

Авторефер.

Н-53

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
им. М. В. ЛОМОНОСОВА

Аспирант О.В. НЕПОМНЯЩИЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
БРИКЕТИРОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ
ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ.

(Специальность № 05,175-Машины и аппараты
пищевой промышленности)

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Переучет 1989

Одесса-1972

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
им. М. В. ЛОМОНОСОВА

Аспирант О.В. НЕПОМНЯЩИЙ

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
БРИКЕТИРОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ
ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

(Специальность № 05,175-Машины и аппараты
пищевой промышленности)

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

✓ 011996

Одесский технологический
институт пищевой промышлен-
ности им. М. В. Ломоносова
БИБЛИОТЕКА

Одесса-1972

Автор. ✓ 011996
Н-53 Непомящій О.В.
Иссл. процесса брик
1972 5/4

Работа выполнена на кафедре технологического оборудования пищевых производств Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Н.В. Морозов.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Платонов П.Н.,
кандидат технических наук, доцент Чмырь А.Д.

Ведущее предприятие – Одесский завод пищевых концентратов.

Автореферат разослан "20" ~~мая~~ мая 1972 г.

Защита диссертации состоится на заседании совета Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова
"23" июня 1972 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Письменный отзыв на реферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью учреждения, просим направить в совет института по адресу:

г. Одессе, ТСП-510, ул. Свердлова, 112

Ученый секретарь совета Л.А. Запорожец

БР 04220. Подписано к печати 12.V.72 г.
Объем 1,5 авт.л. Зак. №93, тир. 220.

Ротапринт ин-та "Пищепромавтоматика"
г. Одесса, Краснова, 6.

Главная задача девятой пятилетки состоит в том, чтобы обеспечить значительный подъем материального и культурного уровня жизни народа на основе высоких темпов развития социалистического производства, повышения его эффективности, научно-технического прогресса и ускорения роста производительности труда. Материальной основой технического перевооружения всего народного хозяйства является машиностроение. Его главная задача – обеспечить все отрасли высокоэффективными машинами и оборудованием. Необходимо, чтобы производительность новых машин, их экономичность и надежность была более высокой, а стоимость единицы мощности и материалоемкость снижалась.

Для обоснованного проектирования и создания надежного, экономичного прессового оборудования для брикетирования пищевых концентратов, необходимо знание физико-механических свойств продуктов, подвергающихся брикетированию, зависимости удельного объема или плотности брикета от давления прессования, величины давления прессования, обеспечивающей получение прочного брикета заданных размеров, упругого последствие брикета и т.д.

Цель настоящей работы состоит в исследовании процесса брикетирования некоторых пищевых концентратов для получения данных необходимых для обоснованного расчета и проектирования прессового оборудования.

В качестве исследуемых продуктов были использованы пищевые концентраты: "каша гречневая", "каша перловая", "каша рисовая", "кисель плодово-ягодный". Характеристики продуктов, подвергающихся брикетированию, соответствовали МРТУ-18/160-66, группа Н-33. В частности, влажность составляла для концентратов из гречневой, рисовой и перловой крупы - 11%, плодово-ягодного киселя - 9,5%.

Брикетирование как способ обработки дисперсных сыпучих материалов получил широкое распространение в промышленности: пищевой /пищевые концентраты, сахар, соль, отруби, комбикорма и т.д./, сельскохозяйственной /сено, солома, грубые корма/, машиностроительной /порошковая металлургия, металлическая стружка/, лесоперерабатывающей /древесные отходы, опилки/, топливной /уголь торф/, строительной, химической и т.д.

Уменьшение удельного объема материала, придание ему необходимой формы и прочности, удобной для его дальнейшего применения, снижение расходов при транспортировании и хранении, улучшение условий хранения далеко не полный список достоинств брикетирования, обеспечивающих такое широкое распространение этого способа обработки сыпучих материалов.

Понятен и интерес к исследованию процесса брикетирования, проявленный советскими и зарубежными учеными, целью которого является создание высокопроизводительного и экономичного оборудования для брикетирования.

Вопросам прессования различных дисперсных материалов посвящено большое количество исследований. Г.И.Аксенов, М.Ю.Бальшин, Г.М.Жданович, К.А.Конопицкий, Н.Ф.Кунин, Г.А.Меерсон, В.С.Раковский и др. исследовали процесс прессования металлических порошков

и их смесей; М.Г.Акопов, Л.А.Лурье, К.Кегель исследовали процесс брикетирования угля. Процесс прессования сахара изучали Д.З.Новиков, А.Н.Степанов, Д.М.Руб, торфа - Б.А.Богатов, М.Г.Булышко, Б.И.Зыков; отрубей и комбикормов - М.И.Зайцев, Г.Л.Фарбман; древесных отходов - Г.И.Гарасевич, А.Н.Ерошкин и т.д.

Сведения по исследованиям брикетирования пищевых концентратов в литературе отсутствуют.

