

Автореф
Т 82

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

УДК 664.859:635.64:532.517.135

ТУЛЬЧЕНЕЦКИЙ Михаил Борисович

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОМАТОПРОДУКТОВ
И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НА ИХ ОСНОВЕ РАСЧЕТА
АППАРАТОВ ДЛЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Специальность 05.18.12 - процессы и аппараты
пищевых производств

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1989

СМ

Работа выполнена в Одесском технологическом институте
пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор В.З. Геллер

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор А.М. Маслов
доктор технических наук,
профессор Л.И. Карнаушенко

Ведущая организация: Научно-производственное объединение
"Консервапромкомплекс", г. Одесса

ОНАХТ 21.05.12
Реологические харак
v016582



v016582

Защита состоится "10" июня 1989 г. в 12³⁰ часов

на заседании специализированного совета Д 068.35.01 при Одес-
ском технологическом институте пищевой промышленности им. М.В.
Ломоносова, 270039, г. Одесса, ул. Свердлова, 112.

Повернуть книгу не позднее указанного термина.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одним из путей выполнения Продовольственной программы СССР и решений мартовского (1989 г.) Пленума ЦК КПСС является внедрение высокоэффективного оборудования и новых прогрессивных технологий во всех отраслях агропромышленного комплекса, в том числе и в консервной промышленности. Развитие этой отрасли создает условия для обеспечения населения продуктами питания в соответствии с физиологическими нормами и сбалансированным рационом питания независимо от времени и района выращивания пищевого сырья.

Наиболее распространенным видом пищевого сырья для консервной промышленности являются томаты, а томатопродукты составляют около 25 % консервированных продуктов, выпускаемых предприятиями Госагропрома СССР. Ежегодно в СССР перерабатывается около 2,5 млн т томатов.

С целью более полной переработки и уменьшения потерь, связанных с несвоевременной переработкой, необходимо создавать современное высокопроизводительное оборудование, совершенствовать технологию. Для реализации этой цели в промышленности находят применение методы мембранной технологии, внедряются секционные протирочные машины и другие технологические процессы, в которых происходит полное или частичное разделение протертой томатной массы (ТМ) на клеточный сок и мякоть.

Однако, решение задачи создания оборудования, реализующего новые технологии, сдерживается отсутствием систематизированных и достоверных данных о реологических характеристиках (РХ) ТМ, что не позволяет правильно рассчитать необходимое оборудование и выдать рекомендации конструкторам для его разработки. Между тем, конструкторский расчет оборудования для таких технологий, базирующийся на справочных данных без оценки правильности отношения этих данных к перерабатываемым средам, может привести к значительным ошибкам.

Все это дает основание полагать, что выполненное в соответствии с межотраслевой комплексной программой "Пищевые продукты" Государственного Комитета СССР по стандартам (коды заданий 01.01.06, 01.01.10, 01.02.05, 01.03.04 и 01.04.03) исследование, направленное на получение достоверных сведений о РХ томатопродуктов (ТП) и совершенствование расчета новых видов оборудования,

с. № 016582 ✓

Одесский технологический институт

является актуальным и своевременным.

Цель работы. Целью настоящей работы является совершенствование расчета процессов и аппаратов для реализации новых технологий производства ТП на основе исследований РХ ТМ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: дать обоснование параметров идентификации ТМ при определении их РХ; разработать экспериментальную установку и методику получения достоверных экспериментальных данных о РХ ТП; исследовать вязкость клеточного сока томатов при различных значениях массовой доли растворимых сухих веществ и температуре; изучить влияние изменения параметров идентификации на РХ ТМ; обосновать и выбрать реологическое уравнение состояния ТМ и разработать методику расчета РХ; усовершенствовать методику реодинамического расчета аппаратов для обработки ТМ; провести расчет мембранного аппарата на основе разработанной методики.

Научная новизна. Выявлены причины появления ошибок при экспериментальном исследовании РХ ТМ методами ротационной вискозиметрии и определены условия получения достоверных экспериментальных данных. Получены новые, систематизированные данные о РХ ТМ в диапазоне температур 30...80 °С при изменении массовой доли растворимых сухих веществ от 6 до 30 % и массовой доли мякоти от 0 до 100 %. Установлено, что наибольшее влияние на РХ ТМ оказывает массовая доля мякоти. Показано, что представление РХ в виде функции от трех параметров идентификации (C , M , T) позволяет проводить инженерные расчеты с требуемой для решения практических задач точностью. Разработана методика расчета РХ ТМ. Усовершенствована методика реодинамического расчета установки для мембранной обработки ТМ.

