

ВЛИЯНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКОВ И СВОЙСТВ
ИНЕРТНОЙ СРЕДЫ НА КАЧЕСТВО ПРОДУКТА ПРИ ГРАНУЛИРОВАНИИ
СПОСОБОМ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ

М.С. Скиданенко, А.Н. Демченко, В.И. Склабинский, А.Е. Артюхов

Сумский государственный университет, Сумы, Украина

В данной статье рассмотрены методы повышения качества гранулированного продукта за счёт усовершенствования гидродинамики движения диспергируемой среды в объёме гранулятора и при истечении из его перфорированной корзины. Рассмотрены вопросы, связанные с оптимальным подбором инертной среды для кристаллизации и охлаждения гранул. Оценка влияния гидродинамических характеристик движения жидкости и свойств инертной среды на качество гранул проведена на основе результатов компьютерного моделирования и экспериментальных исследований.

Широкое распространение в крупнотоннажных установках для производства гранулированного продукта получил способ диспергирования раствора (расплава) в восходящий поток воздуха или инертную среду [1]. Его применение обусловлено большой производительностью и широким ассортиментом выпускаемой продукции. Устройства для получения монодисперсных капель (грануляторы) разнообразны по конструкции, выбор вида охладителя определяется свойствами диспергируемой среды; при этом основным требованием к полученному продукту является высокая степень его монодисперсности и правильная форма. Отклонение от заданного размера товарной фракции и нарушение сферической формы приводит к снижению потребительских качеств гранул (для аграрного сектора – чрезмерное раскисление почвы удобрением или быстрое его растворение, для горнодобывающей промышленности – уменьшение удерживающей способности гранул по дизельному топливу или маслу, их разрушение при транспортировке к месту взрывных работ и т.п.).

На процесс образования капли и её кристаллизацию значительное влияние оказывают условия формирования струи диспергируемой среды (характер истечения из отверстия гранулятора и дробление), а также свойства инертной среды.

Равномерность истечения струи жидкости определяется характером распределения скорости её движения в рабочей полости гранулятора и перед отверстием истечения. Для исследования гидродинамики внутреннего пространства гранулятора и определения характерных зон движения жидкости проведено компьютерное моделирование с использованием программной системы конечно-элементного (МКЭ) анализа ANSYS CFX (<http://www.ansys.ru>) по созданной модели с расчётной сеткой для вычисления (рисунок 1) [2].

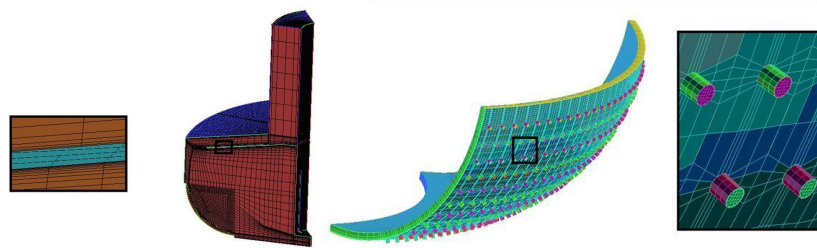
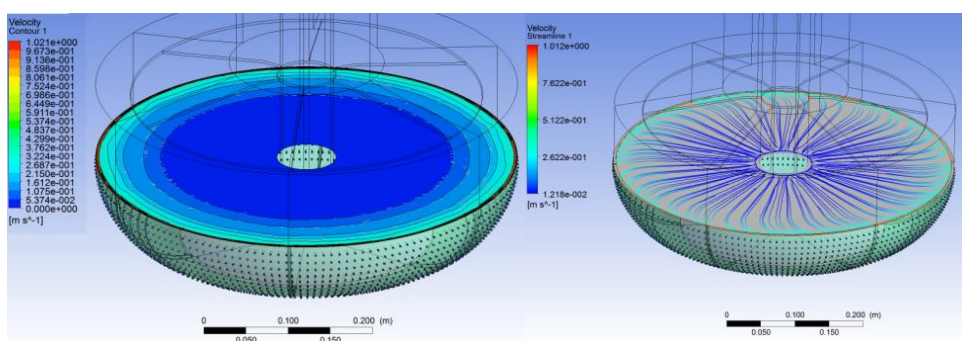
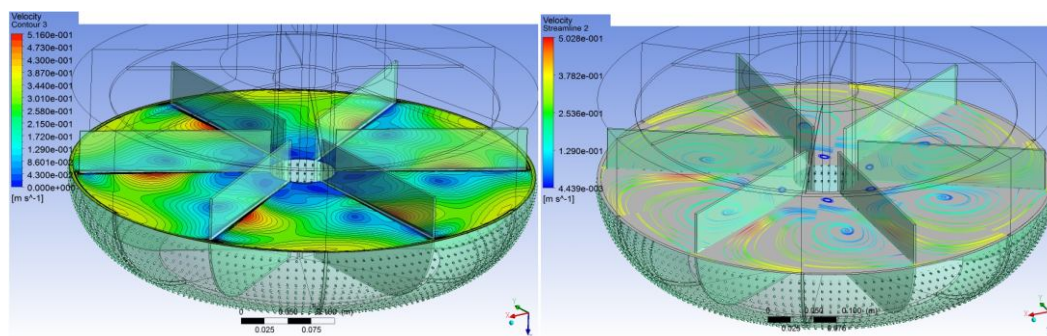