На процесс брикетирования диспергированных материалов влияют, как физико-механические свойства продукта, так и условия осуществления самого процесса. Коэффициент бокового давления материала, трение материала о стенки матрицы, его влажность и температура, режим прессования, характеризующийся скоростью наращивания давления, времени выдержки брикета под давлением, числом нагружений и т.д. в той или иной мере оказываются на уплотнении сыпучего материала под действием давления.

Основной характеристикой процесса брикетирования является зависимость уплотнения материала от давления прессования при конкретных условиях. Знание этой зависимости, а также величины упругого последствие брикета, делает возможным определение конструктивных размеров прессующего органа, величины давления прессования, при котором будет получен брикет необходимой прочности и плотности, анализ энергетических затрат процесса прессования.

Построение математической модели процесса прессования дисперсных материалов весьма затруднительно ввиду сложности самого процесса. Уплотнение дисперсных материалов под давлением происходит за счет изменения относительного расположения отдельных

Как указывалось выше, в литературе отсутствуют данные по исследованию процесса брикетирования пищевых концентратов, а ознакомление с исследованием процесса брикетирования других материалов убеждает нас в специфичности этого процесса для различных материалов.

Как следует из таблицы №1, карусельный пресс отечественного производства для брикетирования пищевых концентратов имеет более низкий показатель эффективности по сравнению с карусельными прессами зарубежного производства. Это говорит о резервах, имеющихся в конструкции прессы по металлоемкости и энергоемкости, и о том, что при проектировании этого прессы не было достаточно данных для обоснованного его проектирования. Таким образом, необходимость исследования процесса брикетирования пищевых концентратов очевидна.

Программа исследования и экспериментальная установка

В задачу исследования входило определение:

- 1) зависимости удельного объема продукта /брикета/ от давления прессования;
- 2) коэффициента трения продукта о стенки матрицы и его изменение в зависимости от давления прессования;
- 3) коэффициента бокового давления продукта и его зависимости от давления прессования;
- 4) величины и характера упругого последствия брикета;
- 5) давления прессования, необходимого для получения прочного брикета;
- 6) влияния температуры продукта на его уплотнение, на прочность и плотность брикета;
- 7) влияния времени нагружения и выдержки брикета под давлением, а также числа циклов нагружений на характеристики брикета;
- 8) влияния характера прессования /двустороннее или одностороннее/, массы брикета и площади поперечного сечения матрицы на характеристики брикета;
- 9) распределения давления прессования по высоте брикета;
- 10) остаточного бокового давления брикета в матрице после снятия нагрузки.

Для выполнения программы исследования была спроектирована и изготовлена экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 1. Гидравлические цилиндры I, I2 и запорные

вентили 10, 13 позволяют осуществить одно и двустороннее прес-
сование. Сменные матрицы и пуансоны, величина хода плунжеров
гидроцилиндров дают возможность варьировать начальный об"ем
продукта и сечение матрицы. Насосы 8, 14 создают давление в гид-
роцилиндрах. Датчики 2 измеряют боковое давление, а датчики
4, 9 - давление в верхнем и нижнем гидроцилиндре. Датчик 3 контро-
лирует высоту брикета под давлением. Программный механизм 7
поддерживает заданный режим прессования. Прессование осуществля-
лось в стальных матрицах с чистой рабочей поверхностью ∇ 7

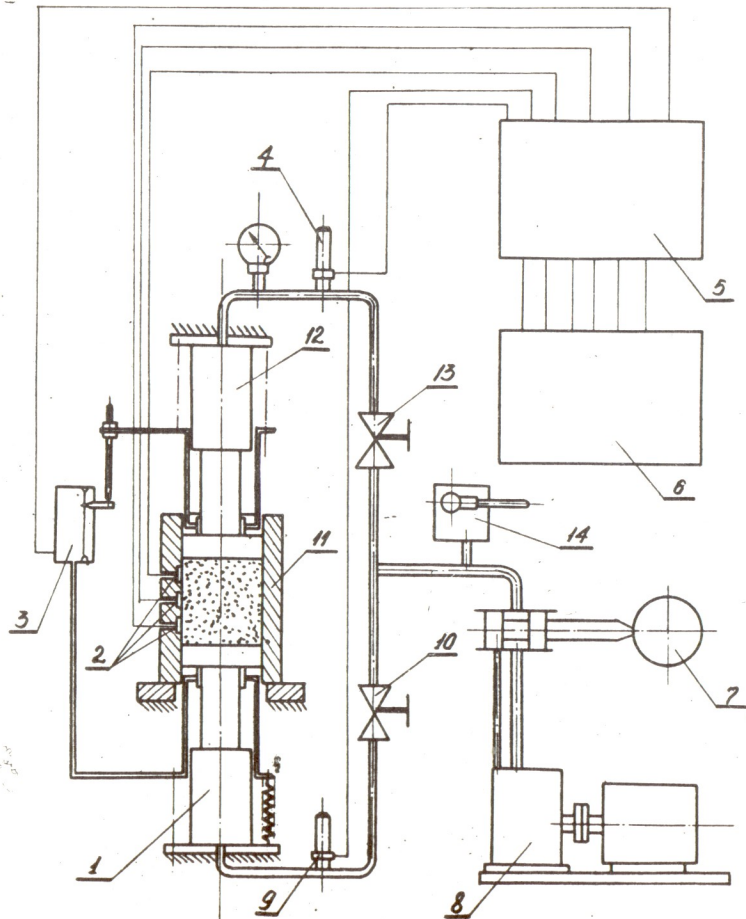


Рис. 1.