На защиту выносятся: конструкция ротационного вискозиметра для определения РХ пищевых материалов; набор параметров идентификации ТМ; необходимый и достаточный для расчета РХ с требуемой в инженерных приложениях точностью; экспериментальные данные и методика расчета РХ по параметрам идентификации; методика реодинамического расчета аппаратов для мембранной технологии.

Практическая ценность работы и реализация полученных результатов. Разработан ротационный вискозиметр для определения РХ широкого класса ТП, включая ТМ с низким содержанием мякоти, что позволило провести все измерения на одном реометре. Новизна технических решений, реализованных в конструкции вискозимет-

ра, защищена авторским свидетельством.

Получены данные о РХ ТМ. Расширены возможности использования методики определения массовой доли мякоти в соках с мякотью для высококонцентрированных ТП.

На основе полученных расчетных зависимостей РХ усовершенствован реодинамический расчет аппаратов для мембранной обработки ТМ. Разработанная методика расчета РХ и результаты реодинамических расчетов мембранных установок использованы в исходных требованиях на комплекс оборудования для производства концентрированного томатного сока и томатной пасты высокой концентрации производительностью 2800 кг/ч по готовому продукту, разработанные ВНИПИ НПО "Консервпромкомплекс" согласно соглашению о сотрудничестве стран-членов СЭВ по совершенствованию технологии и техники в области хранения и переработки плодов и овощей.

В результате разработки и внедрения одного указанного комплекса оборудования годовой экономический эффект составит от 390 тыс. руб. до 680 тыс. руб. в зависимости от варианта комплекса. Доля экономического эффекта, полученная в результате использования результатов работы, составляет 3,9...6,8 тыс. руб. на один комплекс в год.

Апробация работы. Результаты работы были доложены на II Всесоюзной научно-технической конференции "Теоретические и практические аспекты применения методов инженерной физико-химической механики с целью совершенствования и интенсификации технологических процессов пищевых производств" (Москва, 1986 г.), республиканской конференции молодых ученых и специалистов по ускорению создания и освоения новой техники, технологии и повышения качества готовой продукции пищевой промышленности в свете решений XXII съезда КПСС (Тбилиси, 1987 г.), Всесоюзной школе-семинаре "Тепломассообменные ресурсосберегающие технологии переработки сельскохозяйственного сырья" (Москва, 1987 г.), Всесоюзном семинаре "Интенсификация и автоматизация технологических процессов обработки пищевых продуктов" (Москва, 1988 г.), УШ Всесоюзной конференции по теплофизическим свойствам веществ (Новосибирск, 1988 г.), ежегодных научно-технических конференциях ОТИШ им. М.В. Ломоносова (Одесса, 1986-1988 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 3 печатные работы и получено I авторское свидетельство.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 159 страницах машинописного текста и содержит 9 таблиц и 22 рисунка. Список литературы включает 94 наименования, в том числе 34 зарубежных авторов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность, дана общая характеристика и сформулирована цель работы.

Первая глава посвящена вопросу развития новых технологий в производстве ТП и обеспеченности данными о теплофизических и реологических свойствах ТМ для расчета аппаратов, реализующих новые технологии. Дан краткий анализ работы традиционной технологической схемы переработки томатов и производства концентрированных ТП методами термического выпаривания в вакуум-выпарных аппаратах и показано, что дальнейшее совершенствование их конструкций не дает существенного улучшения технико-экономических показателей. В связи с этим в настоящее время при переработке томатов находят применение новые технологии, в том числе финиширование на секционных протирочных машинах, позволяющее на выходе из протирочного агрегата получать ТМ с различным содержанием мякоти; сепарирование центрифугированием мякоти ТМ; отжим под прессом отходов протирочных агрегатов, увеличивающий содержание жидкой фазы в ТМ; мембранная обработка и др. Внедрение новых методов переработки ведет к созданию комплексных технологических схем и линий производства ТП, позволяющих получать продукты высокого качества при меньших затратах.