Рисунок 1 – Модель гранулятора и расчетная сетка для компьютерного моделирования

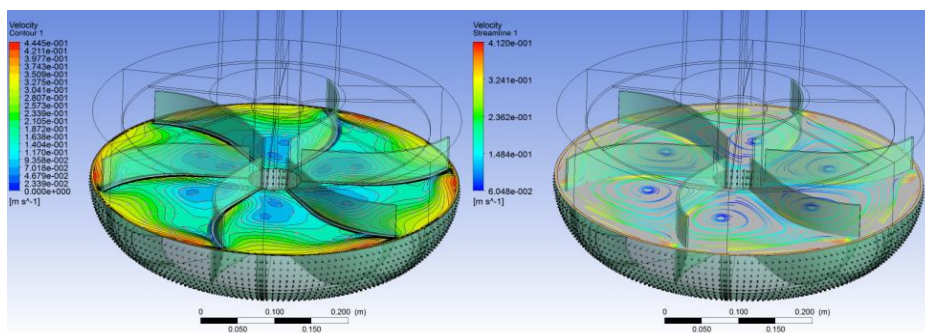
Результаты компьютерного моделирования гидродинамики движения жидкости во внутреннем пространстве гранулятора при различных его конструктивных исполнениях приведены на рисунках 2-7.