Для измерения параметров процесса прессования были разра-
ботаны и изготовлены несколько типов датчиков. Усилие прессова-
ния определялось через давление масла в прессующем гидроцилиндре,
измеряемое тензометрическим датчиком, упругим элементом которо-
го является полый цилиндр. На наружную поверхность цилиндра накле-
ена бифилярная обмотка из константовой проволоки. Боковое
давление измерялось тензометрическим датчиком мембранного типа.
Конструкция датчика позволяла устанавливать его в различных мес-
тах боковой поверхности матрицы в специальных гнездах. Измерение
высоты брикета осуществлялось датчиком реостатного типа. Выход-
ная характеристика его соответствовала тензометрическим датчикам,
что позволило использовать одну и ту же вторичную аппаратуру. Ре-
гулирование температуры матрицы производилось дифференциальной
термопарой медь-константан, работающей в комплекте с электронным
потенциометром типа ЭПП-09 м.

Все тарировочные графики датчиков имеют характер прямой
зависимости за исключением датчиков бокового давления, у которых
зависимость выходного сигнала от давления несколько отклоняется
от прямой.

Для усиления сигнала, поступающего с датчиков, использовал-
ись многоканальные тензометрические усилители марок 8АЗНЧ-7м,
ТА-5, УТ-4-1. Для регистрации показаний датчика использовались,
в зависимости от длительности процесса, магнитоэлектрический
светолучевой осциллограф Н-700 и многоточечный уравновешенный
электронный мост переменного тока типа ЭМП-09.

Объемная масса продукта определялась обычным способом.

Плотность продукта ρ_m определялась на специально изготовленном приборе, с помощью которого измерялся объем V_m , занимаемый предварительно взвешенным продуктом M .

$$\rho_m = \frac{M}{V_m}$$

Прочность брикета определялась на сжатие - σ . Брикет нагружался известным усилием Q по всей его поверхности S_{sp} до разрушения.

$$\sigma = \frac{Q}{S_{sp}}$$

Этот показатель использовался для сравнительной оценки прочности брикетов, полученных при различных условиях прессования.

Методика проведения эксперимента и экспериментальные данные

Определенная порция продукта, взвешенная на технических весах ВК-Т2 с точностью до 0,1 гр., помещалась в стальную матрицу, с чистой поверхностью $\nabla 7$. Подвижным дном матрицы является нижний пуансон, который с помощью гидронасоса с ручным приводом устанавливается таким образом, что при максимальном уплотнении продукта, датчики бокового давления не выходят из контакта с прессуемым продуктом. В процессе прессования наблюдается скольжение продукта относительно датчиков бокового давления в пределах 5 + 10 мм.

Продукт засыпался в матрицу свободно, без уплотнения, с равномерным распределением по поперечному сечению матрицы. Изменяемые величины записывались на ленте осциллографа либо электронного моста.

Согласно программе исследования было проведено 19 серий экспериментов, в которых варьировался продукт, характер прессования, масса продукта, режим прессования, температура и т.д.

Под давлением прессования понималось

$$P = \frac{F}{F}$$

где F - усилие прессования;

F - площадь поперечного сечения матрицы.

Удельный объем продукта определялся как

$$v = \frac{F \cdot h_p}{M}$$

где M - масса прессуемой порции продукта;

h_p - высота брикета под давлением P .

Коэффициент бокового давления φ и коэффициент трения f продукта находились из соотношений

$$\varphi = \frac{P_b}{P}; \quad f = \frac{T}{F_b}$$

где P_b - давление на стенки матрицы /боковое давление/;

T - сила трения брикета о стенки матрицы.

$$F_b = P_b S$$

где F_b - /суммарное/ усилие на стенки матрицы;

S - площадь соприкосновения брикета с матрицей.

Величина T определялась как разность между усилием прессования F_b развиваемого верхним прессующим пуансоном, и усилием F_n , действующим на нижний пуансон при одностороннем прессовании.

Для определения φ величина P_b бралась по показаниям датчика, ближайшего к плоскости прессующего пуансона.

Для определения f величина P бралась как средне-арифметическое показаний всех датчиков бокового давления, установленных в матрице на разной высоте по оси брикета.

