

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Северо-Осетинский государственный университет
имени Коста Левановича Хетагурова»**

А.В. Хмелевская, Б.М. Маркарян, И.К. Сатцаева

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ № 1-5

Учебно-методическое пособие

**Владикавказ
2023**

УДК 663.62

Хмелевская А.В., Маркарян Б.М., Сатцаева И.К. Процессы и аппараты пищевых производств. Лабораторные работы № 1-5.: Учеб.-метод. пособие. – Владикавказ: 2023. - 62с.

Приведены схемы экспериментальных установок с их подробным описанием, методики проведения экспериментальных исследований и порядок обработки полученных результатов, даны контрольные вопросы. Учебно-методическое пособие предназначено для самостоятельной работы студентов направления бакалавриата 19.03.02; 19.03.03.

Рецензент: доктор с.-х. наук, профессор кафедры технологии продуктов общественного питания ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ)» Р.Б. Темираев

Рекомендовано к печати учебно-методическим советом факультета химии, биологии и биотехнологии СОГУ

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум написан в соответствии с программами курсов кафедры технологии продуктов питания и охватывает основные процессы и аппараты пищевой промышленности. Предназначен для подготовки дипломированных специалистов направлений 19.03.02; 19.03.03.

Практикум поможет студентам в углубленном изучении теоретической базы процессов и аппаратов, овладении методами экспериментальных исследований, приобретении необходимых навыков обработки результатов экспериментов и их анализа, усвоении техники расчетов.

Конкретное наименование работ для студентов предусмотрено соответствующими рабочими программами читаемых на кафедре курсов.

В каждой работе изложена теоретическая часть, сущность процесса; цель работы; схема лабораторной установки и методика выполнения эксперимента; приведены таблица опытных данных и методика их обработки, таблица результатов расчета, контрольные вопросы для самостоятельной подготовки.

Студенты должны самостоятельно выполнить эксперимент на лабораторном стенде, обработать экспериментальные данные, проанализировать результаты и оформить отчет.

В отчет входят цель работы, схема установки со спецификацией, таблица измеряемых и рассчитываемых величин, необходимые расчеты и графики, выводы о результатах, соответствующие целям работы.

Структура пособия отвечает требованиям, предъявляемым к методике изложения учебного материала, обеспечивает условия для самостоятельной, творческой работы студентов.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

До проведения лабораторных работ на установках студенты обязательно должны пройти инструктаж по технике безопасности согласно инструкции, которая включает в себя следующие основные положения:

Общего назначения

Все работы на установках должны проводиться только в присутствии и участии преподавателя или ответственного лица, прошедшего полный инструктаж по соблюдению правил техники безопасности.

Место, где размещена установка, запрещается загромождать посторонними предметами.

Перед включением установки произвести тщательный осмотр оборудования и приборов для определения их пригодности к работе. Электрические шнуры, вилки, розетки и выключатели не должны иметь видимых повреждений. Включать установку при наличии неисправностей запрещается.

Во время выполнения задания, студент не должен заниматься посторонними делами, не относящимися к выполнению данной работы.

Запрещается оставлять без наблюдения действующую установку.

Запрещается работать в лаборатории одному. Обязательно присутствие второго лица для оказания первой помощи в случае необходимости.

Студентам запрещается самостоятельно устранять неисправности лабораторных установок

По электрической части

Ввиду наличия на установке высокого напряжения 220 В для питания электродвигателей, ТЭНов и контрольно-измерительных приборов запрещается:

- a) Проникать за защитные ограждения присоединительных клемм;
- b) Открывать распределительный щит и защитные кожухи установок;
- c) Включать и отключать установку без разрешения преподавателя;
- d) Во избежание возможного поражения электрическим током, запрещается касаться при включенной установке:
 - одновременно к проводам измерительного прибора и к трубопроводу отопления, водопровода или замыкающему контуру;
 - одновременно к корпусу измерительного прибора и к трубопроводу отопления, водопровода или замыкающему контуру.
- i) Установка должна быть немедленно отключена, если обнаружено повреждение заземления, защитного ограждения и при внезапном прекращении подачи энергии.

При появлении дыма из электронагревателя или пускорегулирующей аппаратуры, поломки оборудования его перегрева сверх допустимой температуры и при других аварийных ситуациях, немедленно сообщить преподавателю, для последующего отключения от электросети.

При поражении электрическим током необходимо немедленно вызвать врача, а до его прибытия при необходимости оказать пострадавшему первую помощь.

По окончании работы, установка должна быть отключена в строгом соответствии с указаниями, приведенными в данном методическом указании.

Перед уходом студенты обязаны привести в порядок свое рабочее место и поставить в известность преподавателя об окончании работы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Изучение процесса адсорбции

Введение

Адсорбцией называют процесс поглощения вещества из смеси газов, паров или растворов поверхностью, или объемом пор твердого тела – адсорбента.

Явление адсорбции известно очень давно. Такие природные материалы, как песок и почва, использовали для очистки воды еще на заре человеческого общества. В конце XVIII века К. Шееле и одновременно Фонтана обнаружили способность свежепрокаленного древесного угля поглощать различные газы в объемах, в несколько раз превышающих его собственный объем. Вскоре выяснилось, что величина поглощенного объема зависит от типа угля и природы газа. Т.Е. Ловиц в 1785 году открыл явление адсорбции углем в жидкой среде, подробно исследовал его и предложил использовать уголь для очистки фармацевтических препаратов, спирта, вина, органических соединений. Т.Е. Ловиц показал, что древесный уголь способен быстро очищать испорченную воду и делать ее пригодной для питья. И сейчас основным действующим началом фильтров для воды служат углеродные материалы, конечно более современные, чем природные угли. Адсорбция отравляющих веществ из воздуха была использована Н.Д. Зелинским при создании противогаза во время первой мировой войны.

Адсорбция газов на твердых поверхностях используется в некоторых отраслях пищевой промышленности, а именно масложировой (например, в производстве маргарина) и в бродильной (например, в производстве дрожжей) для очистки технологических газовых потоков с целью предотвращения выбросов вредных веществ в атмосферу. Поглощение паров воды происходит на пористых веществах, которые выполняют роль твердого адсорбента. Подобные процессы наблюдаются в отношении сахара, соли и сухарей. Адсорбционный способ регулирования газового состава хранилищ скоропортящихся продуктов позволяет в несколько раз сократить потери и

увеличить сроки хранения. Адсорбция различных пищевых кислот, лимонной в частности, снижает по сравнению с водой поверхностное натяжение большинства прохладительных напитков. Адсорбция веществ на поверхности раздела жидкость – газ способствует устойчивости пен. Подобный процесс имеет место в бродильной промышленности при производстве дрожжей и некоторых других полупродуктов. Усиление смачивания водой различных поверхностей широко используется в промышленности в качестве сопутствующего процесса при мойке оборудования, подготовке сырья, обработке полуфабрикатов и т.д. Адсорбция на границе твердое тело – жидкость широко применяется при очистке жидкостей (например, диффузионного сока при производстве сахара, растительных масел и соков) от примесей.

Развитие теории адсорбционных сил еще не достигло такой стадии, когда по известным физико-химическим свойствам газа и твердого тела можно было бы рассчитать изотерму адсорбции, не проводя экспериментальных исследований. Поэтому, попыткам описать экспериментальные изотермы с помощью различных теоретических уравнений, которым соответствуют определенные модели адсорбции, посвящено множество работ.

Адсорбцией называется самопроизвольно протекающий диффузионный процесс взаимодействия двух фаз – твердого тела – адсорбента и газа, пара или растворенного вещества – адсорбтива, происходящий поглощением газа, пара или растворенного вещества поверхностью твердого тела.

Поглощение газов, паров и растворенных веществ твердыми телами обычно сопровождается процессами проникновения поглощаемого вещества в твердое тело (адсорбцией), капиллярной конденсацией и химическими реакциями (хемосорбцией), что весьма затрудняет изучение собственно адсорбции. Поэтому поглощение газов, паров и растворенных веществ твердыми телами обычно рассматривается как общий процесс сорбции.

Адсорбция всегда сопровождается выделением тепла. В большинстве случаев тепловой эффект адсорбции по своей величине приближается к теплоте конденсации поглощаемого газа или пара.

Адсорбцию подразделяют на два вида: физическую и химическую. Физическая адсорбция в основном обусловлена поверхностными вандерваальсовыми силами, которые проявляются на расстояниях, значительно превышающих размеры адсорбируемых молекул, поэтому на поверхности адсорбента обычно удерживаются несколько слоев молекул адсорбата.

При химической адсорбции поглощаемое вещество вступает в химическое взаимодействие с адсорбентом с образованием на его поверхности обычных химических соединений.

Силы притяжения возникают на поверхности адсорбента благодаря тому, что силовое поле поверхностных атомов и молекул не уравновешено силами взаимодействия соседних частиц. По физической природе силы взаимодействия молекул поглощаемого вещества и адсорбента относятся в основном к дисперсионным, возникающим благодаря перемещению электронов в сближающихся молекулах. В ряде случаев при адсорбции большое значение имеют электростатические и индукционные силы, а также водородные связи. Поэтому адсорбция является самопроизвольным процессом, течение которого сопровождается уменьшением свободной энергии и энтропии системы.

Процессы адсорбции избирательны и обратимы. Процесс, обратный адсорбции, называют десорбцией, которую используют для выделения поглощенных веществ и регенерации адсорбента.

Наиболее рационально применять адсорбцию для обработки смесей с низкой концентрацией извлекаемых веществ.

Основной характеристикой адсорбента является его активность, определяемая весовым количеством вещества, поглощенного единицей объема или веса поглотителя. Различают активность статическую и динамическую.

Статическая активность адсорбента характеризуется максимальным количеством вещества, адсорбированного к моменту достижения равновесия весовой или объемной единицей адсорбента при данной температуре и концентрации адсорбируемого вещества в газо-воздушной смеси.

Динамическая активность является характеристикой адсорбента при протекании паровоздушной смеси через слой адсорбента до момента проскока адсорбируемого газа.

Если газовая смесь проходит через слой адсорбента, то в начальный период процесса адсорбтив полностью извлекается из газовой смеси. По истечении определенного промежутка времени в газовой смеси, уходящей из поглотителя, начинают появляться заметные, все возрастающие количества адсорбтива (проскок), и к концу процесса концентрация уходящего газа становится равной начальной концентрации паровоздушной смеси.

В адсорберах промышленного типа с активированным углем динамическая активность составляет 85-95% от статической, а в случае применения силикагеля динамическая активность оказывается меньше статической на 60-70%.

Селективные свойства адсорбентов

В процессах адсорбции, так же, как и в процессах абсорбции, поглощающие вещества - адсорбенты обладают селективными свойствами по отношению к поглощаемым газам и парам. Иными словами, применение адсорбционных процессов в качестве метода разделения газовых смесей основано на том, что газовая смесь, приведенная в соприкосновение с адсорбентом, освобождается лишь от одного компонента, в то время как другие оказываются непоглощенными.

Если в процессах абсорбции селективные качества процесса определялись растворимостью или нерастворимостью газа в поглощающей жидкости, то в процессах адсорбции критерием селективных качеств является статическая активность адсорбента.

Из смеси газов, приведенных в соприкосновение с адсорбентом, в первую очередь и в значительно большем количестве поглощается газ или пар того вещества, которое имеет более высокую температуру кипения. В большинстве случаев температура кипения поглощаемого газа (например, паров бензола) сильно отличается от температуры кипения инертного газа (например, воздуха) и присутствие инертного газа почти не оказывает влияния на ход процесса.

Разделение адсорбционным методом смеси газов, компоненты которой имеют близко лежащие температуры кипения, предоставляет большие трудности или практически невозможно.

Основными промышленными адсорбентами являются пористые тела, обладающие большим объемом микропор. Свойства адсорбентов определяются природой материала, из которого они изготовлены, и пористой внутренней структурой.

В промышленных адсорбентах основное количество поглощенного вещества сорбируется на стенках микропор ($r < 10^{-9}$ м). Роль переходных пор ($10^{-9} < r < 10^{-7}$ м) и макропор ($r < 10^{-7}$ м) в основном сводится к транспортированию адсорбируемого вещества к микропорам.

Адсорбенты характеризуются своей поглотительной, или адсорбционной способностью, определяемой максимально возможной концентрацией адсорбтива в единице массы или объема адсорбента, его пористой структуры, природы поглощаемого вещества, его концентрации, температуры, а для газов и паров - от их парциального давления. Максимально возможную при данных условиях поглотительную способность адсорбента условно называют ***равновесной активностью***.

По химическому составу все адсорбенты можно разделить на углеродные и не углеродные. К углеродным адсорбентам относятся активные (активированные угли), углеродные волокнистые материалы, а также некоторые виды твердого топлива. Не углеродные адсорбенты включают в себя силикагели, активный оксид алюминия, алюмагели, цеолиты и глинистые породы.

Активные угли, состоящие из множества беспорядочно расположенных микрокристаллов графита, обычно используют для поглощения органических веществ в процессах очистки и разделения жидкостей и газов (паров). После этого уголь активируют, например, прокаливают его при температуре 850-900°C, что приводит к освобождению пор от смолистых веществ и образованию новых микропор. Активацию проводят также экстрагированием смол из пор органическими растворителями, окислением кислородом воздуха и др. Более однородная структура углей получается при их активации химическими методами: путем их обработки горячими растворами солей (сульфатами, нитратами и др.) или минеральными кислотами (серной, азотной и др.)

Активированный уголь применяется при адсорбции либо в виде зерен величиной от 1 до 7 мм, либо в виде порошка. Зерна и порошок получают путем измельчения и классификации. Удельная активная поверхность активных углей выражается величиной от 600 до 1700м² на один грамм. Применяются активированные угли главным образом для поглощения паров органических жидкостей, находящихся в газовых смесях, и для очистки различных растворов от примесей.