а

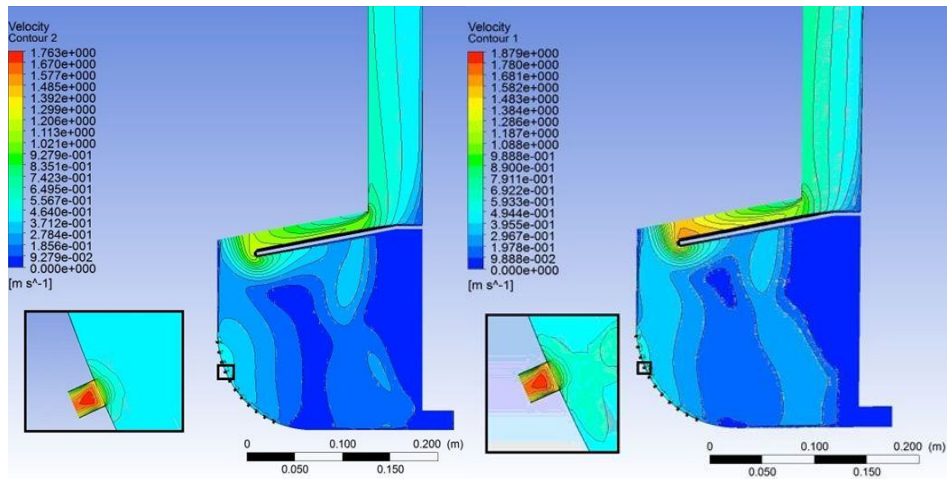


б



в

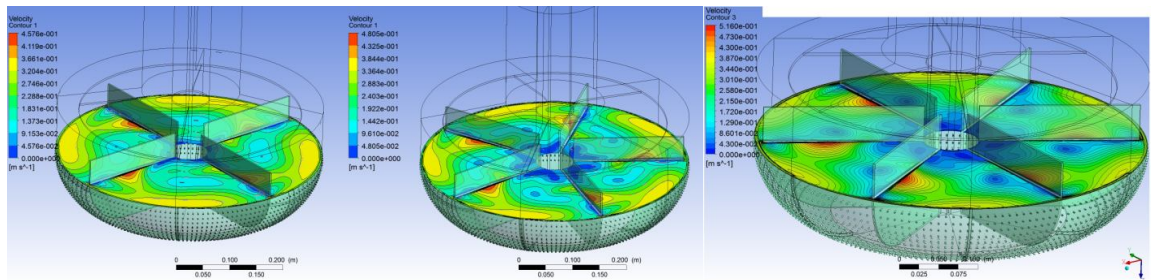
Рисунок 2 – Линии тока жидкости и поля её скоростей для вращающегося гранулятора: а – без лопаток; б – с 6-ю прямыми лопатками при скорости вращения 50 об/мин; в – с 6-ю округлыми лопатками при скорости вращения 50 об/мин



а

б

Рисунок 3 – Поля скоростей вращающегося гранулятора с 6 прямыми лопатками (а) и 7 прямыми лопатками (б) при скорости вращения гранулятора 50 об/мин



а

б

в

Рисунок 4 – Поля скоростей вращающегося гранулятора с 4 прямыми лопатками (а), 5 прямыми лопатками (б), 6 прямыми лопатками (в) при скорости вращения гранулятора 50 об/мин

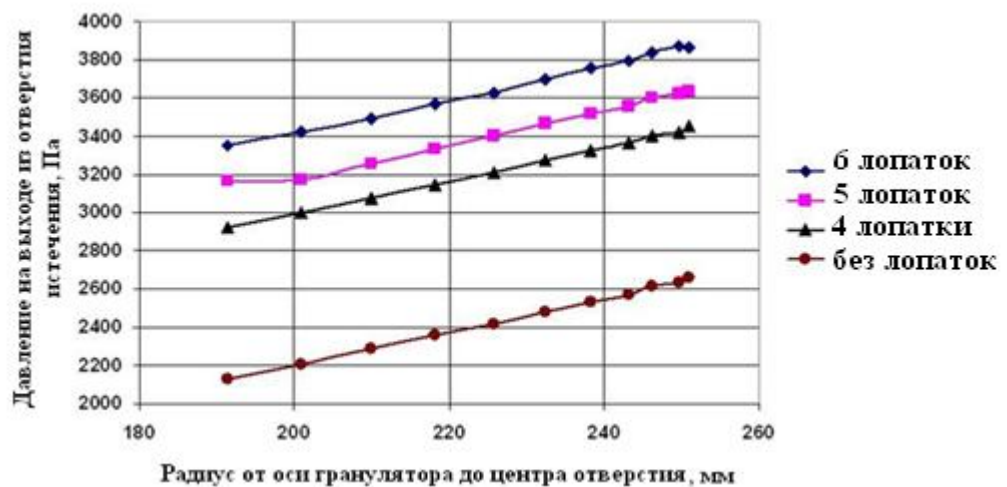


Рисунок 5 – Зависимость давления на выходе из отверстий гранулятора от радиуса расположения отверстия (прямые лопатки) при скорости вращения 50 об/мин

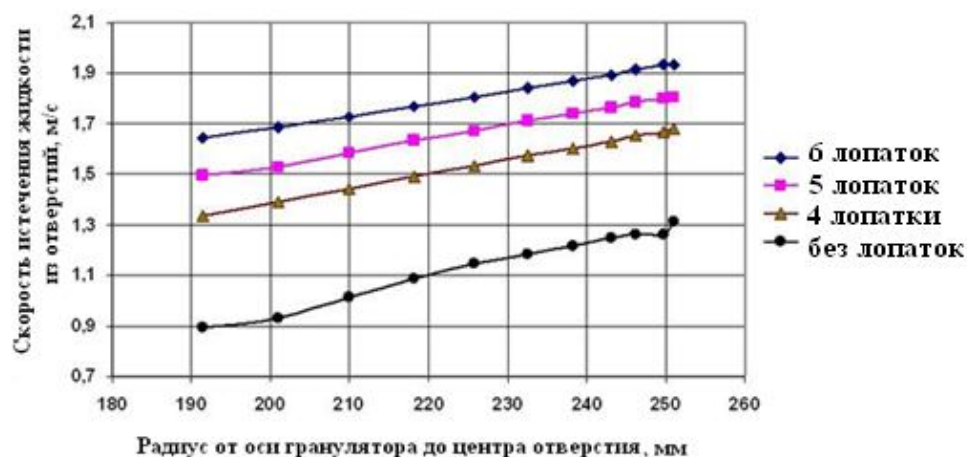


Рисунок 6 – Зависимость скорости истечения жидкости из отверстий гранулятора от радиуса расположения отверстия (прямые лопатки) при разном количестве лопаток и скорости вращения 50 об/мин