Полученные осциллограммы обрабатывались. Для каждого значения ряда давлений прессования /аргумента/ определялось среднее арифметическое значение измеряемого параметра \bar{a} , стандарт σ , предельная погрешность экспериментальной средней Δ . Повторность эксперимента была десятикратной, что обеспечивало в пределах 95% вероятности предельное отклонение экспериментальной от средней генеральной совокупности $\pm 10,6+6\%$.

В результате обработки экспериментальных данных были получены экспериментальные значения φ и f , представленные на рис. 2

С увеличением давления прессования наблюдается увеличение f и уменьшение φ .

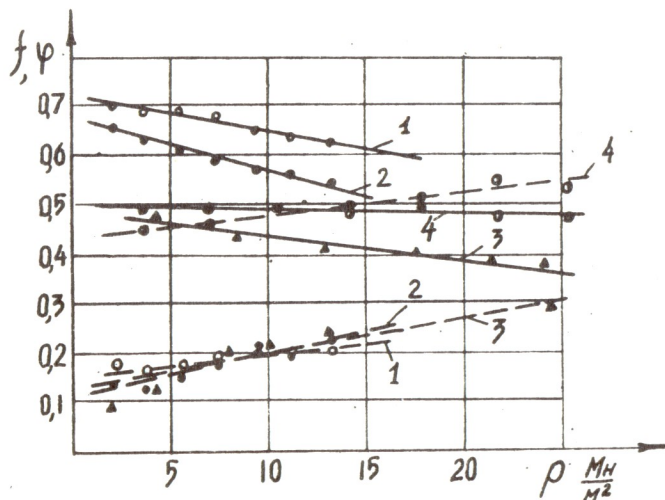


Рис. 2

- | | | | | |
|---|---|---------------------------------|-----|-----------|
| 1 | - | пищеконцентрат "каша гречневая" | — | φ |
| 2 | - | " " "перловая" | — | φ |
| 3 | - | " " "рисовая" | — | φ |
| 4 | - | " " "кисель плодово-ягодный" | --- | f |

Было установлено, что в исследованных пределах $M=0,12 + 0,485 \text{ кг}$, $F = 42,8 \text{ IO} + 81 \text{ IO м}^2$ / удельный об"ем продукта практически не зависит от характера прессования /одностороннее, двустороннее/ и начального об"ема /массы/ продукта.

Уплотнение продукта в матрице с меньшим сечением несколько больше при соответствующих давлениях. Это можно об"яснить большей неравномерностью распределения давления прессования по об"ему, прессовки в матрице с большим сечением /Б.А.Богатов/.

Исследование влияния времени наращивания давления прессования /1+60 сек/ и температуры продукта /20+40°/ на удельный об"ем продукта в функции от давления прессования указало на отсутствие такого влияния для исследуемых продуктов.

Определение влияния величины давления прессования на плотность, прочность и упругое последствие брикета /рис.3/ показало, что:

- 1) как и следовало ожидать, с ростом давления прессования растет плотность ρ_{sp} и прочность σ_{sp} готового брикета;
- 2) между плотностью и прочностью брикета существует прямая зависимость;
- 3) величина упругой деформации брикета после разгрузки с течением времени изменяется незначительно;
- 4) Абсолютное значение упругой деформации при различных давлениях в исследуемом интервале P практически постоянно;
- 5) приращение об"емной деформации брикета под давлением в исследуемом интервале P близко по величине к приращению остаточной об"емной деформации брикета после разгрузки;
- 6) плотность отпрессованного продукта увеличивается относительно исходной, но в исследуемом интервале давлений прессования

/ 15 + 30 Мн/м²/ изменяется незначительно, т.е. пластическая деформация зерен продукта практически отсутствует;

7) в брикете находится значительное количество воздуха / 15% /.

Как следует из пунктов 4 и 5, в исследуемом интервале ρ происходит в основном пластическая деформация брикета

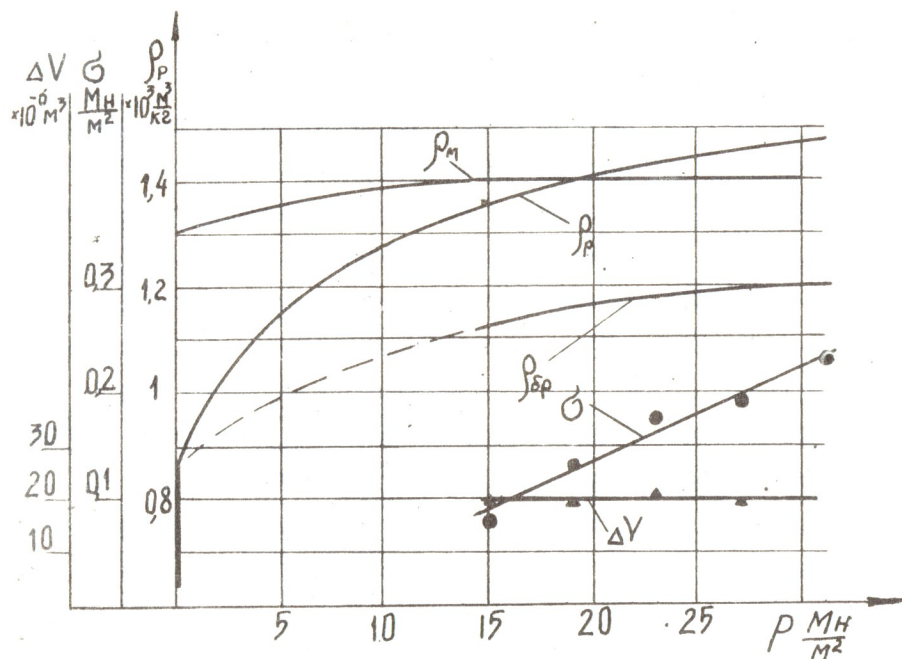


Рис. 3.