Серьезным недостатком этих углей является горючесть, и применять их можно при температурах не выше 200°C. Для уменьшения горючести к ним подмешивают силикагель, однако такая добавка приводит к понижению активности адсорбента, поэтому активированные угли с добавкой к ним силикагеля практически применяют сравнительно редко.

Силикагелем называют продукт обезвоживания геля кремневой кислоты, получаемого действием серной или соляной кислот, или растворов кислых солей на раствор силиката натрия. Выпавший гель кремневой кислоты после промывки высушивается при температуре 115-130°C до влажности 5-7%.

Силикагель отличается однородностью пор как по величине, так и распределению. Применяется силикагель в виде зерен диаметром от 0,2 до 7мм главным образом для поглощения паров воды, т.е. для сушки газов.

Удельная активная поверхность силикагеля выражается величиной порядка 600 м^2 на один грамм.

К достоинствам силикагелей относятся их негорючесть и большая механическая прочность. Недостатком относится резкое снижение поглотительной способности по отношению к парам органических веществ в присутствии влаги.

По сорбционным свойствам к силикагелю близко примыкают алюмогели, получаемые термической обработкой гидроксида алюминия при температурах $600\text{-}1000^\circ\text{C}$. Поры полученного сорбента имеют диаметр $1\text{-}3 \text{ нм}$, удельную поверхность $2 \cdot 10^5 - 4 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{кг}$; насыпная плотность такого сорбента $1600 \text{ кг}/\text{м}^3$. Алюмогели используют для осушки газов, очистки водных растворов и минеральных масел.

Цеолиты представляют собой природные или синтетические минералы, которые являются водными алюмосиликатами, содержащими оксиды щелочных щелочноземельных металлов. Эти адсорбенты отличаются регулярной структурой пор, размеры которых соизмеримы с размерами поглощаемых молекул. Особенность цеолитов состоит в том, что адсорбционные поверхности соединены между собой окнами определенного диаметра, через которые могут проникать только молекулы меньшего размера. На этом основано разделение смесей с разными по размеру молекулами, что послужило причиной называть цеолиты молекулярными ситами.

Для разделения газовых смесей применяют цеолиты в виде шариков или гранул размером от 1 до 5 мм , а для разделения жидких смесей – в виде мелкозернистого порошка.

Особенно широко цеолиты используют для глубокой осушки газов и жидкостей, в процессах очистки и разделения смесей веществ с близкой молекулярной массой, а также в качестве катализаторов и их носителей.

Для очистки жидкостей от различных примесей в качестве адсорбентов применяют природные глинистые породы. Эти глины для их активации

обрабатывают серной или хлороводородной кислотами и получают адсорбент с удельной поверхностью пор порядка $(1,0 \div 1,5) \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Работа проводится на установке (рис. 1), которая работает по следующей схеме. Воздух компрессором 1 нагнетается через расходомер 2 с игольчатым вентилем в колбу 3 заполненную водой. С помощью расщепителя 5 воздух равномерно распределяется и барботирует через слой воды, что приводит к увеличению его влагосодержания. Далее влажный воздух поступает в колбу 4 где воздух осушается за счет взаимодействия с адсорбентом (процесс адсорбции). Влагосодержание воздуха измеряется датчиками относительной влажности 6.

Длительность работы слоя адсорбента в стадии параллельного движения фронта сорбции (при $L > L_0$) рассчитывается по уравнению Н.А. Шилова [1]:

$$\tau = K \cdot L - \tau_0, \quad (1)$$

где τ - время защитного действия слоя, с;

K - коэффициент защитного действия, с/м, показывающий время защитного действия слоя высотой 1 м;

L - высота слоя, м;

τ_0 - потеря времени защитного действия, с (кинетическая константа, пропорциональная скорости массообмена, при бесконечно большой скорости становится равной нулю).

При изучении сорбционного процесса обычно замеряют выходную кривую сорбции – изменение концентрации поглощаемого вещества во времени за слоем адсорбента. Затем, пользуясь развернутым уравнением динамики сорбции:

$$\tau = K \cdot L - K \cdot W \cdot (\ln(x_0/x) - 1) / K_v, \quad (2)$$

построить график в координатах $(\ln(x_0/x) - 1) = f(\tau)$.

Отрезок, отсекаемый на оси абсцисс, равен $K \cdot L$, а котангенс угла наклона прямой есть $K \cdot W / K_v$. Здесь в уравнении W - объемная скорость потока, отнесенная к полному сечению аппарата, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$:

$$K = a_0 / (W \cdot x_0), \quad (3)$$

где a_0 - предельная величина сорбции, кг сорбированного вещества на 1 м^3 слоя адсорбента; K_V - коэффициент массопередачи, с^{-1} .

Объемная скорость парогазовой смеси W определяется по уравнению расхода:

$$V = W \cdot S. \quad (4)$$

Определяем влагосодержание воздуха на входе x_0 и на выходе x адсорбционной колонны для каждого момента времени:

$$x = 0,622 \cdot \varphi \cdot P_c / (735 - \varphi P_c), \quad (5)$$

где P_c - давление насыщенного водяного пара в воздухе при температуре сухого термометра t_c , мм рт. ст.

Давление насыщенного водяного пара может быть рассчитано по уравнению, аналогичному уравнению Антуана, которое для водяного пара в диапазоне температур от 0 до 60°C имеет вид:

$$\ln P_c = 18,76 - 4081,18 / (236,77 + t_c) \quad (6)$$

$$P_c = e^{18,76 - 4081,18 / (236,77 + t_c)}$$

Построить по экспериментальным данным выходную кривую сорбции в координатах:

$$x = f(\tau)$$

Рассчитать и построить выходную кривую сорбции в координатах:

$$(\ln(x_0/x) - 1) = f(\tau)$$

Вычислить коэффициент защитного действия по отрезку, отсекаемому прямой на оси абсцисс K , с/м :

$$K = \tau_1 / L. \quad (7)$$

Вычислить предельную величину сорбции по уравнению:

$$a_0 = K \cdot V \cdot x_0' / S, \quad (8)$$

где S - площадь сечения колбы, м^2 ;

V - объемный расход газовой смеси, $\text{м}^3/\text{с}$;

x_0 - влажность газовой смеси, кг воды на 1 м^3 воздуха на входе в слой адсорбента:

$x_o' = x_o p$, p - плотность воздуха при температуре газовой смеси (при t_c), рассчитанная по уравнению Клапейрона:

$$\rho = M \cdot 273 / [22,4 \cdot (273 + t_c)], \quad (9)$$

где M - мольная масса газа, кг/кмоль.

Вычислить коэффициент массопередачи K_v по котангенсу угла наклона прямой: $\text{ctg } \alpha = -K \cdot W / K_v$;

$$K_v = -K \cdot W / \text{ctg } \alpha. \quad (10)$$

Цель работы

Ознакомление с работой адсорбционной установки периодического действия и процессом адсорбции. Определение коэффициентов массопередачи и предельной величины адсорбции при поглощении водяного пара.

Задачи работы

1. Определение равновесной величины адсорбции.
2. Определение константы скорости адсорбции.
3. Определение предельной величины константы адсорбции при поглощении водяного пара.
4. Изучение адсорбционных свойств поверхности твердых тел.
5. Приобретение практических навыков работы с современными технологиями сбора и обработки экспериментальных данных.

Описание экспериментальной установки

Схема лабораторной установки для изучения процесса адсорбции приведена на рис.1.

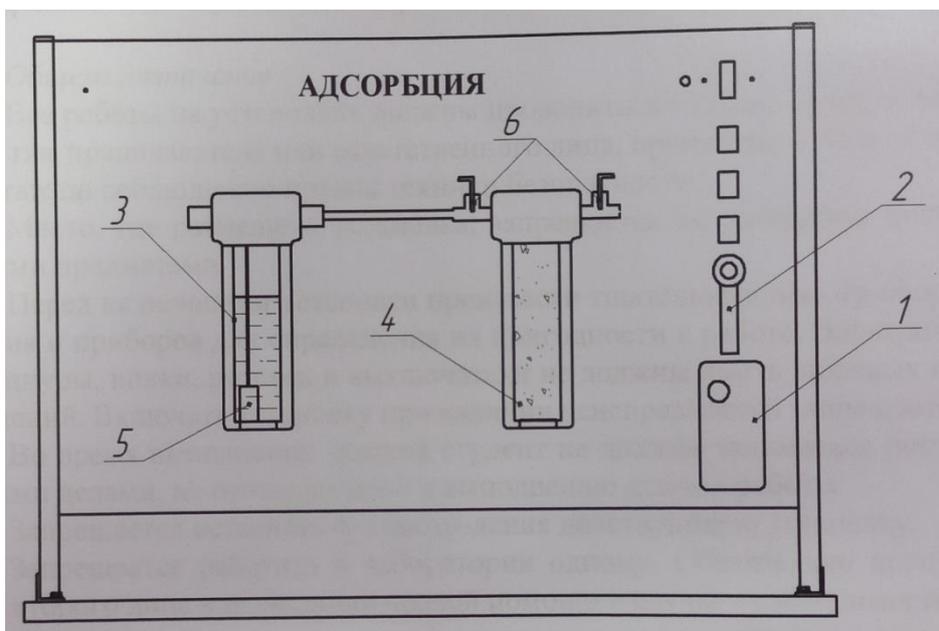


Рис. 1 Схема лабораторной установки:

1 - компрессор, 2 - расходомер, 3 – колба с водой, 4 – колба с адсорбентом, 5-
рассекатель воздуха, 6 – датчики влажности

Замеряемые параметры:

- влажность воздуха (датчики 6);
- расход воздуха;
- температура воздуха до адсорбционной колонны.

Методика выполнения работы

Изучить методические указания, заготовить форму отчета о проведенной работе, в которую внести название и цель работы, основные сведения об изучаемых процессах, схему экспериментальной установки, заготовить таблицы для записи результатов измерений и вычислений.

2. Подготовить стенд, залить (долить) воды в колбу 3. **Колба должна быть заполнена водой на 2/3.**

3. Подключить стенд к сети 220 В.

4. Подключить автоматизированный стенд к USB разъему компьютера и запустить программу *Пуск – Программы Meas LAB → «Адсорбция»*. Запуск программы производится кнопкой «Пуск».

5. Включить питание стенда автоматическим выключателем «Сеть» (должна загореться лампочка «Сеть 220В»).

6. Запустить компрессор 1, включив ВК1.
7. Установить расход воздуха 4 л/мин игольчатым краном на расходомере 2.
8. Опыт проводить до тех пор, пока показания датчика влажности б на выходе из колбы 4 не стабилизируется. Результаты замеров внести в табл. 1.1. Интервал между замерами 10 с.
9. Поменяйте расход воздуха (в пределах от 3 до 6 л/мин) и повторите опыт. Результаты замеров внести в табл. 1.
10. При условии насыщения адсорбента необходимо провести его регенерацию. Для этого необходимо извлечь адсорбент из колбы, открутив стеклянную часть и посушить при температуре (110÷150) °С.
11. Окончив опыты, выключите компрессор.

Таблица 1 - Результаты измерений

τ, с	До колонны			После колонны		Расчетные данные					
	φ, %	X ₀ , кг/кг	t _c , °С	φ, %	x ₀ , кг/кг	x ₀ /x	ln(x ₀ /x)	ln(x ₀ /x)-1	α ₀ , кг/м ³	K, с/м	K _v , 1/с
10											
20											
30											
...											

Обработка опытных данных и составление отчета

В ходе работы определяем:

1. Влагосодержание воздуха на входе x₀ и на выходе x адсорбционной колонны для каждого момента времени:

$$x = 0,622 \cdot \varphi \cdot P_c / (735 - \varphi P_c),$$

где: P_c – давление насыщенного водяного пара в воздухе при температуре сухого термометра t_c, мм рт. ст.,

$$\ln P_c = 18,76 - 4081,18 / (236,77 + t_c)$$

$$P_c = e^{18,76 - 4081,18 / (236,77 + t_c)}$$

2. x₀ / x;
3. ln (x₀ / x);
4. ln (x₀ / x) - 1;

5. Строим график в координатах $(\ln(x_o/x - 1)) = f(\tau)$, рис. 2.

6. Вычисляем

$$a_o = K \cdot V \cdot x_o' / S,$$

где: S – площадь сечения колбы, m^2 ;

V – объемный расход газовой смеси (усредненный), m^3/c ;

x_o – влажность газовой смеси, кг воды на $1m^3$ воздуха на входе в слой адсорбента: $x_o' = x_o \cdot \rho$, ρ – плотность воздуха при средней температуре газовой смеси (при t_c), рассчитанная по уравнению Клапейрона:

$$\rho = M \cdot 273 / [22,4 (273 + t_c)],$$

где: M – молярная масса газа, $kg/kmol$.

7. Определяем по графику, рис 1.1, коэффициент защитного действия по отрезку, отсекаемому прямой на оси абсцисс K , c/m ;

8. Вычисляем коэффициент массопередачи K_v по котангенсу угла наклона прямой: $ctg \alpha = - K \cdot W / K_v$;

$$K_v = - K \cdot W / ctg \alpha$$

где W – объемная скорость потока, отнесенная к полному сечению аппарата, $m^3/(m^2 \cdot c)$.

$$W = V/S$$

Форма отчетности

1. Краткое описание работы установки.
2. Схема установки.
3. Результаты измерений и расчеты.
4. Графики в координатах $x = f(\tau)$ и $(\ln(x_o/x - 1)) = f(\tau)$.

