нурмухамедов Х.С. Математическая модель процесса сушки зернисто-волоконистых материалов в псевдооживленном слое // Межд. науч. конф. "Математические модели в технике и технологии. ММТТ- 4", Смоленск, 2001. - С.44-46.

Опубликованные тезисы по материалам диссертации

1. Усманов Б.С., Нурмухамедов Х.С., Касымходжаев Б.К. Влияние режимных параметров теплоносителя и материала на интенсивность теплоотдачи // Тез. докл. науч.-техн. конф. ТашХТИ, Ташкент, 1999. -С.70.

2. Усманов Б.С., Касымходжаев Б.К., Зуфаров Р.Н. Экспериментальная установка для скоростного гранулирования // Тез. докл. науч.-техн. конф. ТашХТИ, Ташкент, 1999. -С.71.

3. Усманов Б.С., Нурмухамедов Х.С. Сушка гранул хлопкового шрота // Тез. докл. науч.- прак. конф. ФерПИ посвященная VIII годовщине независимости Республики Узбекистан. Фергана, 1999. -С.135-136.

4. Усманов Б.С., Нурмухамедов Х.С., Касымходжаев Б.К. Скоростной метод грануляции хлопкового шрота // Тез. докл. Респ. науч.- прак. конф. "Нетрадиционные методы техники и технологии", Фергана, 1999. -С.77-78.

5. Усманов Б.С., Гилязова И.К., Касымходжаев Б.К., Шафрина А.А. К вопросу сушки гранулированного хлопкового шрота // Тез. докл. науч.-техн. конф. ТашХТИ, Ташкент, 2000. -С.50.

6. Усмонов Б.С., Касымходжаев Б.К., Туйчиев И.С., Абдуллаев А.Ш. Теплоотдача при сушке гранулированного шрота в струйно-псевдооживленном слое // Тез. докл. науч.-техн. конф. ТашХТИ, Ташкент, 2000. -С.72.

7. Усманов Б.С., Касымходжаев Б.К., Абдуллаев А.Ш. Тезкор грануллашнинг кунжара гранулометрик таркибига таъсири // ТошКТИ профессор-уқитувчилари, аспирантлари ва илмий ходимларининг илмий-назарий ва техникавий анжумани, Тошкент, ТошКТИ, 2001. -96 б.

8. Нурмухамедов Х.С., Усманов Б.С. Повышение эффективности переработки хлопковых шротов // Тез. докл. науч. - прак. конф. ФерПИ, Фергана, 2000. -С.106.

9. Нурмухамедов С.Х., Усманов Б.С., Касымходжаев Б.К. Обобщение опытных данных по интенсивности теплообмена при сушке в условиях струйного псевдооживления // Тез. докл. науч-техн. конф. ТашХТИ, Ташкент, 2001. -С.52.

10. Усманов Б.С., Нурмухамедов С.Х., Касымходжаев Б.К. Экологические решения рассыпного хлопкового шрота путем гранулирования // Тез. докл. Респ. науч.- прак. конф. "Нетрадиционные методы техники и технологии", Фергана, 2001. -С.54-55.

11. Усманов Б.С., Нурмухамедов С.Х., Касымходжаев Б.К. Интенсивность теплоотдачи при сушки гранул шрота // Тез. докл. Респ. науч.- прак. конф. "Нетрадиционные методы техники и технологии", Фергана, 2001. -С.56-57.

12. Усманов Б.С., Нурмухамедов Х.С., Туйчиев И.С. Сушка гранул шрота в условиях струйного псевдооживления // Сборник трудов науч-техн. конф. «Передовые технологии в пищевой промышленности» ТашХТИ, Ташкент, 2002. -С.105-107.

13. Усманов Б.С., Нурмухамедов Х.С., Маннанов У.В. Методика проведения опытов и обработки данных по гидродинамике струйно-псевдооживленного слоя гранул шрота // Тез. докл. Респ. науч.- прак. конф. молодых ученых "Современные проблемы техники и технологии", Фергана, 2002. -С.38.