При реализации новых технологий в отличие от способа термического выпаривания, при котором в ТМ происходит пропорциональное увеличение содержания растворимых сухих веществ и мякоти, эти показатели изменяются независимо друг от друга. В связи с этим для расчета и проектирования технологического оборудования требуется информация о теплофизических и реологических свойствах объектов переработки.

В диссертации дан анализ имеющихся в литературе данных о химическом составе, теплофизических и реологических свойствах ТМ. Показано, что по РХ наблюдаются значительные (в 10 раз и более) расхождения между данными разных авторов, что не позво-

ляет использовать существующую информацию для расчета реологических и теплообменных процессов и реализующих их аппаратов с достаточной для решения современных прикладных задач точностью. Кроме того, полученные в результате использования новых технологий ТМ отличаются от продуктов, полученных методом термического выпаривания (высокое содержание мякоти при низкой концентрации растворимых сухих веществ; низкое содержание мякоти при высокой концентрации растворимых сухих веществ). Для таких ТМ исследования реологических характеристик не проводились.

На основе проведенного аналитического исследования сформулированы задачи диссертации.

Вторая глава посвящена выбору метода экспериментального определения РХ ТМ; описанию конструкций экспериментальных установок, реализующих выбранный метод, и методике обработки экспериментальных данных.

Выделены две группы причин расхождения данных о РХ: идентификационные, связанные с неправильной или недостаточной идентификацией ТМ, и приборно-методические, связанные с погрешностью используемых приборов, несоответствием методик проведения экспериментов и обработки экспериментальных данных выбранному методу и объекту исследования.

Анализ первой группы причин расхождения данных о РХ ТМ показал, что использование в ряде работ сведений о сорте томатов, количестве солнечных дней в сезон выращивания, климатических условиях и др. не может дать объективных характеристик для идентификации ТМ. Идентификация по массовой доле растворимых сухих веществ и температуре позволяет характеризовать только дисперсионную среду (клеточный сок). Таким образом, для полной идентификации ТМ при определении РХ необходимо ввести параметр, идентифицирующий ее по объемной доле дисперсной фазы. В качестве такого параметра был выбран показатель массовой доли мякоти, определяемый по ГОСТ 8756.10-70 "Метод определения содержания мякоти", позволяющий дать объективную сравнительную характеристику ТМ.

Таким образом, в результате проведенного анализа параметрами, идентифицирующими ТМ при определении РХ, приняты массовая доля растворимых сухих веществ C (ГОСТ 8756.2-82); массовая доля мякоти M (ГОСТ 8756.10-70); температура T .

Для экспериментального исследования РХ ТМ выбран метод ротационной вискозиметрии. Исследования проводились на установке, главной частью которой являлся вискозиметр новой конструкции (рис.1). Отличительной особенностью вискозиметра является то, что подвеска электродвигателя и элементов, закрепленных на нем, позволяет ввести в качестве опоры вала внутреннего цилиндра радиальный газовый подшипник 3 и, таким образом, снизить паразитный момент трения, расширить диапазон исследуемых материалов, включая маловязкие (до $\eta = 10^{-3}$ Па·с). В ряде опытов для решения методических вопросов использовались ротационный вискозиметр "Рестест-2" и капиллярный вискозиметр ВПН-1 с "висячим" уровнем.

Выполненные исследования показали, что влиянием таких методических факторов как эффект "пристенного скольжения", течение материала не во всем зазоре в связи с наличием предельного напряжения сдвига у концентрированных ТП, соизмеримость величины зазора вискозиметра с характерными размерами частиц дисперсной фазы можно пренебречь при проведении исследований на вискозиметре с величиной зазора $4 \cdot 10^{-3}$ м.

Для получения кривых течения и представления их в виде реологического уравнения $\tau = f(\dot{\gamma})$ (где τ - напряжение сдвига, Па; $\dot{\gamma}$ - скорость сдвига) входящие в него величины определялись на основании экспериментально полученных данных о значениях момента сдвига $M_{сд}$ и угловой скорости вращения ω по следующим формулам:

$$\tau = \frac{M_{сд}}{2\pi R_g^2 h + \frac{\pi^2 R_g^3}{2}}; \quad (1)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{\omega}{\ln S} \left[1 + m \ln S + \frac{1}{3} (m \ln S)^2 + \frac{(\ln S)^3}{3} \frac{dm}{d \ln S} \right]; \quad (2)$$

где

$$m = \frac{d \ln \omega}{d \ln \tau}; \quad S = \frac{R_n}{R_g};$$

R_g, R_n - радиусы внутреннего и наружного цилиндров вискозиметра, м; h - высота слоя материала в зазоре, м. Преимуществом данного подхода к расчету $\dot{\gamma}$ является отсутствие необходимости предварительного выбора реологической модели мате-

риала. Разработана программа для расчета $\dot{\gamma}$ на ЭВМ СМ1403.