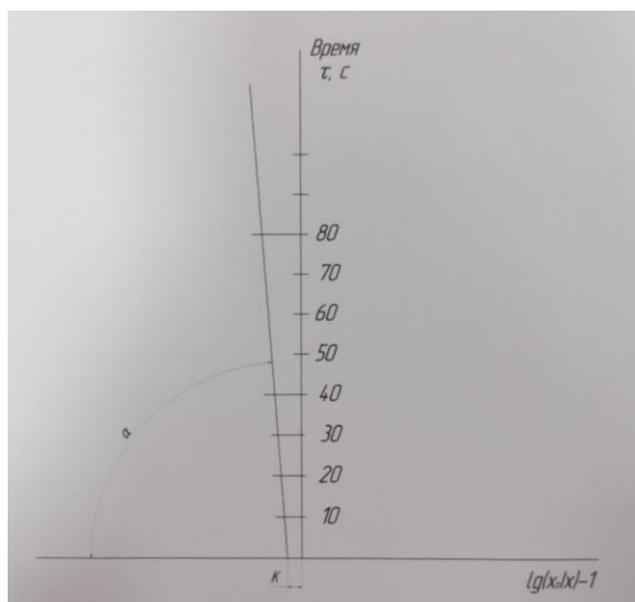


Рис. 2 График $(\ln(x/x_0 - 1)) = f(t)$

Контрольные вопросы

1. Что такое процесс адсорбции?
2. Назовите основные вещества, являющиеся адсорбентами.
3. Что такое «момент проскока» и чем он характеризуется?
4. Что такое процесс десорбции?
5. Где в промышленности применяется процесс адсорбции?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Исследование процесса экстрагирования

Введение

Экстрагированием называется процесс извлечения одного или нескольких компонентов их смеси, находящейся в твердом или жидком состоянии, путем обработки растворителем (экстрагентом), избирательным по отношению к определенным компонентам. Этот процесс осуществляется в экстракторах. В случае если смесь веществ, из которой извлекается один или несколько компонентов, является жидкой, разделяемая система становится однородной, и термин «экстрагирование» заменяется термином «экстракция».

В ходе экстрагирования последовательно протекают четыре простых процесса:

- проникновение растворителя в поры частиц сырья;
- растворение извлекаемого компонента;
- перенос его внутри частицы к ее поверхности;
- перенос от поверхности вещества в объем экстрагента.

В конкретных случаях отдельные процессы могут отсутствовать или не играть существенной роли.

В технологических процессах переработки мяса, рыбы и других неоднородных систем с твердой фазой применяют так называемую обратную экстракцию. Она заключается в насыщении системы одним или несколькими компонентами путем их ввода в растворенном виде диффузией из окружающей среды. Примерами таких процессов являются посол, маринование, копчение и др. В них солевой или другой водный растворы проникают в глубь твердого пористого продукта, смешиваются с водными растворами, заполняющими их поры, и передают им часть своих растворенных веществ. Таким образом, экстрагирование и обратная экстракция – это процессы, описываемые однотипными математическими выражениями. Поэтому их специального рассмотрения не требуется.

Правильный выбор растворителя (экстрагента) – важнейший фактор, определяющий эффективность всего процесса экстрагирования. Он должен обладать избирательной растворимостью, обеспечивать высокую скорость растворения, иметь низкую температуру кипения (легко отгоняться), быть чистым и однородным, чтобы не портить получаемый продукт, не оставлять запаха и не давать вредных соединений с экстрагируемым веществом, не вызывать коррозии оборудования, быть пожаро- и взрывобезопасным, дешевым. В качестве экстрагентов применяют воду, спирт, водоспиртовую смесь, бензин, бензол, дихлорэтан, сжиженные газы и др.

Среди экстрагентов особое место занимают сжиженные газы: двуокись углерода, этан, пропан, ацетилен, азот, окислы азота, хладоны (R12, R13, R22, R23) и др. В сжиженном состоянии они обладают хорошей растворяющей способностью, высокой селективностью, химической индифферентностью к экстрагируемым веществам, хорошо отгоняются от экстрагированных веществ при относительно низких температурах (до 50°C), обеспечивают стерильность экстрактов, блокируя жизнедеятельность микроорганизмов. Они безвредны для людей и относительно дешевы.

Подходя к процессу экстрагирования с феноменологических позиций, констатируем, что обобщенной движущей силой (X), в данном массообменном процессе является разность концентраций экстрагируемого вещества в твердой и жидкой фазах $X = C_1 - C_2$. Она изменяется по ходу движения продукта. Здесь черта над обозначением параметра означает его осреднение по соответствующему пространству (в данном случае по твердой частице). Результатом процесса является поток экстрагируемого вещества M . Связь между ними записывается стандартно и имеет вид:

$$M = K \cdot X \quad (37)$$

где K – феноменологический коэффициент, физический смысл которого заключается в характеристике интенсивности извлечения экстрагируемого продукта.

Приведенные далее математические зависимости, раскрывающие процесс диффузионного переноса в твердой пластине, можно рассматривать как проникновение вглубь явления с детализацией представлений о процессе диффузии или о величине коэффициента K и его зависимости от действующих факторов.

Если обозначить расходы твердой и жидкой фаз в аппарате как m и m_2 , то справедливо уравнение баланса экстрагируемого компонента в виде:

$$m_1 \cdot (C_{1н} - C_{1к}) = m_2 \cdot (C_{2к} - C_{2н}) \quad (38)$$

Отсюда получим соотношение расходов фаз:

$$q = \frac{m_2}{m_1} = \frac{C_{1н} C_{1к}}{C_{2к} C_{2н}} \quad (39)$$

Расчет процесса экстрагирования вещества жидкостью из твердой фазы заключается в определении необходимой длительности процесса (длины аппарата при заданной скорости движения по нему) для получения нужной степени экстрагирования. Возможен и обратный расчет - определение степени экстрагирования вещества при заданном времени процесса.

Диффузионный перенос массы в твердой пластине

Процесс экстрагирования сахара из пластины сахарной свеклы можно рассматривать протекающим в две стадии - диффузия водного раствора сахара внутри пластины к ее поверхности и перенос сахара от поверхности соприкосновения жидкой и твердой фаз в глубину экстрагента. Стадия проникновения растворителя в поры свекловичной пластины протекает быстро и не лимитирует процесс, а стадия растворения сахара в данном процессе отсутствует, т.к. он изначально находится в водном растворе.

Управление процессом экстрагирования

Оптимизация процесса экстрагирования направлена на повышение его эффективности путем выбора значений действующих факторов, которые, как правило, определяются тем, что по обе стороны от них проявляется существенное влияние различных неблагоприятных воздействий. Укажем эти воздействия для основных факторов.

1. Температура. Ее повышение увеличивает коэффициент диффузии в твердых частицах, но после превышения некоторого уровня изменяет физические характеристики частиц, оцениваемые по изменению их упругих свойств, либо неблагоприятно сказывается на диффузии из них.
2. Размеры частиц их уменьшение существенно ускоряет экстрагирование. Однако при малых размерах частиц возможно их «слипание», результате эффективная поверхность соприкосновения экстрагентом может уменьшаться, доходя до 20...25 % и менее от полной внешней поверхности частиц. в значительной мере предотвращению неблагоприятного воздействия «слипания» способствует перемешивание частиц различными способами, включая низкочастотные механические колебания, организацию процесса в кипящем слое, ультразвуковые колебания, электроимпульсные воздействия, периодический отжим продукта.
3. Перемешивание растворителя (дисперсионной среды) вокруг твердых частиц, из которых экстрагируется продукт.

Оборудование для экстрагирования

По режиму работы экстракторы делятся на периодические, полу непрерывные и непрерывные. По направлению движения продуктов – противоточные и прямоточные. По виду циркуляции – с однократным прохождением экстрагента, с рециркуляцией экстрагента и оросительные. По давлению – на атмосферные, вакуумные и работающие под давлением. По свойствам твердых частиц – на экстракторы для крупнозернистых, мелкозернистых, тонкодисперсных, пастообразных, волокнистых и других материалов. По конструкции корпуса аппарата – колонные и камерные; по виду транспортного органа шнековые, лопастные, цепные, ковшовые, ротационные, ленточные; по расположению корпуса – горизонтальные, вертикальные, наклонные. По гидродинамическому характеру процесса в аппарате – с неподвижным слоем твердых частиц, с движущимся слоем.

Перечень экстракторов, различающихся конструктивно, включает: колонные, ротационные, шнековые, оросительные, экстракторы с кипящим слоем, камерные батарейные и др.

Колонные аппараты реализуют противоточный непрерывный процесс.

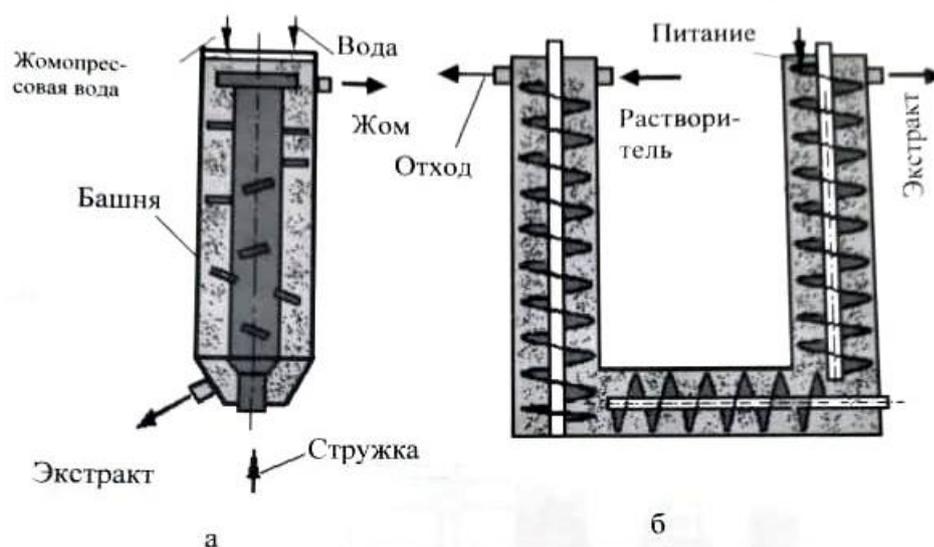


Рис. 14 - Схемы колонных экстракторов:

а – одноколонный с лопастным транспортером; б – двухколонный со шнековым транспортером

Конструктивно эти аппараты выглядят так, как показано на рис. 14. В одноколонном аппарате, рис. 14 а, внутри корпуса аппарата к верхней опоре подвешен вал. По его высоте размещены лопасти. На внутренней поверхности корпуса установлены контрлапы. Лопасти и контрлапы установлены в разных плоскостях таким образом, чтобы они не мешали друг другу при вращении вала. В двух верхних рядах на внутренней поверхности корпуса расположено по пять контрлап. Лопасти и контрлапы разрыхляют стружку и помогают перемещению стружки снизу-вверх.

Нижняя часть аппарата оборудована устройством для отвода диффузионного сока. Она состоит из горизонтального щелеобразного сита, дополнительной фильтрующей поверхности, расположенной в десяти контрлапах пятого и первого нижних рядов и двух вращающихся ситоочистительных лопастей. Для удаления жома из аппарата в верхней его части имеется специальное выгрузное устройство.

Двухколонный диффузионный аппарат (рис. 14 б) состоит из двух колонн, соединенных в нижней части коленом. Обе колонны состоят из отдельных царг. В обеих колоннах имеются задерживающие решетки, которые открываются в направлении перемещения свекловичной стружки. Они разделяют столб стружки в аппарате на отдельные участки, независимые в гидродинамическом отношении.

Для удаления отработавшей свекловичной стружки (жом) установлен шнек с насадкой и приводом.

Движущей силой для перемещения содержимого в аппарате является разность давлений над содержимым в первой и второй колоннах. Для создания перепада давлений верхняя часть второй колонны подключается к сборнику. Насадка создает гидравлический затвор в период подключения верхней части аппарата к вакуум-сборнику.

Обессахаренная свекловичная стружка удаляется шнеком. После прекращения действия разрежения аппарат соединяется с атмосферой. При этом задерживающие решетки закрываются, и свекловичная стружка равномерно распределяется в объеме обеих колонн. Экстрагент подается в аппарат через штуцер и перемещается в аппарате противоточно стружке.

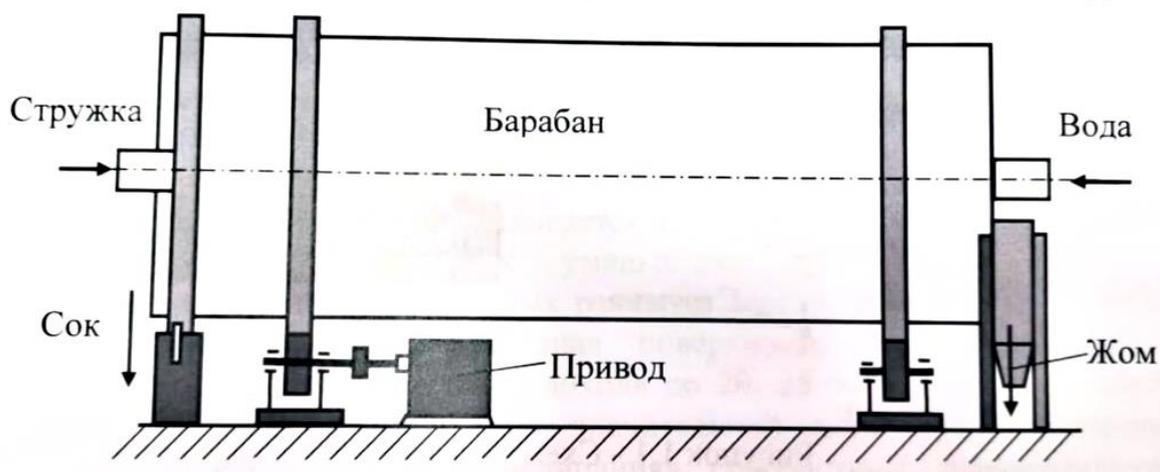


Рис. 15 - Схема барабанного экстрактора

В двухколонных диффузионных аппаратах скорость перемещения экстрагента по отношению к свекловичной стружке почти в два раза больше по сравнению с другими диффузионными аппаратами. Это положительно сказывается на процессе экстрагирования сахара.