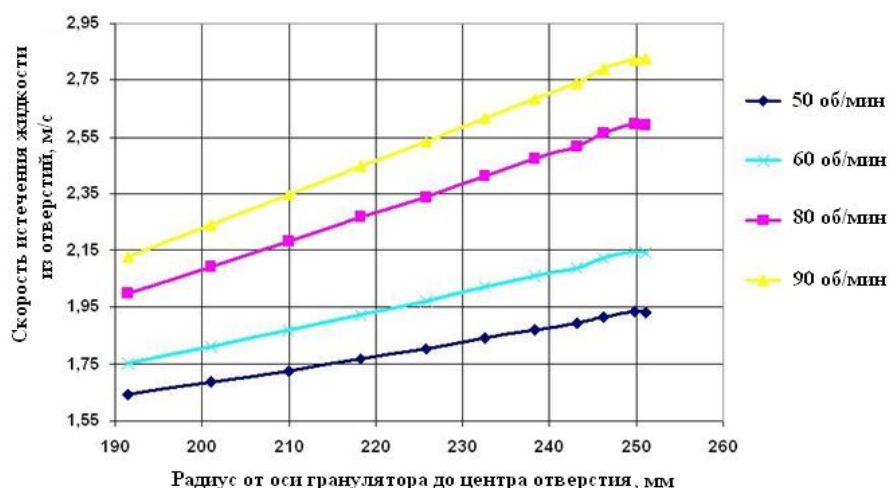


Рисунок 7 – Зависимость скорости истечения жидкости из отверстий гранулятора с 6 прямыми лопатками от радиуса расположения отверстия при разной скорости вращения

В результате проведения компьютерного моделирования получено оптимальное количество лопаток и их конфигурация, установлена зависимость скорости истечения жидкости из отверстий от количества напорных лопаток.

Усовершенствованная конструкция устройства позволяет улучшить режим его работы за счет:

- образования дополнительного напора жидкости перед отверстиями истечения, работа в более широком диапазоне нагрузок по жидкости и функционирования устройства без колебаний напора;
- уменьшения вероятности забивки и изменения геометрических размеров отверстий истечения благодаря созданию дополнительного давления перед ними;
- уменьшения потерь готовой продукции в виде пыли, сокращение выбросов в атмосферу.

Исследование зависимости качества гранул от концентрации раствора агар-агара и типа инертной среды проведено экспериментальным путём на опытной установке, принципиальная схема которой приведена на рисунке 8 [3].

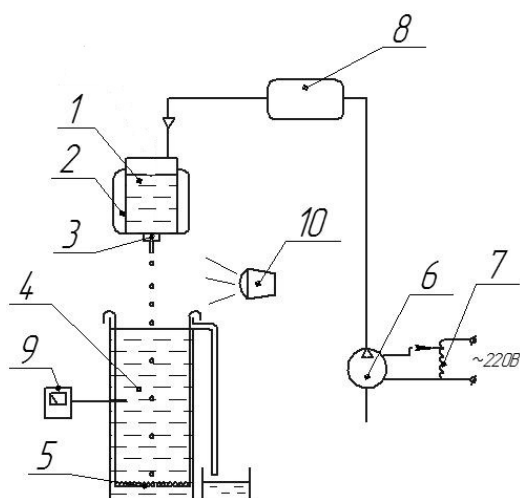


Рисунок 8 – Принципиальная схема экспериментального стенда: 1 – диспергатор; 2 – система нагрева; 3 – сменный насадок; 4 – сборник микрогранул; 5 – перфорированная перегородка; 6 – компрессор; 7 – электротрансформатор; 8 – система избыточного давления; 9 – цифровой мультиметр; 10 – стробоскоп

Результаты экспериментальных исследований приведены на рисунках 9-12.