В третьей главе приводятся результаты экспериментального исследования, анализ и расчет погрешности измерений. Исследуемые образцы ТМ получали непосредственно с консервных заводов, производящих томатную пасту ("Ильичевский" и "Петродолинский"), а также готовили на опытных установках в ОТИП им. М.В. Ломоносова и ВНИИКИ НПО "Консервпромкомплекс". Обработка томатов до пульпообразного состояния проводилась по стандартной технологии. Концентрирование лабораторных образцов проводили на вакуумно-роторном испарителе ИР-1 при температуре 60°C .

Учитывая ограниченность данных по вязкости клеточного сока томатов, были получены данные по вязкости в диапазонах концентраций сухих веществ $C = 6...43\%$ и температур $T = 20...85^\circ\text{C}$. Полученные данные позволили сделать вывод о ньютоновском типе течения всех исследованных образцов и получить аналитическую зависимость

$$\eta \cdot 10^4 = \exp\left(\sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 a_{ij} C^i T^j\right), \quad (3)$$

где η - коэффициент динамической вязкости, Па·с;

$$a_{10} = -620,2; \quad a_{11} = 3,477; \quad a_{12} = 0,1105; \quad a_{20} = 3,766 \cdot 10^5; \\ a_{21} = 2046.$$

Среднее квадратическое отклонение расчетных значений вязкости от полученных в эксперименте составляет 1,7%.

Для получения сведений о РХ ТМ с учетом технологических особенностей их производства исследовались образцы в следующих диапазонах параметров идентификации: $C = 6...30\%$; $M = 0...100\%$; $T = 30...80^\circ\text{C}$.

Полученные результаты экспериментального исследования РХ ТМ представлены частично на рис.2 и 3. Как видно, влияние массовой доли растворимых сухих веществ на РХ ТМ по сравнению с влиянием массовой доли мякоти невелико. В работе приводятся данные о влиянии температуры. Анализ и расчет погрешности измерений выполнен в соответствии с ГОСТ 8.207-76. Расчет погрешности проведен в условиях, при которых погрешность имеет значения, близкие к наибольшим. Максимальная общая относительная погрешность измерений напряжения сдвига и угловой скорости вращения составляет, соответственно 5,8% и 1,1%.

Четвертая глава посвящена выбору реологического уравнения

томатной массы и разработке методики расчета реологических характеристик. Проведен анализ уравнений расчета вязкости пищевых масс, в результате которого сделан вывод о том, что эта проблема не имеет достаточно общего теоретического обоснования или эмпирического обобщения. Показано, что наиболее адекватными для томатной массы являются двухпараметрическое уравнение Оствальда-де Вилля

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (4)$$

и трехпараметрическое уравнение Гершеля-Балкли

$$\tau = \tau_0 + K \dot{\gamma}^n, \quad (5)$$

где K - коэффициент консистенции, Па·с ; n - индекс течения; τ_0 - предельное напряжение сдвига, Па.

В связи с тем, что уравнение (5) характеризует реологические свойства в процессе активного механического разрушения структуры материала, а τ_0 экспериментально определяется в неразрушенной структуре и с большой погрешностью, то введение в уравнение (4) τ_0 , не имеющего физического смысла и представляющего собой эмпирический коэффициент, является нецелесообразным. Следует отметить, что по имеющимся литературным данным величина τ_0 для томатных масс незначительна. Это подтверждается также тем, что ТМ не обладают формосохраняющей способностью. Таким образом, в качестве реологического уравнения состояния ТМ выбрано уравнение (4).

Для разработки методики расчета РХ полученные экспериментальные данные были обработаны по уравнению (4) для определения значений K и n . При помощи ЭВМ получены зависимости РХ от параметров идентификации. Результаты представлены на рис. 4 и 5. Изменение C и T влияния на индекс течения не оказывает.