Колонные экстракторы занимают малые площади, имеют небольшую металлоемкость. Недостатками колонных конструкций являются: частичная неконтролируемая рециркуляция жидкости в них; дробление твердых частиц при транспортировке, особенно при переходах между ступенями аппарата; возможное закручивание массы вместе со шнеком; необходимость нагнетания смеси снизу в вертикальные колонны, затруднения с подводом теплоты по высоте (если этот подвод необходим).

В барабанном экстракторе (рис. 15) корпус вращается на опорных роликах; на внутренней части барабана имеется перфорированная перегородка и винтовые поверхности. При вращении барабана экстрагент перемещается от входа к выходу, а твердые частицы увлекаются перфорированной перегородкой, отделяются на ней от жидкости и по наклонным лоткам сползают в полость между соседними витками, перемещаясь таким образом по аппарату. В каждом промежутке между витками процесс близок к противоточному, т.е. процесс является комбинированным. Недостаток аппарата – громоздкость и трудность поддержания теплового режима по длине, малое использование внутреннего объема ($1/3$ и менее). Достоинство – малое деформирование стружки.

Ленточный экстрактор представлен на рис.16. Твердая фаза перемещается вместе с лентой, а экстрагент собирается в сборниках под определенными участками транспортера и направляется насосами на орошение соседних участков ленты. Процесс в аппарате протекает по сложной схеме – поперечный ток на каждом участке и противоток между участками.

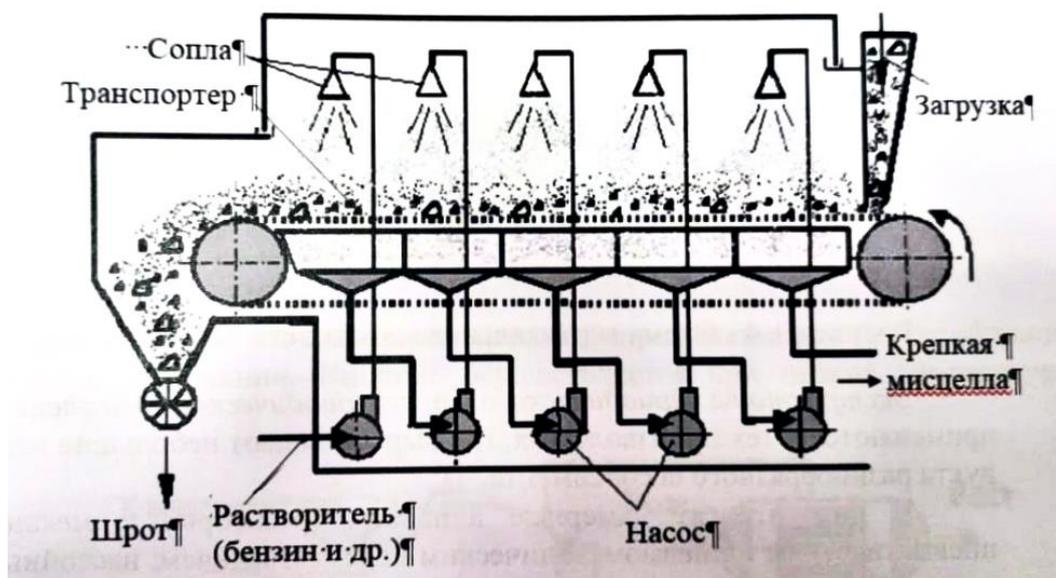


Рис. 16 - Схема ленточного экстрактора

Вертикальный ковшовый экстрактор, являющийся разновидностью ленточного, схематично представлен на рис.17. В этом аппарате твердая фаза перемещается перфорированными ковшами на подвижной ленте. Материал загружается сверху и орошается растворителем по представленной схеме.

В опускающейся ветви ковшей реализуется прямоток. Верхний ковш поднимающегося ряда орошается чистым растворителем, и в этом ряду ковшей имеет место противоток. Недостатки таких аппаратов: нарушение противотока, большие габариты, плохое использование внутреннего объема. Эти же недостатки свойственны и другим ленточным аппаратам. Двухшнековые наклонные экстракторы имеют небольшую металлоемкость, но занимают относительно большой объем производственного корпуса. Они характеризуются наименьшим расходом электроэнергии и стоимостью, просты по конструкции и легко ремонтируются.

Недостаток – рециркуляция твердых частиц и экстрагента по длине аппарата, значительное дробление стружки, трудности с созданием теплового режима.

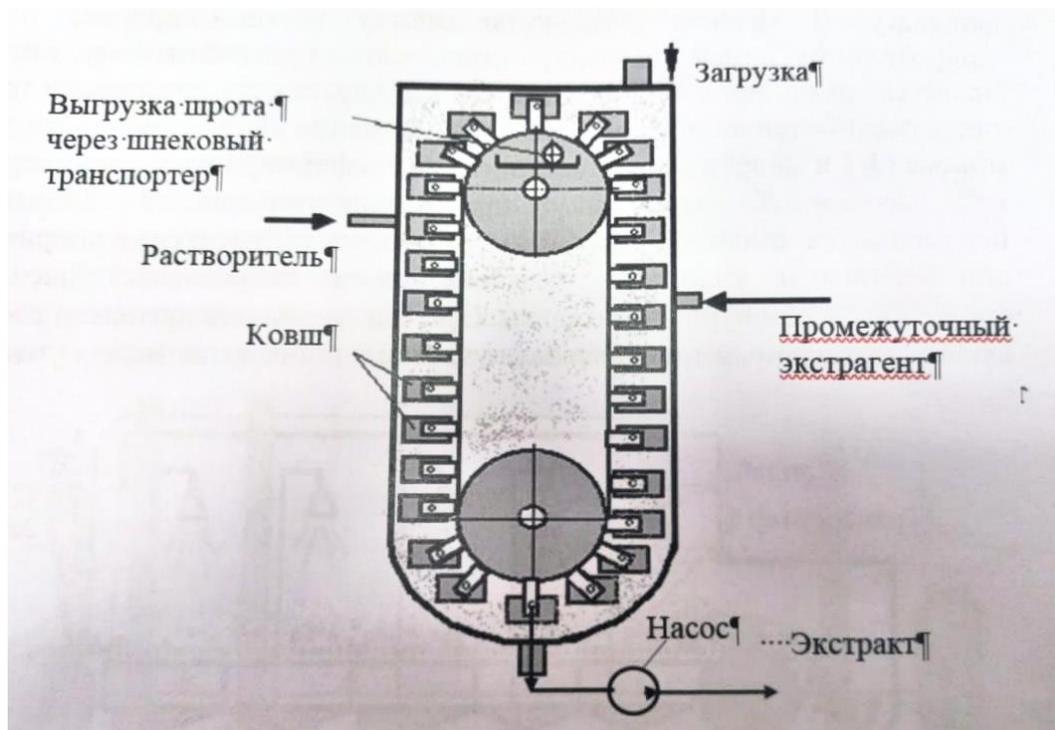


Рис. 17 - Схема вертикального ковшового экстрактора

Экстракторы периодического и полупериодического действия (рис. 18) применяются в тех производствах, где вырабатывают небольшие партии продукта разнообразного ассортимента.

К ним относят камерные аппараты (реакторы) с механическим, пневматическим и пневмомеханическим перемешиванием, настоящие чаны с неподвижным слоем твердой фазы, с циркуляцией (перколяторы) и без циркуляции экстрагента.

Камерные аппараты — сосуды цилиндрической формы с плоским или коническим днищем (рис. 19). В перколяторах экстрагент фильтруется через неподвижный плотный слой частиц. Его циркуляция обеспечивается насосом; для загрузки и выгрузки продукта предусмотрены крышки.

Перколяторы могут соединяться в батареи по 4...16 штук с промежуточным подогревом продукта между ними. Их работа может организовываться по двум схемам:

1. В определенный период жидкость во всех аппаратах неподвижна, потом она продвигается из аппарата в аппарат; из последнего перколятора жидкость сливается, а в первый подается свежий растворитель.

2. После подключения перколятора со свежим продуктом начинается его циркуляция по всей батарее, прерываемая только на период загрузки и выгрузки одного из перколяторов.

В первом случае процесс является комбинированным, во втором – противоточным.

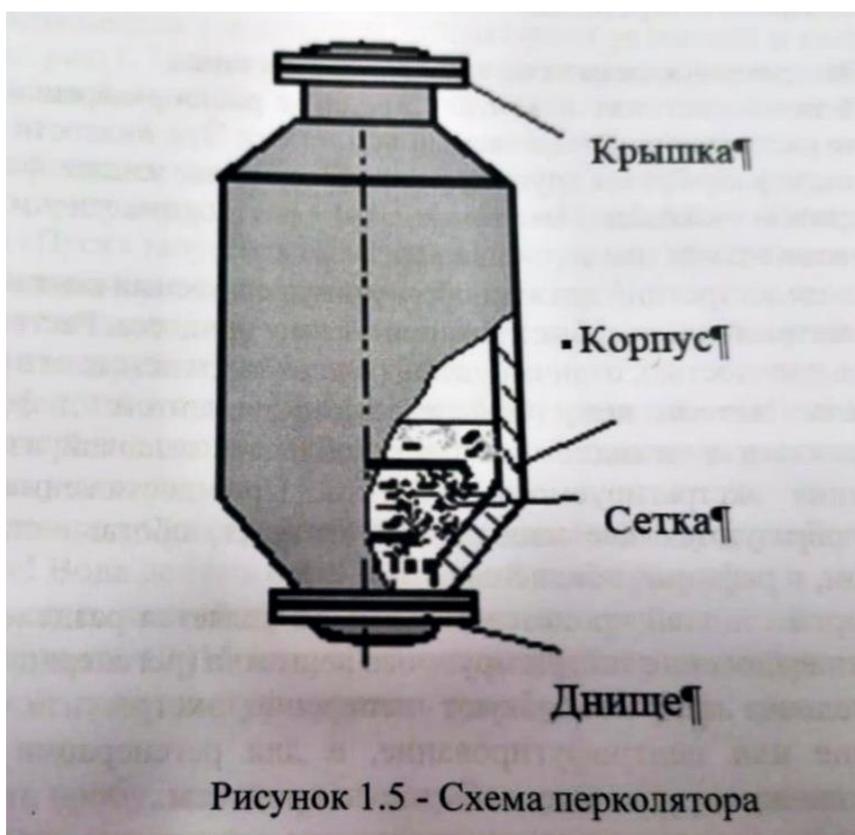


Рис. 18 - Схема перколятора

Аппараты с кипящим слоем (рис. 19) применяют для интенсификации процесса экстракции. Кипение осуществляется при низких температурах 30...60°C.

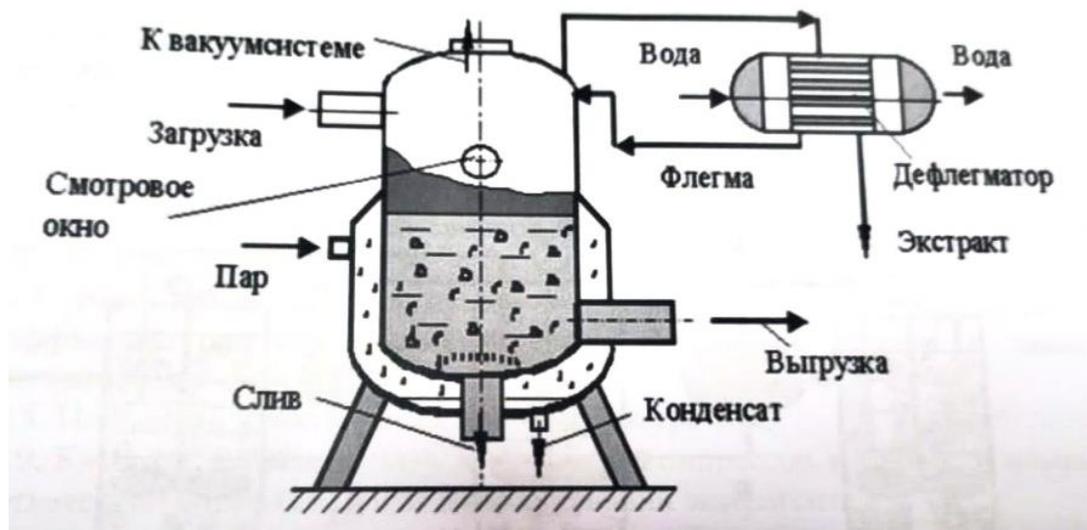


Рис. 19 - Схема экстрактора с кипящим слоем

Пары растворителя направляют в дефлегматор, а конденсат возвращают в экстрактор, который похож на выпарной аппарат периодического действия. Основное его отличие – наличие загрузочного и выгрузного люков и сита над сливными отверстиями.

Экстракция в жидкостно-жидкостных системах в таких системах в контакт вводятся раствор-сырец и растворитель, хорошо растворяющий выделяемый компонент. Эти жидкости полностью или частично нерастворимы друг в друге и образуют две жидкие фазы. Экстракция подчиняется законам массопередачи, растворимости и межфазового равновесия.

В ходе экстракции должны обеспечиваться: тесный контакт фаз и условия для наиболее полного и быстрого протекания процесса. Растворитель должен обладать плотностью, отличающейся от плотности исходного раствора, малой растворимостью нем, большим коэффициентом диффузии, хорошо распределяться в исходном растворе, обладать высокой избирательностью растворения экстрагируемого продукта. При достижении равновесия в системе образуются две жидкости - экстракт, обогащенный выделяемым продуктом, и рафинат, обедненный им.