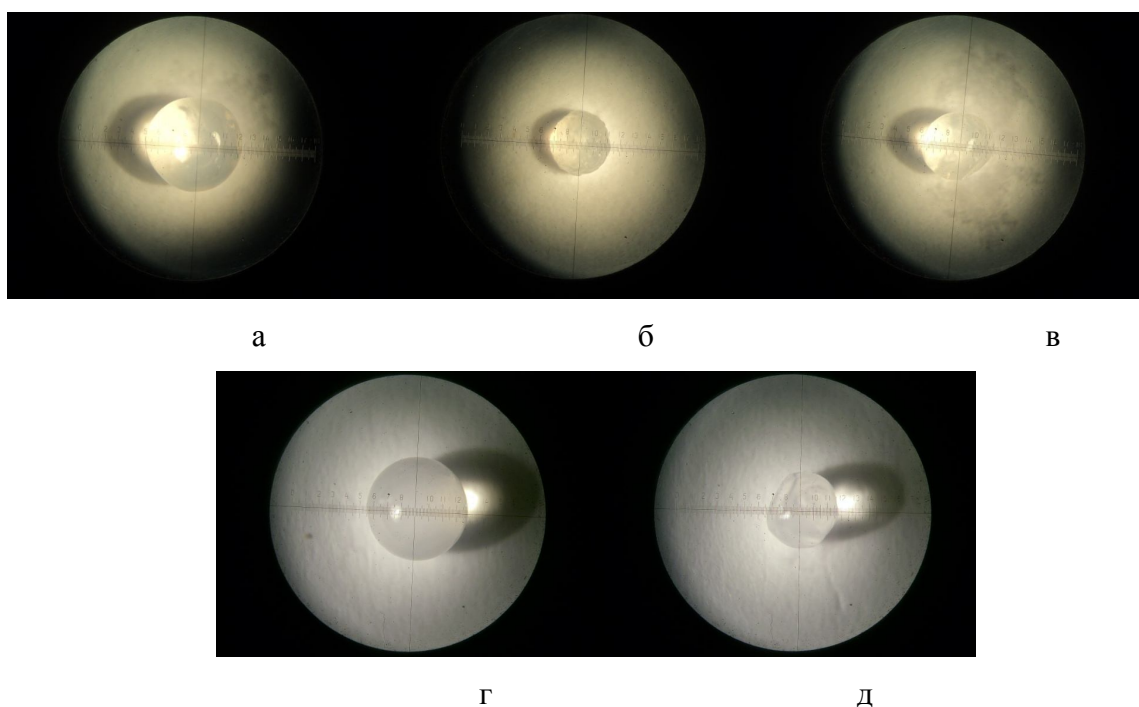


Рисунок 9 - Влияние концентрации водного раствора агар-агара на качество гранул (инертная среда - вазелиновое масло): а) концентрация водного раствора агар-агара 50:1; б – 60:1; в – 70:1; г – 80:1; д – 90:1