Таким образом, реологическое уравнение состояния томатных масс можно представить в виде

$$\tau = f(\dot{\gamma}, C, M, T).$$

Для расчета РХ получены зависимости

$$\begin{aligned} n &= 10,3M^{-1,02} && \text{при } 10\% \leq M < 100\% \\ n &= 1 && \text{при } 0\% < M < 10\% \end{aligned} \quad (7)$$

$$K = \exp\left(\sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{l=0}^3 a_{ijl} C^i M^j T^l\right), \quad (8)$$

где

$$\begin{aligned} a_{000} &= -3,4905 & a_{021} &= 4,8966 \cdot 10^{-6} & a_{110} &= -9,4719 \cdot 10^{-3} \\ a_{001} &= 3,0179 \cdot 10^{-4} & a_{030} &= 2,2834 \cdot 10^{-5} & a_{111} &= 2,5560 \cdot 10^{-5} \\ a_{010} &= 2,9384 \cdot 10^{-1} & a_{031} &= -2,7646 \cdot 10^{-8} & a_{120} &= 1,8795 \cdot 10^{-4} \\ a_{011} &= -2,6005 \cdot 10^{-4} & a_{100} &= 1,5392 \cdot 10^{-1} & a_{121} &= -5,1799 \cdot 10^{-7} \\ a_{020} &= -4,5456 \cdot 10^{-3} & a_{101} &= -4,0312 \cdot 10^{-4} & a_{130} &= -1,1650 \cdot 10^{-6} \\ & & & & a_{131} &= 3,3211 \cdot 10^{-9} \end{aligned}$$

Средняя квадратическая погрешность расчета значений n составляет 17 %, значений K - 15 %.

Пятая глава посвящена практическому использованию результатов работы. Усовершенствована методика реодинамического расчета аппаратов для обработки томатных масс. Проведен расчет ультрафильтрационной установки трубчатого типа, входящей в состав комплекса оборудования для производства концентрированного томатного сока и томатной пасты высокой концентрации производительностью 2800 кг/ч по готовому продукту.

Расчет проводился по следующей методике.

1. Определяются по заданным параметрам C , M и T реологические характеристики K и n .

2. Рассчитывается по обобщенному критерию Рейнольдса значение $Re_{ос}$.

3. Сравнивается полученное значение $Re_{ос}$ с критическим $Re_{кр}$ и определяется тип течения.

4. В зависимости от типа течения производится расчет по существующим методикам для неньютоновских сред.

Результатом расчета является определение потерь давления на трение Δp в модулях ультрафильтрационной установки.

При обработке ТМ в установке происходит отделение жидкой фазы от основного потока, в результате чего в основном потоке повышается содержание мякоти и образуются две фракции, в одной из которых содержание растворимых сухих веществ остается практически постоянным и отсутствует мякоть, а в другой содержание мякоти постоянно возрастает по мере прохождения главного потока от входа к выходу. Конструктивно установка состоит из 12 последовательно соединенных секций, в которых находятся 3 пары параллельно соединенных трубчатых ультрафильтрационных модуля БТУ-05. Исходя из конструкции модулей и технологического процесса, исходные параметры имеют следующие значения: температура ТМ $T = 50$ °С; скорость течения ТМ $U = 3$ м/с; диаметр трубы модуля $d = 0,0125$ м; массовая доля растворимых сухих ве-

ществ $C = 4,5\%$; массовая доля мякоти в первой секции $M_1 = 15\%$; в последней секции $M_{12} = 60\%$.

В результате расчета для первой секции: $K = 0,15$ Па·с; $n = 0,65$; $Re = 3279$; режим течения - турбулентный; $\Delta P = 42,8 \cdot 10^3$ Па. Для последней секции: $K = 36$ Па·с; $n = 0,16$; $Re = 527$; режим течения - ламинарный; $\Delta P = 175 \cdot 10^3$ Па.

Результаты расчета ΔP для всех секций представлены на рис. 6 (кривая 1). Для сравнения проведен расчет на основании справочных данных о РХ ТМ. При тех же исходных данных в справочной литературе не учитывается влияние массовой доли мякоти и связанная с этим степень отклонения от ньютоновского поведения. В результате получается: $\eta = 0,017$ Па·с; $Re = 2228$; режим течения - ламинарный; $\Delta P = 41,7 \cdot 10^3$ Па. Линия 2 на рис. 6 представляет полученный результат.