Второй стадией процесса экстракции является разделение экстракта и рафината и выделение экстрагируемого вещества (регенерация растворителя). Для разделения фаз используют испарение экстрагента, гравитационное

отстаивание или центрифугирование, а для регенерации растворителя дистилляцию или другие массообменные процессы.

В расчетах параметров процесса используются треугольные (тройные) диаграммы состава фаз трехкомпонентных систем.

Методы экстракции и оборудование

Экстракция может выполняться ступенчато непрерывно.

В ступенчатом процессе смешивание и разделение компонентов выполняется в разных аппаратах - в мешалках и отстойниках. Каждая пара «мешалка-отстойник» образует ступень экстрагирования. Непрерывные процессы экстракции выполняются в единых аппаратах - колоннах (рис.20).

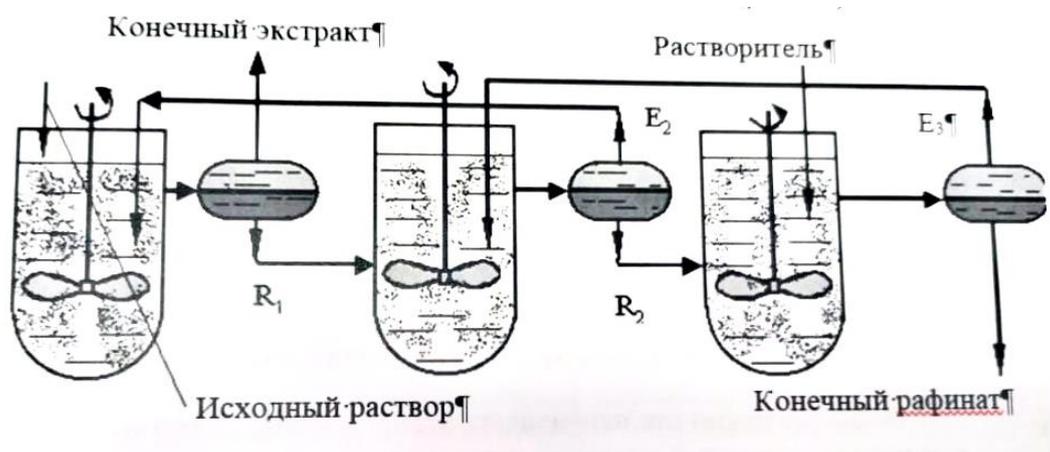


Рис. 20 - Схема многоступенчатой экстракции

До проведения лабораторных работ на установках студенты обязательно должны пройти инструктаж по технике безопасности согласно инструкции, которая включает в себя следующие основные положения:

Все работы на установках должны проводиться только в присутствии и участии преподавателя или ответственного лица, прошедшего полный инструктаж по соблюдению правил техники безопасности.

Место, где размещена установка, запрещается загромождать посторонними предметами.

Перед включением установки произвести тщательный осмотр оборудования и приборов для определения их пригодности к работе. Электрические шнуры, вилки, розетки и выключатели не должны иметь видимых повреждений. Включать установку при наличии неисправностей запрещается.

Во время выполнения задания студент не должен заниматься посторонними делами, не относящимися к выполнению данной работы.

Запрещается оставлять без наблюдения действующую установку.

Запрещается работать в лаборатории одному. Обязательно присутствие второго лица для оказания первой помощи в случае необходимости.

Студентам запрещается самостоятельно устранять неисправности лабораторных установок.

Ввиду наличия на установке высокого напряжения 220 В для питания электродвигателей, ТЭНов и контрольно - измерительных приборов запрещается:

- а) проникать за защитные ограждения присоединительных клемм;
- б) открывать распределительный щит и защитные кожухи установки;
- в) включать и отключать установку без разрешения преподавателя.
- г) во избежание возможного поражения электрическим током, запрещается касаться при включенной установке одновременно питающих проводов измерительных приборов, оборудования и трубопроводов отопления, водопровода или заземляющего контура. При поражении электрическим током необходимо немедленно вызвать врача, а до его прибытия оказать пострадавшему первую медицинскую помощь.
- д) установка должна быть немедленно отключена, если обнаружено повреждение заземления, защитного ограждения и при внезапном прекращении подачи энергии.

При появлении дыма из электронагревателя, другого оборудования или пускорегулирующей аппаратуры и при других аварийных ситуациях, немедленно отключить установку аварийной кнопкой «Стоп» и сообщить преподавателю.

По окончании работы установка должна быть отключена в строгом соответствии с указаниями, приведенными в данном методическом пособии.

Перед уходом студенты обязаны привести в порядок свое рабочее место и поставить в известность преподавателя об окончании работы.

Цель работы

Ознакомление с оборудованием для экстракции и изучение процесса экстрагирования

Задачи работы

1. Выполнить оценку интенсивности окрашивания раствора с помощью фотоколориметра.
2. Экспериментальное изучение процесса экстракции в зависимости от:
 - изменения размера частиц исследуемого материала;
 - изменения температуры;
 - наличия перемешивания в процессе экстракции;
3. Определение оптической плотности растворов с помощью цифрового фотоколориметра.

Описание экспериментальной установки

Лабораторная установка для исследования процесса экстракции состоит из автоматической машины для шинковки, нагревателя электрического, экстрактора с регулируемым нагревом экстрагента снабженного регулятором TC4S, бака для теплоносителя с встроенным насосом и воздушного компрессора, предназначенного для перемешивания экстрагента, колориметра.

1. Защита от перегрева по уровню теплоносителя.

Замеряемые параметры

2. Температура воды (теплоносителя).
3. Температура воды (экстрагента).
4. Температура окружающего воздуха.
5. Концентрация экстрагента.

4. Приготовить очищенную свеклу (красную).
5. Запустить машину для шинкования и приготовить навески по десять грамм в виде стружки и целого кубика.
6. Разместить в стаканы нарезанный материал навеской по 10 г.
7. Поочередно провести серию экспериментов с каждым видом нарезки по следующему алгоритму:
8. Залить воду (экстрагент) в внутреннюю колбу (примерно 2/3 уровня).

Внимание! Вода должна быть комнатной температуры.

9. Опустить контейнер с нарезкой в виде стружки в экстрактор.
10. Выдержать 10-15 минут, вынуть контейнер из экстрактора, подставить под сливной кран чистую емкость (колбу), открыть сливной кран и слить раствор.
11. Взять пробу, наполнив кювету калориметра экстрагентом и определить коэффициент светопропускания через окрашенный раствор полученное значение в табл. 7.
12. Залить воду (экстрагент) в внутреннюю колбу (примерно 2/3 уровня).

Внимание! Вода должна быть комнатной температуры.

13. Кнопкой ВК1 включить электронагреватель, одновременно включится циркуляционный насос теплоносителя.
14. На регуляторе ТС4S выставить температуру 30°C.
15. При достижении заданной температуры. Опустить контейнер с нарезкой в экстрактор.
16. Выдержать 10-15 минут, по окончании времени вынуть контейнер из экстрактора, подставить под сливной кран чистую емкость (колбу), открыть сливной кран и слить раствор.
17. Взять пробу, наполнив кювету калориметра экстрагентом и определить коэффициент светопропускания через окрашенный раствор и занести полученное значение в табл. 7.
18. Повторить пункты 12-17 при температуре 40°C.
19. Кнопкой ВК2 включить воздушный компрессор и провести опыты в соответствии с п.п. 12-18 при перемешивании экстрагента.

20. Повторить опыты п.п. 8-19 для целого кубика.

Обработка опытных данных и составление отчета

Сделать выводы по результатам проведенных экспериментов.

Таблица 7 - Результаты эксперимента

№ опыта	Форма навески	Масса навески М, г	Объем жидкости, V, мл	t, °С	Коэффициент светопропускания	Оптическая плотность
1						
2						
3						
4						

Форма отчетности

1. Краткое описание работы установки.
2. Схема установки.
3. Результаты измерений.
4. Анализ факторов, влияющих на процесс экстракции.

Контрольные вопросы

1. Что такое экстракция?
2. Как влияет размер частиц на процесс экстракции?
3. Как влияет температура на процесс экстракции?
4. Как классифицируются экстракторы и в чем отличие их работы?
5. Как влияет перемешивание на процесс экстрагирования?
6. Где в промышленности применяется процесс экстрагирования?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Изучение влияния способов нагрева на процесс сушки материалов

Введение

Сушка – это способ удаления влаги из материалов с использованием тепловых и диффузионных процессов. В них влага материала передается сушильному агенту и вместе с ним удаляется из рабочей зоны сушилки. Этим она отличается от других способов удаления влаги за счет механического отжима в прессах или центрифугах и физико-химического, основанного на применении водопоглощающих средств.

Сушке могут подвергаться твердые материалы, в том числе кристаллические, эластичные и хрупкие гели, коллоидно-дисперсные и капиллярно-пористые тела и жидкости – коллоидные растворы и растворы кристаллоидов. Влага в материалах может быть связана различными способами: химически – ионная, молекулярная связь; физико-химически – адсорбцией, осмотически, структурно; механически – находиться в капиллярах или на смоченной поверхности. При этом влага, содержащаяся в капиллярах пористых тел, называется механически удерживаемой, а влага на поверхности тел называется влагой смачивания. Влага, связанная с материалами химическими связями, не может быть удалена сушкой.

Содержание влаги в материале определяется его влажностью W и оценивается в процентах или частях от всей массы влажного или сухого ξ материала:

$$W = \frac{m_{\text{вл}}}{m}; \quad \xi = \frac{m_{\text{вл}}}{m - m_{\text{вл}}} \quad (35)$$

Если над влажным материалом находится влажный воздух, то со временем между влагой воздуха и влагой, содержащейся в материале, устанавливается равновесие и переход влаги сушильному агенту прекращается. Влажность материала в этом состоянии называется равновесной и таким образом является функцией парциального давления водяного пара в окружающей среде и температуры. Зависимость значений равновесной влажности от парциального давления паров воды в воздухе или его относительной влажности при

постоянной температуре называют изотермой сорбции влаги. Очевидно, что с помощью влажного воздуха удалить всю влагу невозможно.

При конвективной сушке влага удаляется с поверхности материала обновляемым сушильным агентом. Перемещение влаги из глубины материала к поверхности – диффузионный процесс. Его движущей силой являются градиенты внутреннего давления, температуры и концентрации влаги. Влага, находящаяся в порах материала, и осмотическая влага мигрируют к поверхности в жидком виде, а адсорбционно-связанная – в виде пара. В общем случае можно записать:

$$m_w = - K_1 \cdot F \cdot \frac{dC}{dx} \quad (36)$$

где m_w - скорость переноса влаги, кг/с;

F – поверхность материала, m^2 ;

C – концентрация влаги, $г/м^3$;

K_1 – постоянная влагопереноса, $кг \cdot м^2/с \cdot г$.

При интенсивной сушке диффузия влаги в материале сопровождается тепловым воздействием. В начале сушки материал подогревается, и скорость удаления влаги возрастает от нуля до некоторой постоянной величины. В начальный период удаляется поверхностная капиллярная влага, механически связанная с материалом (рис. 12).

Этот период продолжается до тех пор, пока температура материала, покрытого влагой, не станет равной температуре мокрого термометра – точка.

K_1 на кривой скорости сушки. Здесь удаляется адсорбированная влага, более тесно связанная с материалом. Постепенно скорость сушки уменьшается до нуля и устанавливается равновесная влажность материала. Критические точки K_1 и K_2 на кривой скорости сушки соответствуют изменению механизмов удаления влаги: до точки K_1 удаляется поверхностная влага и влага пор, после точки K_2 – адсорбционно-связанная влага.

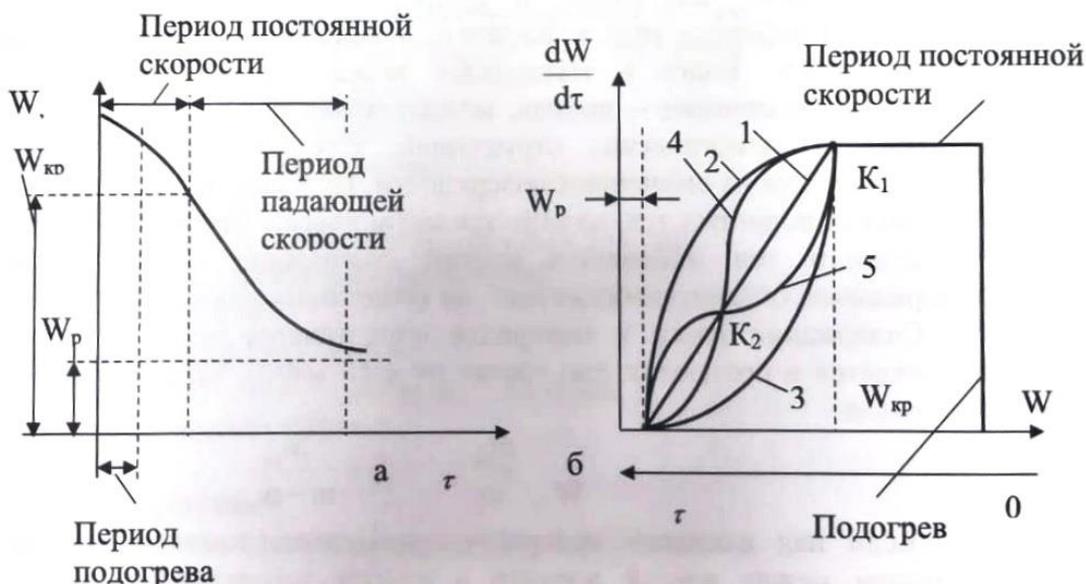


Рис. 12 – Изменения влажности высушиваемого материала и скорости сушки от времени ($W_{кр}$ – критическая влажность, W_p – равновесная влажность): 1 – крупнопористые материалы; 2 – коллоидные тела; 3 – пористые керамические материалы; 4 – ткани; 5 – глина

До проведения лабораторных работ на установках студенты обязательно должны пройти инструктаж по технике безопасности согласно инструкции, которая включает в себя следующие основные положения:

Общего назначения

Все работы на установках должны проводиться только в присутствии и участии преподавателя или ответственного лица, прошедшего полной инструктаж по соблюдению правил техники безопасности.