Из пункта 6 следует, что пластическая деформация брикета в данном случае происходит не за счет объема зерен продукта. Очевидно, пластическое уплотнение брикета обусловлено формоизменением гранул, частичным их разрушением с последующей более плотной укладкой под действием давления. Собственно, этим можно

объяснить увеличение прочности брикета. Взаимное защемление и заклинивание частиц увеличивает прочность их связи.

Исследование влияния других факторов на плотность, прочность и упругое последствие брикета дало такие результаты.

Плотность брикета растет, а относительная деформация упругого последствия ϵ - уменьшается незначительно с переходом от одностороннего к двустороннему прессованию и уменьшением массы прессуемого продукта при одном и том же сечении матрицы.

С повышением температуры прессуемого продукта плотность и прочность брикета несколько увеличивается, а ϵ - уменьшается, т.е. доля пластической деформации в общей деформации брикета увеличивается.

Изменение режима прессования влияет на плотность, прочность и упругое последствие брикета. Это влияние более выражено при меньших давлениях прессования и большей массе продукта, подвергающегося прессованию.

Увеличение времени наращивания давления прессования / до 60 сек/ и времени выдержки брикета при максимальном давлении /до 15 сек./ практически не сказывается на конечной плотности брикета.

Увеличение числа циклов нагружения брикета приводит к его упрочнению, но при этом резко возрастает расход энергии на прессование в связи с расходом энергии на повторную деформацию брикета. Обмер размеров брикета после извлечения его из матрицы показывает, что вся деформация упругого последствия проявляется в увеличении высоты брикета. Это объясняется тем, что до 85% деформации упругого последствия происходит в пространстве, ог-

раниченном стенками матрицы. Реализация упругого последействия брикета только в одном направлении вызывает, очевидно, относительное перемещение частиц, нарушает сложившуюся структуру брикета, тем самым снижая его прочность. Серия экспериментов, позволившая получить брикет с реализацией упругого последействия вне матрицы, подтверждает это предположение.

Энергетический анализ процесса брикетирования

Зависимость удельного объема продукта от давления прессования.

Как уже указывалось выше, основной характеристикой процесса брикетирования является зависимость уплотнения материала от давления прессования. Нам представляется, что наилучшим образом такая зависимость выполнит свое назначение, если она будет выражена в виде зависимости $v_p = u(p)$, где v_p удельный объем продукта. Во-первых, при малом варьировании поперечных размеров матрицы и высоты брикета можно ожидать, что такая зависимость с достаточной точностью опишет всю совокупность употребляющихся в практике размеров брикетов, во-вторых, путем простейших математических преобразований этой зависимости легко получить необходимые сведения об энергетике процесса.

При движении прессующего пуансона, частички материала двигаются, практически, не оказывая сопротивления этому движению до тех пор, пока переукладка частиц не закончится. Условно можно процесс переукладки считать первым этапом брикетирования, за которым следует второй этап, сопровождающийся деформацией частиц продукта, при повышающемся сопротивлении их сжатию. При некоторой величине напряжений, испытываемых частицами, их материал начи-

нает течь, появляются нарастающие пластические деформации, сопровождающиеся формоизменением и дальнейшим снижением величины пустот в сыпучем продукте - это третий этап, которым, обычно, заканчивается процесс брикетирования пищевых продуктов.

Из такого схематичного поэтапного разделения процесса вытекает, что изменение объема продукта лишь во втором этапе может быть описано обычным реологическим уравнением зависимости объема от давления, в целом же при брикетировании требуется экспериментальное исследование и поиск вида уравнения с наилучшим приближением описывающего зависимость объема продукта от сжимающего усилия.

С учетом дилатансии, упругой и пластической деформации частичек продукта, была получена зависимость удельного объема

v от давления прессования p .

$$v_p = v_0(1-\theta) \left[(1+a)(e^{-k_1 p} - c p^d) + g e^{-m p} \right], \quad (2)$$

где v_0 - начальный удельный объем;

θ, a, c, g, d, m, k - постоянные.

Это уравнение с достаточной точностью отражает экспериментальные данные. Однако использование этого уравнения для практических расчетов и энергетического анализа процесса брикетирования затруднительно из-за его громоздкости и большого числа постоянных, что заставляет искать зависимость $v_p = u(p)$ методом обработки экспериментальных данных в более удобном для практики виде.