Как видно из приведенных расчетов, ошибка в определении ΔP для последней секции достигает 320%, что может привести к перегрузке насосов, снижению скорости течения массы в трубах модуля и, следовательно, снижению производительности установки или невозможности ее эксплуатации.

Приведенный реодинамический расчет показывает, что полученные данные о РХ ТМ позволяют обеспечить, в отличие от имеющихся в литературе, необходимую в решении инженерных задач точность реодинамических расчетов. Особенно существенное преимущество дает использование предлагаемых данных и методики расчета для расчета такого типа оборудования новых технологий, как мембранное оборудование. Разработанные методики и методические подходы могут быть использованы для получения аналогичных данных и расчетов оборудования для обработки других видов плодово-овощных масс.

ВЫВОДЫ

1. При определении РХ наиболее значимыми параметрами идентификации ТМ являются массовая доля растворимых сухих веществ, массовая доля мякоти и температура.

2. Разработана новая конструкция ротационного вискозиметра для определения РХ пищевых материалов. Установлено, что при исследовании РХ ТМ методами ротационной вискозиметрии необходимо учитывать отклонения экспериментальных данных, вносимые эф-

фектом "пристенного скольжения", наличием у высококонцентрированных ТМ предельного напряжения сдвига и соизмеримостью величины зазора вискозиметра с определяющими размерами частиц мякоти.

3. Изучены РХ ТМ в диапазоне температур 30...80 °С при изменении массовой доли растворимых сухих веществ от 6 до 30% и массовой доли мякоти от 0 до 100%. Установлено, что наибольшее влияние на РХ ТМ оказывает массовая доля мякоти. Показано, что методика определения массовой доли мякоти в соках с мякотью может быть использована и для концентрированных ТП.

4. Разработана методика расчета РХ ТМ в зависимости от параметров идентификации (массовой доли мякоти, массовой доли растворимых сухих веществ и температуры) на основании реологического уравнения Оствальда-де Вилля.

5. Усовершенствована методика реодинамического расчета аппаратов для обработки ТМ. Методика расчета мембранных аппаратов и сведения о РХ ТМ использованы при разработке исходных требований на комплекс оборудования для производства концентрированного томатного сока и томатной пасты, переданных ВНИИКИ НПО "Консервпромкомплекс" для изготовления фирме "Единство" (СФРЮ). Годовой экономический эффект составит от 390 до 680 тыс. руб. в год в зависимости от варианта комплекта оборудования. Долевой эффект от использования результатов составляет от 3,9 до 6,8 тыс. руб. в год.

Основное содержание работы опубликовано в следующих работах:

1. А.с. № 1392453, СССР, МКИ G 01 V 11/14. -Ротационный вискозиметр /В.З. Геллер, А.К. Пугач, М.Б. Тульченецкий. (СССР). -4060390/31-25. Заявл. 24.04.86. Опубл. 30.04.88. Бюл. № 16.

2. Тульченецкий М.Б., Геллер В.З. Исследование реологических свойств томатной массы. -В об.: Теоретические и практические аспекты применения методов инженерной физико-химической механики с целью совершенствования и интенсификации технологических процессов пищевых производств. II Всесоюзная научно-техническая конференция. Тезисы докладов. -М.: 1986, с.337.

3. Тульченецкий М.Б., Геллер В.З. Реологические свойства томатной пульпы. -Одесса, 1987. -8 с. Деп. в УкрНИИТИ 28.09.87, № 2745-Ук87.

4. Тульченецкий М.Б., Геллер В.З. Исследование реологических свойств концентрированной томатной массы. - Одесса, 1987. - 5 с. Деп. в УкрНИИТИ 28.09.87, № 2744-Укр87.