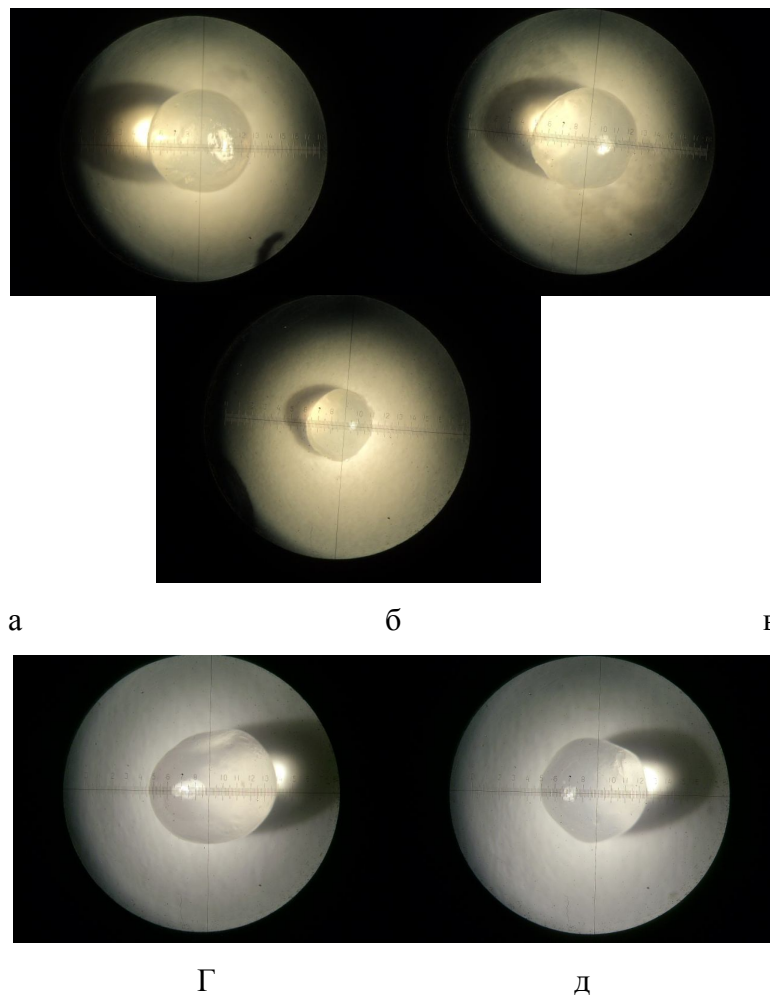


Рисунок 10 - Влияние концентрации водного раствора агар-агара на качество гранул (инертная среда - трансформаторное масло): а – концентрация водного раствора агар-агара 50:1; б – 60:1; в – 70:1; г – 80:1; д – 90:1

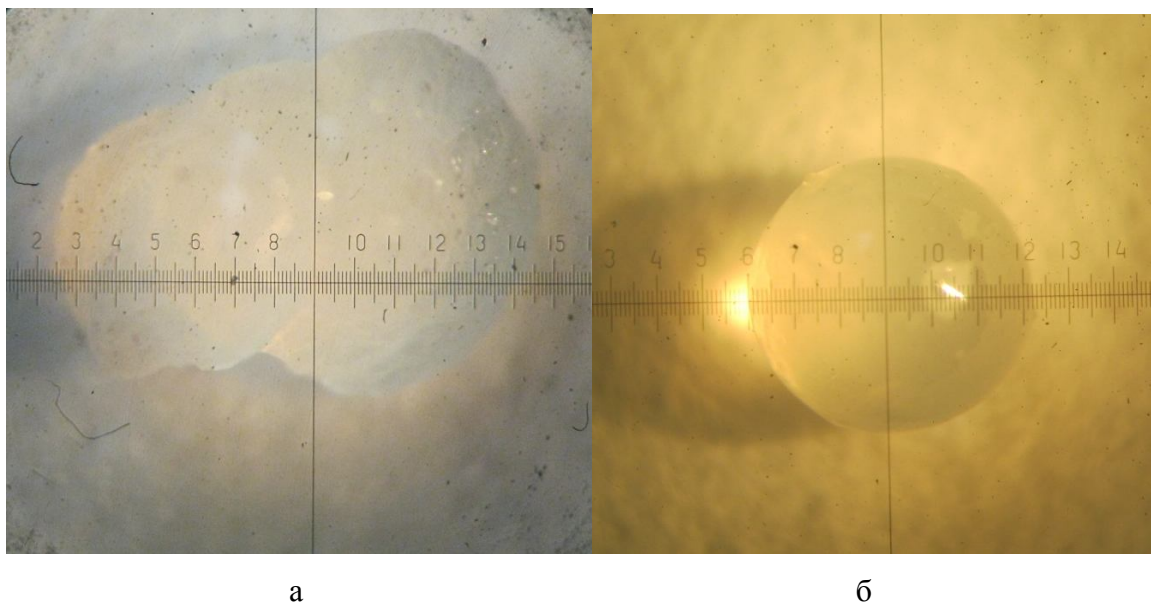
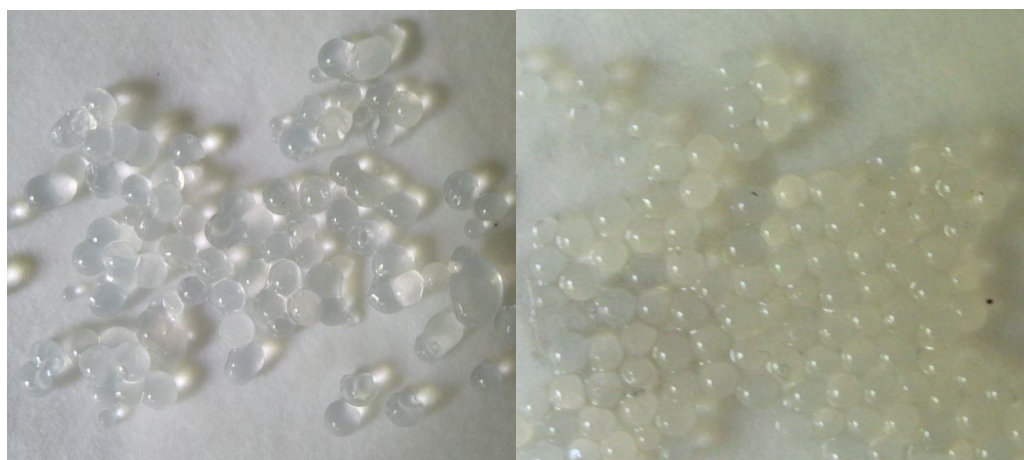