Место, где размещена установка, запрещается загромождать посторонними предметами.

Перед включением установки произвести тщательный осмотр оборудования и приборов для определения их пригодности к работе. Электрические шнуры, вилки, розетки и выключатели не должны иметь видимых повреждений. Включать установку при наличии неисправностей запрещается.

Во время выполнения задания студент не должен заниматься посторонними делами, не относящимися к выполнению данной работы.

Запрещается оставлять без наблюдения действующую установку.

Запрещается работать в лаборатории одному. Обязательно присутствие второго лица для оказания первой помощи в случае необходимости.

Студентам запрещается самостоятельно устранять неисправности лабораторных установок.

Ввиду наличия на установке высокого напряжения 220 В для питания электродвигателей, ТЭНов и контрольно-измерительных приборов запрещается:

- а) проникать за защитные ограждения присоединительных клемм;
- б) открывать распределительный щит и защитные кожухи установок;
- в) включать и отключать установку без разрешения преподавателя.
- г) во избежание возможного поражения электрическим током, запрещается касаться при включенной установке:
 - одновременно к проводам измерительного прибора и к трубопроводу отопления, водопровода или замыкающему контуру;
 - одновременно к корпусу измерительного прибора и к трубопроводу отопления, водопровода или замыкающему контуру.

д) установка должна быть немедленно отключена, если обнаружено повреждение заземления, защитного ограждения и при внезапном прекращении подачи энергии.

При появлении дыма из электронагревателя или пускорегулирующей аппаратуры, поломки оборудования его перегрева сверх допустимой температуры и при других аварийных ситуациях, немедленно сообщить преподавателю, для последующего отключения от электросети.

При поражении электрическим током необходимо немедленно вызвать врача, а до его прибытия при необходимости оказать пострадавшему первую помощь.

По окончании работы установка должна быть отключена в строгом соответствии с указаниями, приведенными в данном методическом указании.

Перед уходом студенты обязаны привести в порядок свое рабочее место и поставить в известность преподавателя об окончании работы.

Цель работы

Изучение механизмов и закономерностей удаления влаги в процессах сушки в зависимости от способов подвода тепла к высушиваемому материалу.

Задачи работы

1. Определение времени сушки и количества испаряемой влаги;
2. Построение графиков скорости удаления влаги в различные периоды сушки в режимах конвективного нагрева, СВЧ, инфракрасного излучения и их комбинаций.

Описание экспериментальной установки

Работа проводится с использованием многофункциональной микроволновой печи (рис. 13). Через отверстие в верхней стенке печи проходит термостойкая нить, на которой подвешена чаша с высушиваемым материалом. Верхний конец нити крепится к нижнему подвесу электронных цифровых весов. Верхний

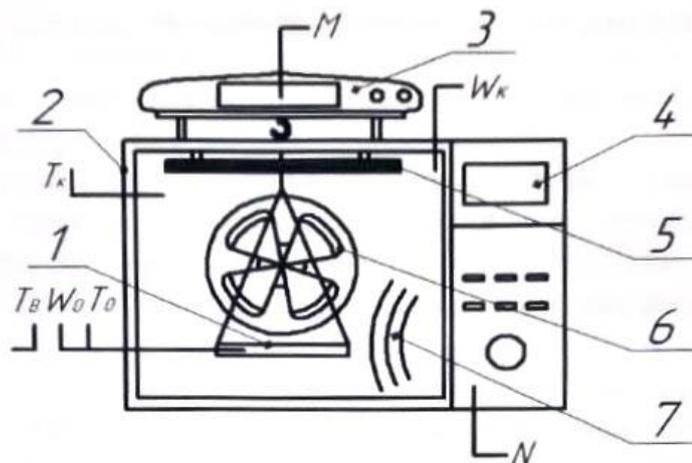


Рис. 13 Схема лабораторной установки: 1 - чаша с высушиваемым материалом, 2- камера, 3 - электронные весы, 4 - пульт управления, 5 – ИК нагреватель, 6 — конвективный нагрев, 7 – СВЧ нагрев

Измеряемые параметры:

T_k - температура в камере;

M - масса образца;

W_k - влажность воздуха на выходе из камеры;

N – затрачиваемая электроэнергия;

Мультидатчик:

T_0 - температура образца;

T_b - температура окружающего воздуха;

W_0 - влажность образца.

Блок управления:

Сеть 220В - включение электропитания стенда;

ВК1 - включение весов.

Примечание: Индикаторная лампочка на вертикальной панели указывает на наличие электропитания.

Проверить аварийная кнопка «Стоп» должны находиться в отжатом положении. Для этого повернуть её по часовой стрелке (направление стрелками указано на кнопке).

Методика выполнения работы

Изучить методические указания, заготовить форму отчета о проведенной работе, в которую внести название и цель работы, основные сведения об изучаемых процессах, схему экспериментальной установки, готовую таблицу 1.1 для записи результатов измерений и вычислений.

2. Подготовить 5 одинаковых образцов высушиваемого материала и один из них аккуратно поместить в чашу, расположенную в сушильной камере.

3. Включить компьютер и подключить USB шнур стенда к компьютеру.

4. Подключить стенд к сети 220 В и запустить его тумблером «Сеть 220 В».

5. Включить электронные весы кнопкой «ВК1» и дождаться стабилизации. Если стабилизации нет, то требуется дождаться пока перестанет качаться платформа и снова запустить весы.

6. Включить компьютер и запустить программу проведения лабораторной работы «Сушка». Кнопкой «Пуск» на лицевой панели включить программу измерений.

7. С пульта управления установить заданный режим работы микроволновой печи и запустить ее. В автоматизированной системе измерение и регистрация текущих значений массы высушиваемого материала осуществляется непрерывно. Одновременно вычисляется убыль влаги по времени, осуществляется пересчет абсолютных значений в относительные, формируются соответствующие массивы данных.

8. Занести показатели режима в сводную табл. 6. С началом рабочего режима наблюдать за изменением массы высушиваемого материала и убыли влаги на дисплее компьютера. Обратить внимание на характерные участки изменения массы.

9. При установлении равновесной влажности, когда изменение текущей массы становится меньшим 0,1 г за цикл измерений, выключить сушильную камеру и записать время сушки и данные цифровых индикаторов в табл. 6.

10. Открыть камеру и через 2-3 минуты осторожно извлечь высушенный образец. Визуально оценить качество сушки.

11. Повторить эксперимент при других режимах работы печи (пункты 7-10).

Обработка опытных данных и составление отчета

Перенести в отчет графики изменений текущей массы и убыли влаги по времени.

Построить и проанализировать графики экспериментальных зависимостей $dM/d\tau=f(\tau)$.

Таблица 6 - Основные показатели исследуемых режимов сушки

№ п/п	Способ сушки	T _к , °C	W _к , %	T _о , °C	T _в , °C	W _о , %	M _н , г	M _к , г	ΔW, %	τ, мин	N, кВт·ч
1.	Инфракрасный										
2.	Конвективный										
3.	ИК+конвекция										
4.	СВЧ										
5.	СВЧ+конвекция										

M_н - начальная масса образца;

M_к – масса образца в конце сушки;

ΔW – убыль влаги;

τ – время сушки.

Выводы по работе должны содержать:

1. Краткую характеристику выполненной работы (высушиваемый материал, режимы работы печи, использованное оборудование).

2. Максимальное и минимальное время сушки и ранжировку различных режимов по скорости сушки.

3. Характеристику основных этапов сушки для различных способов повода тепла к высушиваемому материалу рекомендации по выбору оптимального режима сушки.

4. Оценить эффективность сушки разными способами.

Контрольные вопросы

1. Как различаются между собой скорости сушки в периоды удаления механически связанной и адсорбированной влаги?

2. Чем можно объяснить различие кривых сушки на рис. 12?

3. Как сказывается влияние медленных диффузионных процессов на скорость сушки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

Исследование процесса расстойки

Введение

Основными операциями по приготовлению теста являются загрузка ингредиентов, их предварительное перемешивание, разделка приготовленного теста, деление на куски, округление кусков, предварительная расстойка и формование тестовых заготовок, окончательная расстойка и отделка поверхности тестовых заготовок.

Цель окончательной расстойки - восстановить нарушенную при формовании структуру теста и обеспечить разрыхление тестовой заготовки за счет выделения диоксида углерода. На производстве она осуществляется в специальных расстойных шкафах или в расстойно-печных агрегатах при температуре 35 – 40 градусов и относительной влажности воздуха 75 - 85%. Повышенная температура воздуха ускоряет брожение в тестовых заготовках. Достаточно высокая относительная влажность воздуха необходима для предотвращения образования на поверхности тестовых заготовок подсохшей корочки, которая при выпечке при увеличении объема тестовой заготовки разрывается. Это приводит к образованию на поверхности хлеба разрывов и трещин.

Если тестовые заготовки прошли недостаточную расстойку, то выпеченный хлеб имеет низкий объем. При этом верхняя корка формового хлеба становится очень выпуклой и отрывается с одной или двух сторон от боковых стенок, а подовый хлеб приобретает шаровидную форму и выплывы с боков. Если тестовые заготовки поступают на выпечку с избыточной расстойкой, то возможно оседание тестовых заготовок. Верхняя корка формового хлеба получается плоской или опавшей. Продолжительность окончательной расстойки обычно составляет 25 - 120 минут, в зависимости от массы тестовой заготовки, условий расстойки, рецептуры теста, свойств и вида муки и других факторов. Чем больше масса тестовой заготовки, тем длительнее процесс окончательной расстойки. Тестовые заготовки, помещенные в формы

расстаиваются медленнее, чем заготовки для подовых изделий. Для формового хлеба из ржаной, пшеничной муки и их смесей обычно ограничиваются одной расстойкой.

До проведения лабораторных работ на установках студенты обязательно должны пройти инструктаж по технике безопасности согласно инструкции, которая включает в себя следующие основные положения.

Все работы на установках должны проводиться только в присутствии и участии преподавателя или ответственного лица, прошедшего полной инструктаж по соблюдению правил техники безопасности.

Место, где размещена установка, запрещается загромождать посторонними предметами.

Перед включением установки произвести тщательный осмотр оборудования и приборов для определения их пригодности к работе. Электрические шнуры, вилки, розетки и выключатели не должны иметь видимых повреждений. Включать установку при наличии неисправностей запрещается.

Перед загрузкой, выгрузкой и обслуживанием печи убедитесь, что установка от сети.

Производите загрузку дежи ингредиентами, не превышая их количеств, указанных в рецептах выбранной программы выпечки.

Не трогайте металлические и движущиеся части печи руками и другими предметами.

Во время работы печи корпус и другие ее части нагреваются. Поэтому, пользуйтесь только выключателями и необходимыми кнопками.

Перед выемкой дежи выдержите некоторое время для остывания печки и только потом извлеките термопары из мякиша хлеба. Используйте прихваты.

Не закрывайте воздушные щели для циркуляции воздуха.

Во время выполнения задания студент не должен заниматься посторонними делами, не относящимися к выполнению данной работы.

Запрещается оставлять без наблюдения действующую установку.

Запрещается работать в лаборатории одному. Обязательно присутствие второго лица для оказания первой помощи в случае необходимости.

Студентам запрещается самостоятельно устранять неисправности лабораторных установок.

Ввиду наличия на установке высокого напряжения 220 В для питания электродвигателей, ТЭНов и контрольно-измерительных приборов запрещается:

- а) проникать за защитные ограждения присоединительных клемм;
- б) открывать распределительный щит и защитные кожухи установки;
- в) включать и отключать установку без разрешения преподавателя.
- г) во избежание возможного поражения электрическим током, запрещается касаться при включенной установке одновременно питающих проводов измерительных приборов, оборудования и трубопроводов отопления, водопровода или заземляющего контура. При поражении электрическим током необходимо немедленно вызвать врача, а до его прибытия оказать пострадавшему первую медицинскую помощь.
- д) установка должна быть немедленно отключена, если обнаружено повреждение заземления, защитного ограждения и при внезапном прекращении подачи энергии.

При появлении дыма из электронагревателей, другого оборудования или пускорегулирующей аппаратуры и при других аварийных ситуациях, немедленно отключить установку аварийной кнопкой «Стоп» и сообщить преподавателю.

По окончании работы установка должна быть отключена в строгом соответствии с указаниями, приведенными в данном методическом пособии.

Перед уходом студенты обязаны привести в порядок свое рабочее место и поставить в известность преподавателя об окончании работы.

Цель работы

Изучение процесса расстойки теста, выбор оптимального режима расстойки.

Задачи работы

1. Определение продолжительности и угловой скорости перемешивания ингредиентов и замеса теста,
2. Определение продолжительности расстойки.
3. Определение увеличения объема тестовой заготовки до момента завершения ее окончательной расстойки.
4. Определение количества энергии, затраченной на расстойку.

Описание экспериментальной установки

Принципиальная схема лабораторной станда представлена на рис. 22. Для того, чтобы измерить температуры в свободном объеме печи и в тестовой заготовке используются три термопары. Во время эксперимента показания термопар отображаются на экране компьютерной системы измерения.