Основным свойством исследованных материалов является уменьшение v_p продукта от начального v_0 до v_p при давлении p

практически равном 0. Дальнейшее уменьшение объема вызывается ростом давления. Вид экспериментальной кривой на участке $v_0' - v_p$ /пищеконцентрат "каша гречневая", рис. 4 / подобен графику показательной функции. В результате обработки экспериментальных данных методом наименьших квадратов были получены уравнения:

1) для пищеконцентрата "каша гречневая"

$$v_p = (0,65 + 0,41 e^{-0,11p}) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}; \quad (3)$$

2) для пищеконцентрата "каша перловая"

$$v_p = (0,72 + 0,48 e^{-0,1p}) 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}; \quad (4)$$

3) для пищеконцентрата "каша рисовая"

$$v_p = (0,68 + 0,3 e^{-0,09p}) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}; \quad (5)$$

4) "кисель плодово-ягодный"

$$v_p = (0,64 + 0,28 e^{-0,1p}) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (6)$$

Уравнения 13-61 приводятся к общему виду

$$v_p = \xi v_0 (A + B e^{-bp}), \quad (7)$$

где $\xi = \frac{v_0'}{v_0}$ - коэффициент укладки,

$$A = \frac{v_{np}}{v_0'}; \quad B = 1 - A,$$

v_{np} - условный предельный удельный объем при бесконечно большом давлении.

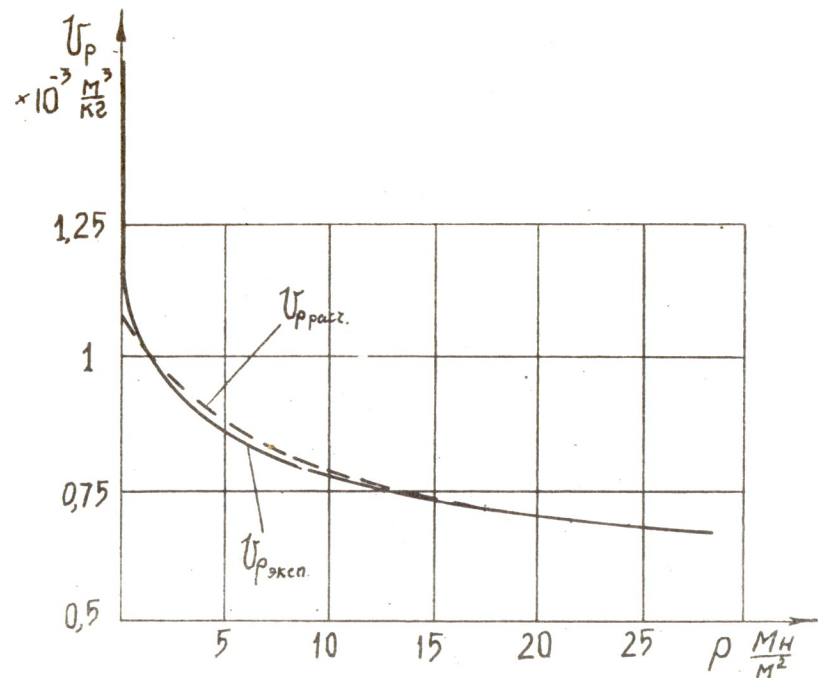


Рис. 4.

Работа и мощность процесса брикетирования.

Уравнение профиля кулака брикетировочного пресса.

На изменение удельного объема продукта в матрице брикетировочного пресса от величины v_{p_1} до v_{p_2} на 1кг продукта затрачивается работа

$$A_{\text{уд}} = \int_{v_{p_1}}^{v_{p_2}} p dv_p. \quad (8)$$

Заменяя dv_p его значением из уравнения 171, получаем

$$A_{\text{уд}} = \int_{p_1}^{p_2} \xi v_0 B v p e^{-bp} dp$$

и после интегрирования в границах от $p_1 = 0$ до некоторого давления p полная удельная работа прессования до давления p

$$A_{\text{уд}} = -B \xi v_0 \frac{e^{-bp}(bp+1)-1}{b}. \quad (9)$$

Для каждого мгновения процесса мощность, определяемая как

$$N_{yg} = \frac{dA_{yg}}{d\tau} = p \frac{dV_p}{d\tau} \quad (10)$$

Так как в процессе брикетирования давление повышается, то при постоянной скорости движения прессующего пуансона, как это имеет место, например, в прессе Б6-ПК2Т, мощность процесса повышается с повышением давления к концу брикетирования, что с точки зрения конструирования машины и её эксплуатации крайне нежелательно. Величина неравномерности ε довольно значительна.

$$\varepsilon = \frac{N_{max} - N_{min}}{N_{cp}} \quad (11)$$

где N_{max} - мощность процесса при максимальном давлении прессования p_{max} ;

N_{min} - мощность процесса при $p = 0$;

N_{cp} - средняя мощность процесса, определяемая как $N_{cp} = \frac{A_{ygk}}{\tau_k}$;

A_{ygk} - удельная работа за время прессования τ_k .