Рисунок 11 – Влияние температуры водного раствора агар-агара на качество гранулы (t – температура раствора, $t_{кр}$ – температура кристаллизации раствора): а – $t = t_{кр}$; б – $t > t_{кр}$

При концентрации раствора 90:1 и охлаждении в вазелиновом масле, а также 100:1 и меньше и охлаждении в трансформаторном масле наблюдается получение подавляющего большинства гранул с неравномерной поверхностью.



а

б



в

Рисунок 12 – Сравнительный вид гранул в зависимости от типа инертной среды для охлаждения и кристаллизации: а – бензин; б – бензин + трансформаторное масло; в – вазелиновое масло

Анализ результатов экспериментальных исследований позволяет определить физико-химические свойства сред, влияющие на процесс охлаждения гранул, монодисперсность и геометрические параметры полученного продукта:

- при диспергировании раствора в чрезмерно охлажденную инертную среду подавляющее большинство гранул кристаллизуется, не успев принять сферическую форму. При повышении температуры инертной среды до определенного критического значения происходит изменение наблюдаемой картины - гранулы успевают принять сферическую форму до кристаллизации;

- в зависимости от концентрации раствора существует критическая температура инертной среды, при которой происходит переход от сферической формы гранул к неправильной;

- при формировании капли в газовой среде и ее кристаллизации в инертной среде нужно учитывать плотности и поверхностное натяжение диспергируемого вещества. Чем меньше разница плотностей между диспергируемой жидкостью и инертной средой, тем меньше необходима высота зоны кристаллизации, потому что движение капли замедляется, а время кристаллизации увеличивается;

- необходимо также учитывать поверхностное натяжение жидкости, в которой происходит кристаллизация. Так, если суммарная сила, действующая на каплю, меньше силы поверхностного натяжения, то капля остается на поверхности раздела фаз. При дальнейшем диспергировании капли объединяются в одну большую гранулу и осаждаются в сборнике;

- комбинирование инертных сред: нижний слой - вещество с большей плотностью (трансформаторное масло), верхний слой - меньшей плотностью (бензин), позволяет уменьшить высоту инертной среды, при этом сохраняется сферичность гранулы.

На основе компьютерного моделирования и экспериментальных исследований и были определены оптимальные конструктивные параметры аппаратов для получения монодисперсного гранулированного продукта из различных веществ с учетом физико-химических свойств диспергируемой жидкости и инертных сред.

Литература

1. Артюхов А.Е. Исследование условий истечения струи и формирования монодисперсных микрокапель в потоке охлаждающей среды / А.Е. Артюхов, М.С. Скиданенко // II Международная Казахстанско-Российская конференция по химии и химической технологии, посвященной 40-летию КарГУ имени академика Е.А. Букетова. Материалы. – Том I. – Караганда, Казахстан. – 2012. – С. 43-47.

2. Скиданенко М.С. Исследование гидродинамики устройств для создания монодисперсных микрокапель / М.С. Скиданенко, В.И. Склабинский, А.Е. Артюхов, С.О. Луговая // Компьютерное моделирование в химии, технологиях и системах устойчивого развития: Сборник научных статей Третьей международной научно-практической конференции. – Киев – Рубежное, НТУУ «КПИ». – 2012. – С. 85-87.

3. Склабинский В.И.. Экспериментальное исследование влияния температуры и концентрации раствора на качество монодисперсных гранул / В.И. Склабинский, М.С. Скиданенко, А.Е. Артюхов // Научные труды Одесской национальной академии пищевых технологий. – Одесса. – 2012. – Выпуск 41. –Т.1. – С. 125-128.