14. Усманов Б.С., Нурмухамедов Х.С., Маннанов У.В. Методика проведения опытов и обработки данных по грануляции шротов // Тез. докл. Респ. науч.- прак. конф. молодых ученых "Современные проблемы техники и технологии", Фергана, 2002. -С.39.

15. Маннанов У.В., Усманов Б.С., Нурмухамедов Х.С. Особенности теплоотдачи при сушке гранул шрота в циркуляционном псевдооживленном слое // Сборник трудов науч-техн. конф. «ТХТИ – 2002», Ташкент, - С.132-135.

16. Усманов Б.С., Маннанов У.В., Гулямова Н.У. Новая технология компактирования шротов // Сборник трудов науч-техн. конф. «ТХТИ – 2002», Ташкент, 2002. -С.203-206.

ОБОЗНАЧЕНИЯ

ρ – плотность, кг/м³; d – диаметр, м; U – влажность, %; w – скорость, м/с; $Ar = gd^3/v^2 \cdot (\rho_T - \rho / \rho)$ – критерий Архимеда; $Re = w\rho d / \mu$ – критерий Рейнольдса; t – температура, °С; p – удельная массовая нагрузка, кг/м²; $U_o = U/100\%$ – относительная влажность; $p_o = p/100$ – относительная удельная массовая нагрузка; $Pr = \nu/a$ – критерий Прандтля; $Nu = \alpha l / \lambda$ – критерий Нуссельта; t/d – шаг расположения стержней; R – гранулометрический состав, %; $K_w = w/w_{nc}$ – число псевдооживления.

ИНДЕКСЫ:

нас – насыпной; э – эквивалентный; р – равновесный; ун – унос;
пс – псевдооживление; оп – общий поток; ст – струя.

Б.С. Усмановнинг “Тезкор грануллаш усулида олинган кунжара гранулаларини ³уритиш жараёнида исси³лик алмашилишни жадаллаштириш” мавзусидаги 05.18.12 – “Ози³-ов³ат саноатининг жараёнлари, машина ва агрегатлари” ихтисослиги б³йича техника фанлари номзоди илмий даражасини олиш учун диссертация ишининг ³ис³ача мазмуни

Маълумки, республикамиз пахта ва пахта чигити етиштирувчи мамлакатлардан бири ҳисобланади. Пахта чигитини ³айта ишлаш натижасида 47% гача кунжара олинади. Олинган кунжара намлиги ва гранулометрик таркиби б³йича конденсирланмаган ҳолда бўлади. Шунинг учун кунжарани грануллаш ва ³уритиш талаб этилади. ³уритиш эса энергия талаб ³илинадиган жараёнлардан бири ҳисобланади. Шунинг учун ³уритиш техникасида энергия ресурсларини и³тисодий жиҳатдан тежаш доимо долзарб муаммолардан бири ҳисобланади.

Нам гранулаларни ³уритиш б³йича тажрибалар режим параметрлари ³уйидаги ўзгариш оралигида ўтказилган: материал намлиги $U=26,7\div 35,2\%$, $t_{a0} = 60^{\circ}\text{C}$, $t_0 = 80\div 160^{\circ}\text{C}$, $\rho=24\div 130 \text{ кг/м}^2$ ва геометрик ўлчамлари $d_3 = 2\div 6\text{мм}$.

Мавҷум ³айнаш сони $K_w \leq 1,8$ да, ҳамда исси³ ҳавонинг асосий о³ими ва о³имчаси орасидаги температуралар фарқи $60 \div 80^{\circ}\text{C}$ да нам гранулаларни энергетик самарадор ³уритиш усули ишлаб чиқилди. Мавҷум ³айнаш ³атламининг бошлан²ич ва учиб кетиш тезликлари катталиклари ани³ланди ва уларни ҳисоблаш учун критериял формулалар келтириб чиқарилди. Бу формулалар асосида кунжара гранулаларининг ³атлам оралиқлари ани³ланди. О³имчали мавҷум ³айнаш ³атламида гранулаларни ³уритиш исси³лик алмашилиш жараёнини $10 \div 30\%$ жадаллаштиришга олиб келади.