Конструкция вискозиметра

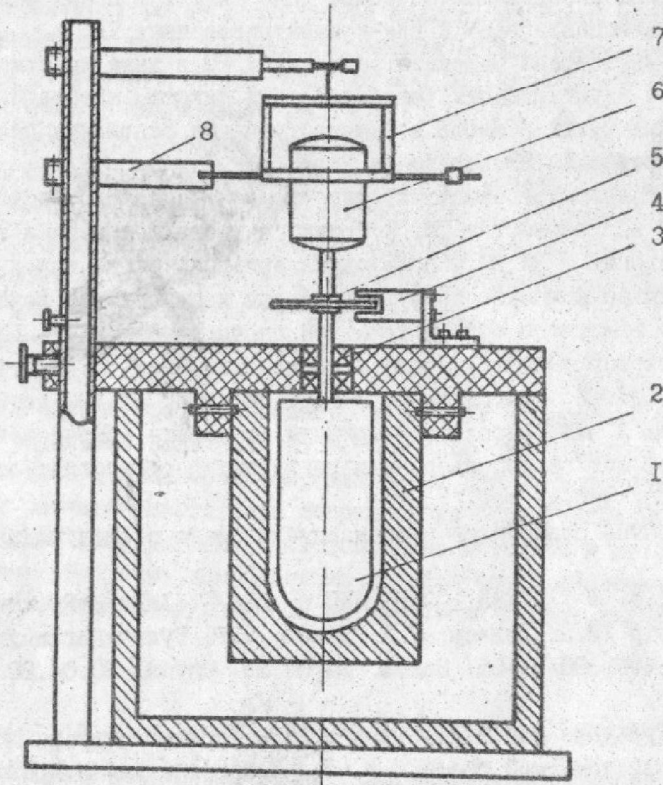


Рис. 1. 1 - внутренний цилиндр; 2 - внешний цилиндр; 3 - газовый подшипник; 4 - фотоэлектронный датчик; 5 - перфорированный диск; 6 - электродвигатель; 7 - П-образная подвеска; 8 - упругий элемент тензодатчика

Влияние массовой доли микстога на реологические характеристики томатной массы

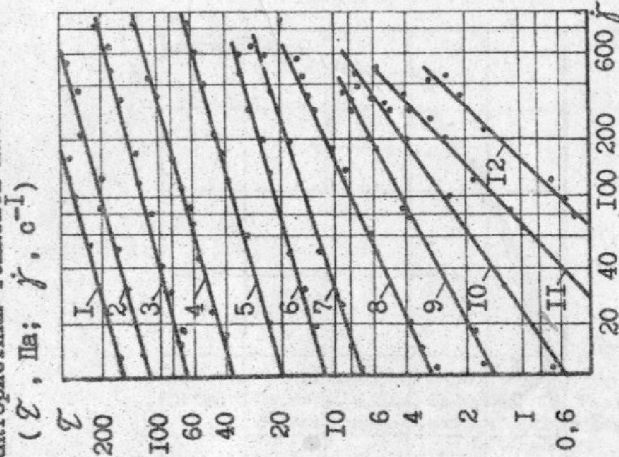


Рис. 2. $T = 30^\circ\text{C}$; $C = 6\%$: I - $M = 100\%$; 2 - $M = 85\%$; 3 - $M = 65\%$; 4 - $M = 45\%$; 5 - $M = 35\%$; 6 - $M = 30\%$; 7 - $M = 25\%$; 8 - $M = 20\%$; 9 - $M = 16,5\%$; 10 - $M = 13\%$; 11 - $M = 10\%$; 12 - $M = 6,5\%$

Влияние массовой доли растворимых сухих веществ на реологические характеристики томатной массы

(Z , Па; $\dot{\gamma}$, с^{-1})

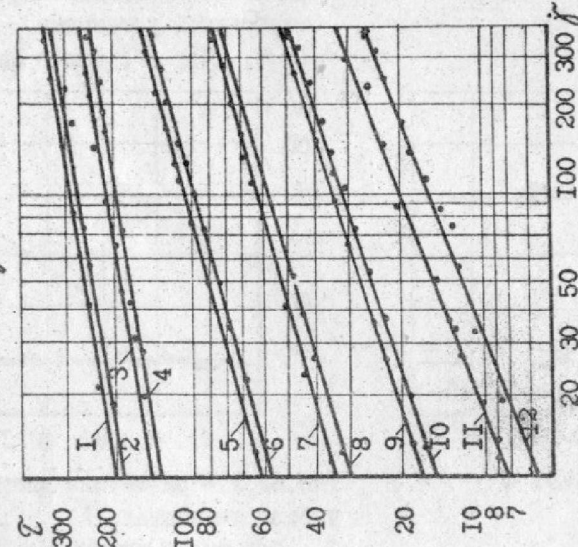


Рис. 3. $T = 30^\circ\text{C}$; 1, 2 - $M = 90\%$; $C = 40\%$, 30%; 3, 4 - $M = 80\%$; $C = 30\%$, 20%; 5, 6 - $M = 50\%$; $C = 30\%$, 20%; 7, 8 - $M = 40\%$; $C = 30\%$, 20%; 9, 10 - $M = 30\%$; $C = 30\%$, 20%; 11, 12 - $M = 25\%$; $C = 30\%$, 15%