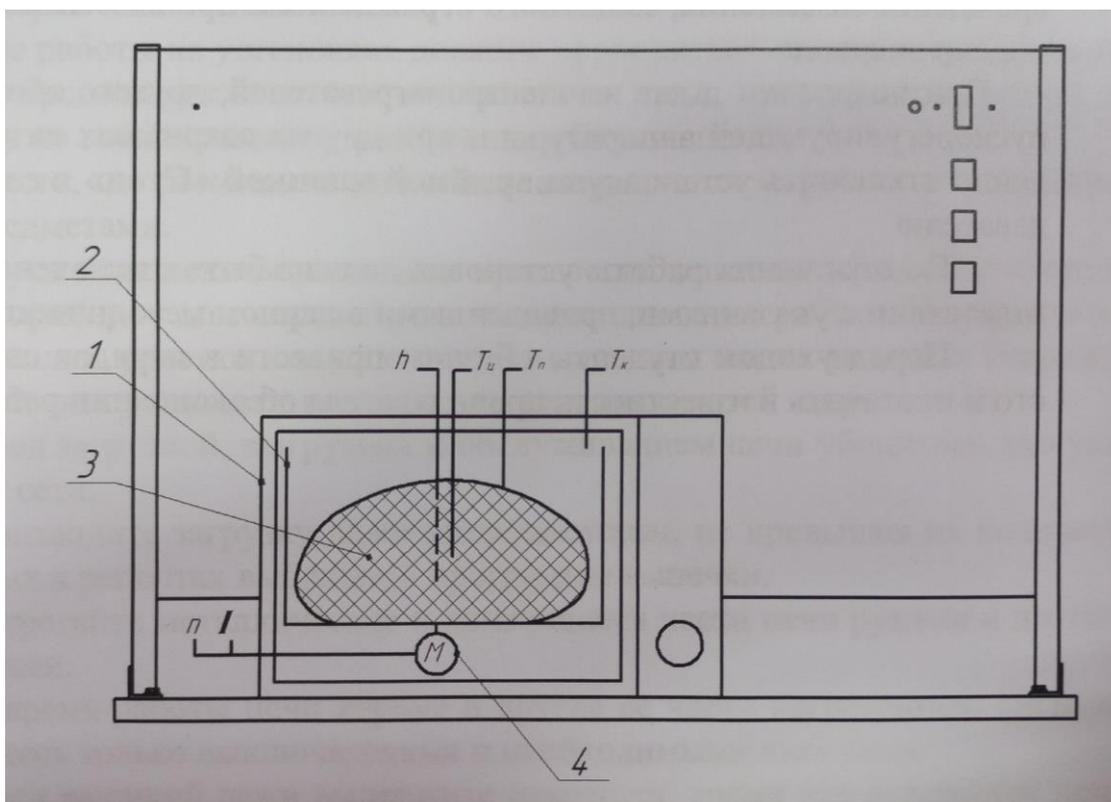


Рис. 22 - Принципиальная схема станда: 1 - печь; 2 - дежа; 3 - тестовая заготовка; 4 – привод.

Измеряемые параметры:

T_K - температура в камере печи, °С;

T_{Π} - температура на поверхности тестовой заготовки, °С;

$T_{Ц}$ - температура в центре тестовой заготовки, °С;

I - ток, А;

h - датчик высоты, мм;

n - датчик скорости вращения.

Изучение процессов расстойки и выпечки хлеба производится на домашней электрической печи для расстойки и выпечки различных видов хлебобулочных изделий (рис. 23). Снаружи пекарной камеры печи находятся трубчатые электронагреватели, режимы работы которых задаются микропроцессорными регуляторами температуры печи. В нижней части печи установлено устройство сопряжения привода с ведущим валом дежи (форма для хлеба). Дежа устанавливается вертикально до вхождения в соединительную муфту и при повороте неподвижно закрепляется внутри печи. Как и в промышленных печах в используемой печи большая доля тепла (80 — 85%) передается тесту-хлебу путем теплового излучения от нагретых стенок.

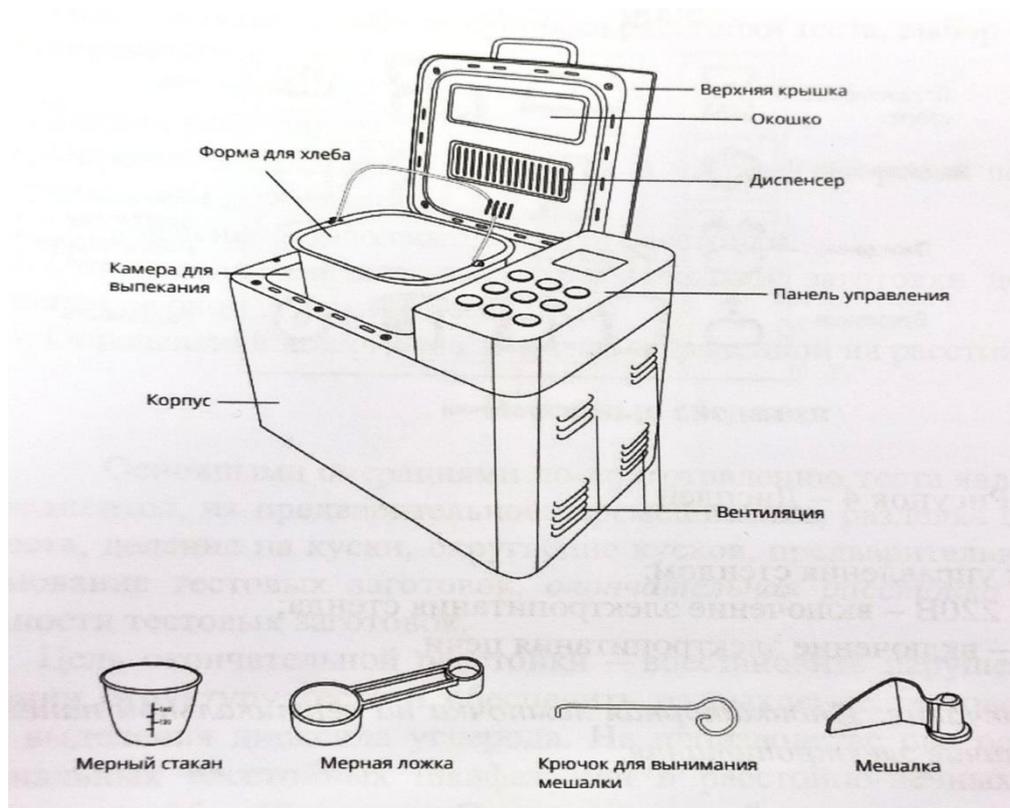


Рис. 23 - Внешний вид электропечи

На передней панели печи, рис. 24, расположен дисплей, рис. 25, кнопки управления и список программ.

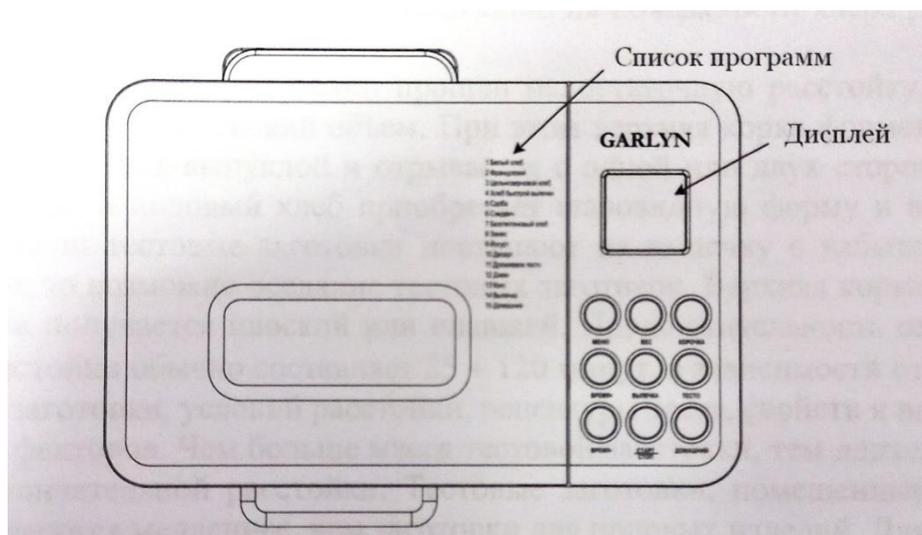


Рис. 24- Панель управления печью



Рис. 25 - Дисплей

Блок управления стендом:

Сеть 220В – включение электропитания стенда;

ВК1 – включение электропитания печи.

Примечание: Индикаторная лампочка на вертикальной панели указывает на наличие электропитания.

Проверить аварийная кнопка «Стоп» должны находиться в отжатом положении. Для этого повернуть её по часовой стрелке (направление стрелками указано на кнопке).

Методика выполнения работы

1. Ознакомиться с задачами лабораторной работы, устройством и назначением основных узлов экспериментальной установки, требованиями техники безопасности.
2. Записать в отчет по лабораторной работе ее цели и задачи, краткие сведения, наименование, массу и рецептуру выбранного хлеба, номер соответствующей программы выпечки (приложение 5). Перенести в отчет схему установки и табл. 8.
3. Включить установку в сеть автоматическим выключателем «Сеть».
4. Включить электропитание кнопкой ВК1. При этом активизируются панель управления печи.
5. Подключить автоматизированный стенд к USB разъему компьютера и запустить программу Пуск → Программы → MeasLAB → «Выпечка». Для более подробного знакомства с программным обеспечением, откройте описание «Руководство по работе с программным обеспечением».
6. Запустить компьютерную программу непрерывной регистрации и обработки результатов измерений активировав иконку Старт, на экране компьютера. При этом на экране будут отображаться значения силы тока, потребляемого печью, и температур в печи.
7. Установить мешалку, и датчик вращения и на дежу датчик высоты и записать в табл. 8 значение датчика- h_d .
8. Выбрать программу №11 «Дрожжевое тесто».
9. Кнопкой Старт/Стоп на панели управления включить печь в работу. Замерить показания силы тока и датчика вращения на «холостом ходу».
10. Выключить программу кнопкой Старт/Стоп.

11. Вынуть из печи датчик высоты и дежу. Взвесить и определить собственную массу дежи - m_d .
12. Отмерить и поместить в дежу ингредиенты выбранной программы выпечки, точно соблюдая их количество и порядок загрузки, указанный в приложении 5.
13. Вновь взвесить заполненную дежу и определить суммарную начальную массу всех ингредиентов - m_o .
14. Установить дежу на место в пекарную камеру, прижав вниз и повернув дежу для фиксации (см. схему на внутренней части корпуса).
15. Установить мешалку, датчик вращения и датчик высоты.
16. Датчики температуры 2 и 3 убрать в пространство между дежой и внутренним корпусом печи.
17. Записать в табл. 9 значение датчика- h_o , и определить начальный объем ингредиентов.
18. Закрыть крышку печи.
19. Выбрать программу №11 «Дрожжевое тесто».
20. Кнопкой Старт/Стоп на панели управления включить печь в работу. За процессом можно наблюдать через смотровое окно.
21. При завершении программы записать значение высоты — h . Результат занести в табл. 8.
22. Оценить готовность тестовой заготовки к выпечке легким нажатием на поверхность тестовой заготовки. При недостаточной расстойке следы от нажатия выравниваются быстро, при нормальной медленно, а при избыточной - следы не исчезают.

Обработка опытных данных и составление отчета

1. Оценить степень увеличения объема тестовой заготовки в процессе расстойки (τ_b) результат занести в табл. 8.
2. Провести расстойку используя разные стандартные программы или создать свою программу см. «Режим домашней выпечки».
3. Определить мощность (N), затраченную на перемешивание и расстойку

$$N = I \cdot U \quad (40)$$

где $U = 220\text{В}$ - напряжение в сети.

Таблица 8 – Результаты измерений и вычислений

№ п.п.	t, С	I, А	N, Вт	m _d , г	m _о , г	h _d , мм	h _о , мм	h _p , мм	τ _p , с	n
Перемешивание										
Расстойка										

τ_p — время расстойки начинается с момента повышения температуры в печи по программе «Дрожжевое тесто».

n – холостого хода записать в графу «Расстойка».

Контрольные вопросы

1. Какую роль в процессе производства хлеба играет окончательная расстойка тестовых заготовок?
2. Как определяет степень нормальной расстойки? К каким последствиям может привести «недостаточно правильная» расстойка?
3. Как изменяются в процессе расстойки масса и объем тестовой заготовки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

Исследование процесса выпечки

Введение

Выпечка – заключительная стадия приготовления хлебных изделий, окончательно формирующая качество хлеба. В процессе выпечки внутри тестовой заготовки протекают одновременно микробиологические, биохимические, физические и коллоидные процессы. Все изменения и процессы, превращающие тесто в готовый хлеб, происходят в результате прогрева тестовой заготовки при температуре паровоздушной среды 200–280 °С. Для выпечки 1 кг хлеба требуется около 293–544 кДж тепловой энергии. Это тепло расходуется в основном на испарение влаги из тестовой заготовки и на ее прогрев до температуры 96–97°С (в центре), при которой тесто превращается в хлеб. Остальная часть тепла передается теплопроводностью от стенок формы и *пода* печи, за счет конвекции паровоздушной смеси в пекарной камере. Тестовые заготовки прогреваются постепенно, начиная с боковых поверхностей. Поэтому все процессы, характерные для выпечки хлеба, происходят не одновременно во всей его массе, а послойно - сначала в наружных, потом во внутренних слоях.