Ўрнатиш жараёнининг оптимал режим параметрлари ани³ланди: асосий о³им температураси $t_{a0} = 60^{\circ}\text{C}$, о³имча температураси $t_0 = 120 \div 140^{\circ}\text{C}$ ва мавҷум ³айнаш сони $K_w \leq 1,8$.

Исси³лик алмашилишни жадаллаштириш натижалари критериял формула ҳолида умумлаштирилди ва унинг хатолиги $\pm 8,9\%$ ни ташкил этади.

Олиб борилган тад³и³отлар ва олинган натижалар б³йича мавҷум ³айнаш ³атламли ³уритиш ³урилмасининг муҳандислик ҳисоблаш усули ишлаб чиқилди.

Сифатли ва гранулометрик таркиби яхшиланган, бойитилган грануланган кунжара олиш учун чиқиндисиз ва энергия тежамкор технология ишлаб чиқилди.

Олинган натижаларни саноатда ³ўлганилишидан кутилаётган и³тисодий самара йилига 48,05 млн. сўмни ташкил этади. Бундан ташқари, диссертациянинг асосий илмий натижалари «Ози³-ов³ат саноатининг асосий жараёнлари ва ³урилмалари» фанидан дарс беришда ҳам фойдаланилади.

SUMMARY

of the scientific theme "Intensification of heat exchange at the granule short's dry, received by the high-speed granulating" represented by B.S. Usmanov for scientific degree candidate of technical sciences on specialization 05.18.12 - "Processes, machines and aggregates of food industry"

It is well-known, that our country is the basic manufacturer of a cotton, and accordingly cotton seeds. At processing cotton seeds receive up to 47 % shrot. It does not conditioned of grain by humidity and granularity. Therefore, shrot follows granulation and to dry. It is known, that dry is one of the most power-intensive processes. That's why, the economy of power resources always is a urgent problem in the field of engineering dry.

The experiences on dry of damp granules are carried out in the following diapason of change of regime parameters: $U = 26,7 \div 35,2\%$, $t_{g.f.} = 60^{\circ}\text{C}$, $t_{jet} = 80 \div 160^{\circ}\text{C}$, $p = 24 \div 130 \text{ kg/m}^2$ and $d_{eq} = 2 \div 6 \text{ mm}$.

The way dry damp granule in energetically effective area is offered at $K_w \leq 1,8$ and difference of temperatures between a general flow and jet $60 \div 80^{\circ}\text{C}$. Has been determined value of speed of fluidization` beginning and ablation, so criterial formulas for their account have been deduced too. On the basis of these formulas have been determined the limits of existence of layer's statuses. Granule's drying in stream - fluidization layer allows intensification process of heat exchange on $10 \div 30 \%$.

It's been determined the optimum regime parameters of this process: temperature of a general flow is $t_{g.f.} = 60^{\circ}\text{C}$, of the jet is $t_{jet} = 120 \div 140^{\circ}\text{C}$, and the number of a fluidization is $K_w \leq 1,8$.

The research results on Nu -criterion are generalized as criterial formula, which error does not exceed $\pm 8,9 \%$.

On the basis of the spent researches and received results the engineering technique of account of stream - fluidization of a layer drying devices is developed.

Is offered without wastes and energy-effective technology of reception enriched, quality and granularity improved granules.

It will make 48,05 mill. sum per one year on the expected economic efficiency from introduction of results of work in complete volume. Besides, the basic scientific results of the dissertation are used at reading a rate "Processes and machines of food industry".

Сдано в набор 4.01.2003 г. Подписано в печать 08.01.2003 г.
Объем 1,0 п.л. Формат 60 x 84 ¹/₁₆. Заказ № 34. Тираж 100.

ТИПОГРАФИЯ
Ферганского политехнического института