Например, для пшеничного концентрата "кисель плодово-ягодный" $\varepsilon > 3$.

Для проектирования процесса прессования с $N = Const$ во всём диапазоне давлений, необходимо уменьшение скорости движения пуансона с повышением давления. Уравнение движения пуансона, которое также является уравнением профиля прессующего кулака брикетировочного пресса для пшеничных концентратов, при условии

$$N_{yg} = \frac{dA_{yg}}{d\tau} = \frac{N_{ygk}}{\tau_k} = Const, \quad (12)$$

где τ_k - время прессования от V_0 до конечного объёма V_k ,

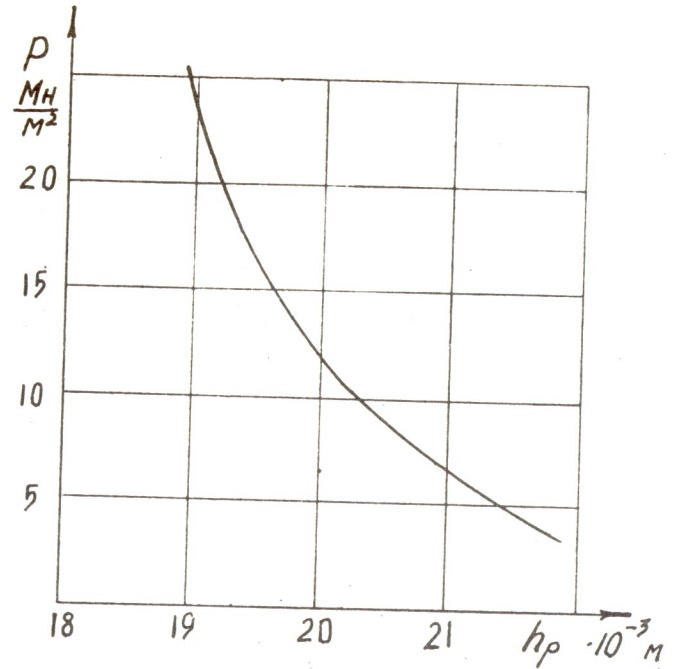


Рис. 5.

можно получить, используя уравнение /10/ и /7/ в виде

$$K_{\tau} \left[1 + \left(\frac{\Delta V_p}{\Delta V_k} - 1 \right) \ln \left(1 - \frac{\Delta V_k}{\Delta V_p} \right) \right] = K_{\Delta V} + \left(\frac{\Delta V_p}{\Delta V_k} - K_{\Delta V} \right) \ln \left(1 - \frac{K_{\Delta V} \Delta V_k}{\Delta V_p} \right), \quad (13)$$

- где $K = \frac{\tau}{\tau_k}$ - безразмерное время;
- τ - текущее значение времени прессования;
- $K_{\Delta V} = \frac{\Delta V_p}{\Delta V_k}$ - доля изменения удельного объема за время τ , соответствующее давлению p ;
- $\Delta V_p = V_0 - V_p$ - абсолютное уменьшение удельного объема при давлении p ;

$\Delta V_k = \int V_0 - V_k$ - абсолютное уменьшение удельного объема при конечном давлении брикетирования P_k ;

$\Delta V_{np} = \int V_0 B$ - абсолютное уменьшение удельного объема при $P \rightarrow \infty$

С помощью этого уравнения определяется профиль прессующего кулака брикетировочного пресса для пиллеконцентратов, при котором пресс будет работать в равномоном режиме.

при прессовании в матрице с постоянным сечением

$$K_{\Delta V} = K_{\Delta h} = \frac{h}{H_k}$$

где H_k - полное изменение высоты брикета от объема $V_0 M$ до объема $V_k M$;

h - изменение высоты брикета, соответствующее времени τ_i ;

M - масса брикета.

Задавая значениями $K_{\Delta V}$ и решая уравнение (13), получим соответствующие значения K_{τ} . координаты профиля прессующего кулака при постоянной угловой скорости карусели определяются из

$$l_i = K_{\tau_i} \tau_i, \quad (14)$$

где l_i, τ_i - длина развертки прессующего кулака, соответствующая времени τ_i и τ_k .

$$h_i = K_{\Delta V_i} H_k, \quad (15)$$

где h_i - высота профиля прессующего кулака, соответствующая времени τ_i .

на участке $V_0 - V_0'$ где изменение объема брикета происходит практически без давления, профиль кулака может выполнять-

ся в виде наклонной прямой, угол наклона которой выбирается из конструктивных соображений и условий работы пары кулачек-пуансон.

Влияние технологического допуска длины пуансона в сборе на давление брикетирования.