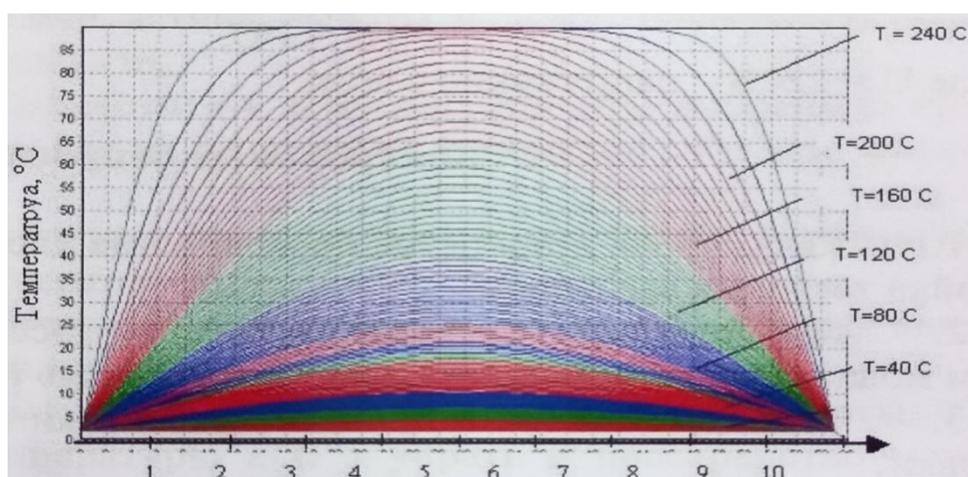


Рис. 26 – Результаты численного расчета послойного изменения температур внутри тестовой заготовки при выпечке хлеба.

Продолжительность выпечки зависят от ряда факторов. При повышении температуры в пекарной камере ускоряется прогревание заготовок и

сокращается продолжительность выпечки. Тесто высокой влажности и пористости прогревается быстрее, чем крепкое и плотное тесто. Тестовые заготовки значительной толщины и массы при прочих равных условиях прогреваются дольше. Формовой хлеб выпекается медленнее, чем *подовый*.

Процесс образования твердой хлебной корочки происходит в результате обезвоживания наружных слоев тестовой заготовки. Твердая корка прекращает рост объема теста и хлеба, поэтому она должна образовываться не сразу, а через 6-8 мин, когда достигнут максимальный объем заготовки. В конвейерных промышленных пекарных установках в первую зону пекарной камеры специально подают пар, конденсация которого на поверхности заготовок задерживает обезвоживание верхнего слоя и образование корки. Однако через несколько минут верхний слой, прогреваясь до температуры 100°C, начинает быстро терять влагу и при температуре 112°C превращается в тонкую корку, которая постепенно утолщается.

При обезвоживании корки часть влаги (около 50%) испаряется в окружающую среду, а часть переходит в Мякиш, так как влага при нагревании различных материалов всегда переходит от более нагретых участков (корки) к менее нагретым (мякишу). Влажность Мякиша в результате перемещения влаги из корки повышается на 1,5 – 2,5%. Влажность корки к концу выпечки составляет всего 5 – 7%, т.е. корка практически обезвоживается.

Температура корки к концу выпечки 160 – 240°C. Выше этой температуры корка обычно не нагревается, так как подводимое к ней тепло расходуется на испарение влаги, перегрев проникающего пара, а также на образование мякиша. При этом в поверхностном слое заготовки и в корке происходят клейстеризация и декстринизация крахмала, денатурация белков, образование ароматических и темноокрашенных веществ и удаление влаги. В первые минуты выпечки в результате конденсации пара крахмал на поверхности заготовки клейстеризуется, переходя частично в растворимый крахмал и декстрины. Жидкая масса растворимого крахмала и декстринов заполняет поры, расположенные на поверхности заготовки, сглаживает мелкие

неровности и после обезвоживания придает корке блеск и глянец. Денатурация (свертывание) белковых веществ на поверхности изделия происходит при температуре 70 – 90°C. Наряду с обезвоживанием верхнего слоя свертывание белков способствует образованию плотной неэластичной корки.

При выпечке внутри тестовой заготовки подавляется бродильная микрофлора. Вначале выпечки жизнедеятельность дрожжей и бактерий повышается, в результате чего активизируются спиртовое и молочнокислое брожение. При температуре 55 – 60°C отмирают дрожжи и нетермофильные молочнокислые бактерии. В результате активизации дрожжей и бактерий в начале выпечки незначительно увеличивается содержание спирта, оксида углерода и кислот, что положительно влияет на объем и качество хлеба. Активность ферментов в каждом слое выпекаемого изделия сначала повышается и достигает максимума, а затем падает до нуля, так как ферменты, являясь белковыми веществами, при нагревании свертываются и теряют свойства катализаторов. Значительное влияние на качество изделия может оказывать активность α -амилазы, так как этот фермент сравнительно устойчив к нагреванию. Крахмальные зерна при температуре 55 – 60°C и выше клейстеризуются. В зернах крахмала образуются трещины, в которые проникает влага, отчего они значительно увеличиваются в объеме. При клейстеризации крахмал поглощает как свободную влагу теста, так и влагу, выделенную свернувшимися белками. При уменьшении влаги свободной влаги, поэтому мякиш хлеба становится сухим и не липким.

Влажность мякиша горячего хлеба (в целом) повышается на 1,5 – 2,5% за счет влаги, перешедшей из верхнего слоя заготовки. Из-за недостатка влаги клейстеризация крахмала идет медленно и заканчивается только при нагревании центрального слоя теста-хлеба до температуры 96 – 98°C. Выше этого значения температура центра мякиша не поднимается, так как мякиш содержит много влаги, и подводимое к нему тепло затрачивается не на нагревание влаги, а ее испарение. При выпечке ржаного хлеба происходит не

только клейстеризация, но и кислотный гидролиз некоторого количества крахмала, что увеличивает содержание декстринов и сахаров в тесте-хлебе.

Объем выпеченного изделия обычно на 10 – 30% больше объема тестовой заготовки перед посадкой ее в печь. Увеличение объема происходит главным образом в первые минуты выпечки в результате перехода спирта в парообразное состояние при температуре 79°C, а также теплового расширения паров и газов в тестовой заготовке. Увеличение объема теста хлеба улучшает внешний вид, обеспечивает необходимую пористость и повышает усвояемость изделия. Достаточно высокая температура пода и стенок формы (около 200°C) вызывает интенсивное образование паров и газов в нижних слоях теста. Пары, устремляясь вверх, увеличивают объем заготовки.

Уменьшение массы теста при выпечке – упек, определяется разностью между массой тестовой заготовки перед посадкой в печь и вышедшим из печи готовым горячим изделием, выраженное в процентах к массе заготовки.

Основная причина упека – испарение влаги при образовании корок. В незначительной степени упек обусловлен удалением из тестовой заготовки спирта, оксида углерода, летучих кислот и других летучих веществ. Исследования показали, что в течение выпечки из теста-хлеба удаляется 80% спирта, 20% летучих кислот и практически все количество углекислоты. Величина упека для разных видов хлебных изделий находится в пределах 6 - 12%.

Под режимом выпечки понимают ее продолжительность, а также температуру и влажность среды в разные периоды выпечки или в разных зонах пекарных камер с перемещением тестовых заготовок. Режим выпечки каждого вида изделия имеет свои особенности, на него влияют физические свойства теста, степень расстойки заготовок и другие факторы.

Цель работы

Изучение процесса выпечки, выбор оптимального режима выпечки хлеба.

Задачи работы

1. Экспериментальное измерение температур на периферии и в центре тестовой заготовки в процессе выпечки.
2. Расчет количества энергии, затраченного на расстойку и выпечку хлеба.

Описание экспериментальной установки

Смотри лабораторную работу № 7.

Методика выполнения работы

1. Ознакомится с задачами лабораторной работы, устройством и назначением основных узлов экспериментальной установки, требованиями техники безопасности.
2. Записать в отчет по лабораторной работе цель и задачи, краткие сведения, наименование, массу и рецептуру выбранного хлеба, номер соответствующей программы выпечки (приложение 6). Перенести в отчет схему установки и таблицу
3. Включить установку в сеть автоматическим выключателем «Сеть».
4. Включить электропитание кнопкой ВКі. При этом активизируются панель управления печи.
5. Подключить автоматизированный стенд к USB разъему компьютера и запустить программу Пуск → Программы → MeasLAB → «Выпечка». Для более подробного знакомства с программным обеспечением, откройте описание «Руководство по работе с программным обеспечением».
6. Запустить компьютерную программу непрерывной регистрации и обработки результатов измерений активировав иконку Старт, на экране компьютера. При этом на экране будут отображаться значения силы тока, потребляемого печью, и температур в печи.

Внимание: не устанавливать во внутреннюю камеру датчики высоты и вращения.

7. Можно продолжить работу и выпекать хлеб из заготовки теста сделанной в ЛР1, тогда запустить программу №14 «Выпечка» или запустить новую программу.

7. Имплантировать (установить) термопары T_2 , на поверхности заготовки и T_3 в центре (рис. 26).
8. Оценить готовность тестовой заготовки к выпечке легким нажатием на поверхность тестовой заготовки. При недостаточной расстойке следы от нажатия выравниваются быстро, при нормальной медленно, а при избыточной - следы не исчезают.
9. Наблюдать характер протекания процесса выпечки и изменений температуры печи и внутри тестовой заготовки через смотровое окно, по показаниям цифровых измерительных приборов и на лицевой панели компьютерной системы измерения.
10. Зафиксировать и занести в табл. 10 время выхода на установившийся температурный режим выпечки - τ_y . ($\tau_2-92 - 95^\circ\text{C}$).
11. Цифровые приборы и компьютерная система продолжают измерять и фиксировать наблюдаемые параметры.
12. Обратит внимание на тенденции изменения температур в центре и на периферии хлеба до завершения процесса выпечки и остывании хлеба.
13. Сделать самостоятельные выводы о направлении тепловых потоков в первом и втором случае.
14. Звуковой сигнал о завершении выпечки свидетельствует о возможности измерить окончательную высоту приготовленного хлеба — h_k .
15. При охлаждении выпеченного хлеба до T_2 до $50 - 60^\circ\text{C}$ отключить установку от питающей сети.
16. Открыть крышку печи. Освободить хлеб от имплантированных датчиков, вынуть его из печи, взвесить, определить высоту хлеба и увеличение его объема в %.
17. Сделать оценку возможности сбережения энергии за счет использования тепла, аккумулированного печью при достижении температуры $95-100^\circ\text{C}$ в центральной части выпекаемого хлеба.
18. Ответить на контрольные вопросы и сделать самостоятельные выводы по лабораторной работе.

Обработка опытных данных и составление отчета

Оценить степень увеличения объема тестовой заготовки в процессе расстойки - выпечки хлеба (%) и занести полученный результат в табл. 9.

Таблица 9 - Результаты измерений параметров выпечки

время	Средняя температура печи	Изменения температуры и объема				hk, мм	I, А
		T ₁	T ₂	T ₃	Прирост объема, упек хлеба		
мин	°С	°С	°С	°С	%		
Предварительная расстойка							
5			-	-			
10			-	-			
20			-	-			
30			-	-			
Окончательная расстойка							
40							
50							
60							
70							
80							
90							
100							

Контрольные вопросы

4. Какую роль в процессе производстве хлеба играет окончательная расстойка тестовых заготовок?
5. Как определяет степень нормальной расстойки? К каким последствиям может привести «недостаточно правильная» расстойка?
6. Как изменяются в процессе расстойки масса и объем тестовой заготовки?
7. Какие процессы происходят при выпечке внутри заготовки? Можно ли сказать, что они происходят одновременно?
8. Как формируется поле температур внутри заготовки теста-хлеба в начале выпечки и после выключения печи? Можно ли считать, что в тот момент процесс выпечки уже закончен?
9. Как изменяются масса и объем тестовой заготовки в процессе выпечки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вобликова, Т. Процессы и аппараты пищевых производств: учебное пособие / Т. Вобликова, С. Шлыков, А. Пермяков. — СПб.: Лань, 2019. — 204 с.
2. Процессы и аппараты пищевых производств / Плаксин Ю. М., Малахов Н. Н., Ларин В. А.; 2-е изд., перераб. и доп. — М.: КолосС, 2007. — 760 с.: ил. — (Учебники и учебные пособия для студентов высш. учеб. заведений).
3. Процессы и аппараты пищевых производств : учебное пособие : [16+] / авт.-сост. Е.С. Нечаева ; Кемеровский государственный университет. — Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2018. — 184 с. : ил., схем., табл. — Режим доступа: по подписке. — URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=574114> (дата обращения: 08.10.2020). — Библиогр. в кн. — ISBN 978-5-8353-2367-8. — Текст : электронный.
4. Процессы и аппараты пищевых производств : учебное пособие : [16+] / Д.М. Бородулин, С.А. Ратников, Е.А. Вагайцева, М.Т. Шульбаева ; Кемеровский государственный университет. — Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2018. — 263 с. : ил., схем., табл. — Режим доступа: по подписке. — URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=574113> (дата обращения: 17.10.2020). — Библиогр.: с. 184-185. — ISBN 978-5-8353-2277-0. — Текст: электронный.
5. Горбатюк В. И. Процессы и аппараты пищевых производств. — М.: Колос, 1999. — 335 с.: ил. — (Учебники и учеб. пособия для студентов средних специальных учебных заведений).
6. Машины и аппараты пищевых производств. В 2 кн. Кн. 2: Учеб. для вузов / С. Т. Антипов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков и др.; Под ред. акад. РАСХН В. А. Панфилова. — М.: Высш. шк., 2001. — 680 с.: ил.
7. Процессы и аппараты пищевой технологии: учебное пособие / Г. Д. Кавецкий, Б. В. Васильев. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Колос, 2000. - 551 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1. Изучение процесса адсорбции

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2. Исследование процесса экстрагирования

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3. Изучение влияния способов нагрева на процесс сушки материалов

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4. Исследование процесса расстойки

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5. Исследование процесса выпечки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