Зависимость индекса течения
от массовой доли мякоти
(n ; M , %)

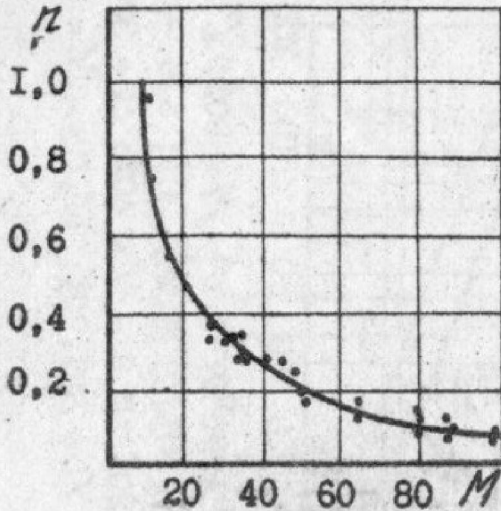


Рис. 4

Результаты расчета потерь
давления в секциях баро-
мембранной установки
(Δp , кПа; N , номер секции)

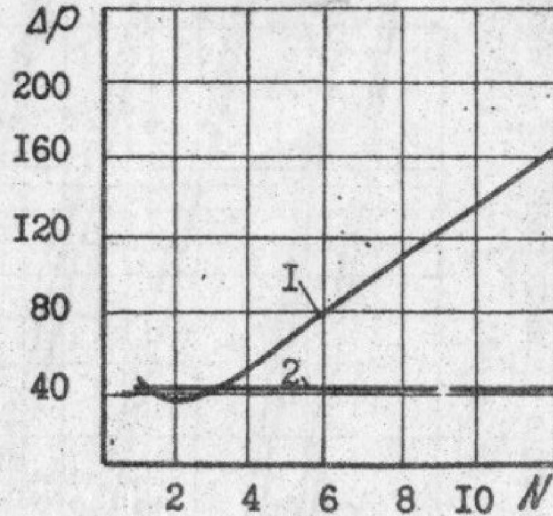


Рис. 6. I - расчетные данные с
учетом изменения M
2 - без учета изменения M

Зависимость коэффициента консистенции
от параметров идентификации
(K , Па·с, M , %)

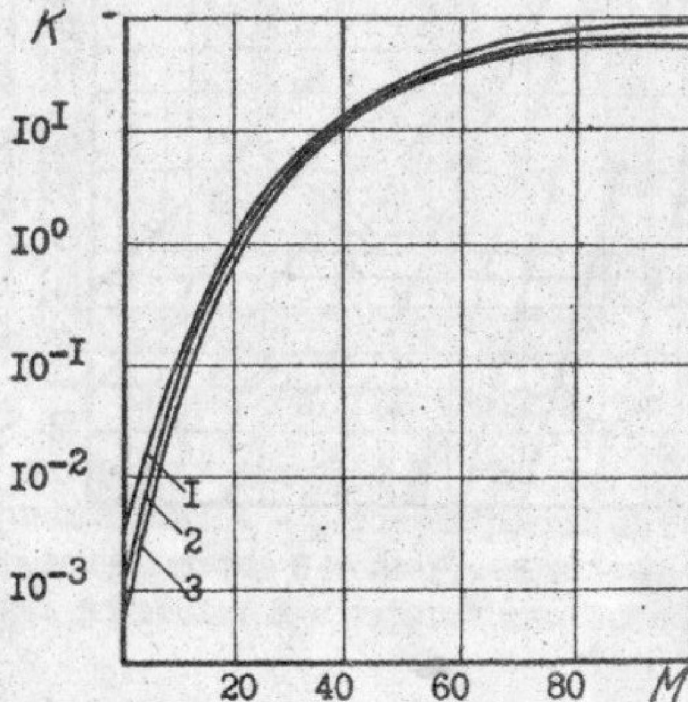


Рис. 5. $T = 30^\circ\text{C}$: 1 - $C = 6\%$; 2 - $C = 15\%$; 3 - $C = 25\%$

Лужин