На рис. 5 представлен график, построенный на основании экспериментальных данных брикетирования пиллеконцентрата "кисель плодово-ягодный", из которого следует, что для незначительного уменьшения высоты брикета в зоне рекомендуемого конечного давления / для киселя плодово-ягодного $16 \div 18 \text{ Мн/м}^2$ / требуется значительное увеличение давления брикетирования.

Например, чтобы уменьшить высоту брикета, полученного при $P = 16 \text{ Мн/м}^2$, на 1 мм, необходимо повысить давление до 35 Мн/м^2 , /рис. 5/.

Различие в длине пуансонов брикетировочного карусельного пресса с жестким прессующим кулаком приводит к тому, что на различных парах пуансонов получают различной высоты брикеты и, следовательно, развивается различное по величине давление брикетирования, в том числе значительно больше необходимого.

из этого следует необходимость установления жесткого технологического допуска на длину прессующего пуансона в сборе во избежание перегрузок пресса и поломки его деталей.

Выводы и предложения

1. С увеличением давления прессования наблюдается увеличение коэффициента трения брикета /продукта/ о стенки матрицы и уменьшение коэффициента бокового давления продукта.
2. В исследованных пределах $M = 0,12 \pm 0,5$ кг, $t^{\circ}C = 20 \pm 40^{\circ}$, время наращивания давления $\tau = 1 \pm 60$ сек /удельный объем продукта в функции от давления прессования практически не зависит от характера прессования /одностороннее или двустороннее/, начальной массы продукта и его температуры и времени наращивания давления прессования.
3. Как и следовало ожидать, с ростом давления прессования растет плотность и прочность брикета. Между прочностью брикета и его плотностью существует прямая зависимость. Для получения брикета, имеющего прочность достаточную для его дальнейшей обработки, необходимы давления прессования:

для пищевого концентрата "каша гречневая"	- 18 ± 20 Мн/м ²
" " "каша рисовая"	- 15 ± 16 Мн/м ²
" " "каша перловая"	- 18 ± 20 Мн/м ²
" " "кисель плодово-ягодный"	- 16 ± 18 Мн/м ²

Удельный объем продукта при этом определяется уравнениями /3-6/.
4. Плотность брикета растет, а относительная деформация упругого последствия ϵ уменьшается незначительно с переходом от одностороннего к двустороннему прессованию и уменьшением массы прессуемого продукта при одном и том же сечении матрицы. Повышение температуры прессуемого продукта /крупные

концентраты/ от 20 до 40^oC. Несколько увеличивает плотность и прочность брикета, однако при $t = 30^{\circ}C$ наблюдается потеря жира.

Увеличение времени наращивания давления прессования от 1 сек до 60 сек и времени выдержки брикета под максимальным давлением от 1 сек до 15 сек незначительно сказывается на конечной плотности брикета.

Увеличение числа циклов нагружения брикета при одном и том же давлении приводит к его упрочнению, но при этом резко возрастает расход энергии на прессование.

Все изложенное позволяет рекомендовать брикетирование исследуемых продуктов осуществлять при $t = 30^{\circ}$ в режиме: повышение давления 0,5+1 сек, выдержка под конечным давлением прессования 0,5+1 сек, при одностороннем прессовании.

5. При снятии давления с брикета, находящегося в матрице, вся упругая деформация проявляется в увеличении высоты брикета, что снижает его прочность. Способ разгрузки брикета и удаления его из матрицы влияет на его конечную плотность и прочность при прочих равных условиях. Рекомендуется осуществлять сброс давления до $p = 0$ с последующим удалением брикета из матрицы без нарушения его контакта с верхним и нижним пуансоном до полного извлечения из матрицы, что значительно увеличивает его прочность.
6. Полученные значения коэффициентов трения и бокового давления для исследованных продуктов рекомендуется использовать при проектировании брикетировочных прессов.

7. Энергозатраты на процесс брикетирования исследуемых продуктов следует определять по уравнению /9/. Применение уравнения /13/ для определения профиля кулака брикетировочного пресса при условии равномоного режима прессования даст возможность облегчить конструкцию брикетировочного пресса и повысить надежность его работы.
8. Во избежание перегрузок брикетировочного пресса и поломки его деталей следует установить жесткий технологический допуск на общую длину прессующего пуансона в пределах $0,004 \pm 0,005$ *мм*.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах.

1. Морозов Н.В., Непомнящий О.В.,
Экспериментальное исследование брикетирования пищевых продуктов.
Известия вузов СССР. Пищевая технология. 1970 № 4.
2. Морозов Н.В., Непомнящий О.В.
О профиле прессующего кулака брикетировочного пресса.
Известия вузов СССР. Пищевая технология. 1970 № 5.

Результаты исследований доложены и обсуждены.

1. На XXXIII отчетной научной конференции ОТИПХП в 1969 г.
2. На XXXI научной конференции ОТИ им. М.В. Ломоносова, посвященной 100-летию со дня рождения В.И. Ленина, в 1970 г.
3. На XXXII научной конференции ОТИПХП им. М.В. Ломоносова, в 1971 г.