



УДК 631.3: 621.3.051.51: 637.33

Ш.Г. АЛИЕВ, доктор философии по технике, доцент*Азербайджанский технологический университет*
e-mail: shakiraliyev@mail.ru**ИССЛЕДОВАНИЕ СЖИМАНИЯ ОВОЩНОЙ МЕЗГИ**

Разработана методика расчета и обоснования рабочих органов и их режимов работы для улучшения качества процесса отжима овощной мезги. На основе механической модели мезги составлено уравнение сжатия и проанализирован процесс деформации сжимаемого продукта. Установлено, что при увеличении времени выдержки материала под давлением напряжение в нем уменьшается, стремясь к постоянной величине. Происходит релаксация напряжений. Приведены зависимости давления, необходимого для сжатия овощной мезги, от его начальной и максимальной плотности, конечной плотности мезги от его начальной и максимальной плотности, а также от времени выдержки материала под давлением.

Ключевые слова: овощной сок, мезга, сжатие, давление, плотность, коэффициент восстановления.

Значительную часть овощей и фруктов составляет физиологическая вода, содержащая в себе протеин, углеводы, витамины и минеральные вещества [1–3]. Для здоровья человека достаточно всего несколько граммов физиологической воды, которой особенно богаты овощные соки. Это самая ценная и естественная составная часть всех растительных продуктов, в некоторых соках его содержание достигает 90 % и более. Овощные соки быстро включаются в обмен веществ и почти не требуют от организма энергетических затрат на усвоение. Они корректируют кислотно-щелочное равновесие в крови, способствуют выведению из организма токсинов, повышают активность ферментов, стимулируют пищеварение и очень быстро усваиваются [4].

Мезга, полученная в результате раздавливания овощей, содержит большое количество сока. Использование соковыжималок холодного пресового отжима позволяет сохранить все полезные витамины и ферменты, находящиеся в данном продукте [1, 5].

Процесс прессования раздробленной, термически или ферментной обработанной мезги характеризуется сближением ее частиц под действием сил давления. При этом на внешних и внутренних поверхностях частиц силовым молекулярным полем удерживается сок [6, 7].

Цель работы – выявить закономерности сжатия овощной мезги для обеспечения качества процесса отжима сока, дать обоснование рабочих органов и режимов работы, разработать методику их расчета.

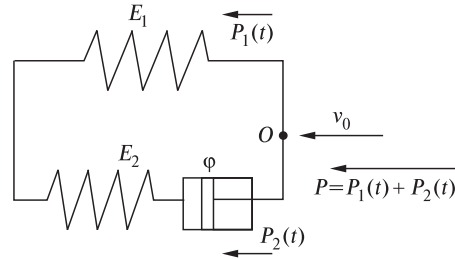
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В начале процесса отжима сок проходит по каналам между частицами мезги, а с началом деформации самих частиц – по капиллярам, составляющим их внутреннюю пористость. В общем случае отжим сока происходит од-

Рис. 1. Схема механической модели мезги

новременно как по каналам между частицами, так и по каналам внутри частиц при сжатии мезги [2, 8, 9].

Для качественного анализа процесса деформации сжатия можно прибегнуть к наглядным аналогиям из области механических систем [10]. В этом случае проявляются упругие свойства как скелета в целом, так и собственно материала. Упруго-пластические свойства позволяют в первом весьма грубом приближении представить мезгу в виде модели (рис. 1), в которой пружины с податливостью E_1 и E_2 служат эквивалентом упругих свойств материала, а катаракт (наполненный вязкой жидкостью цилиндр, в котором перемещается поршень с отверстиями), включенный последовательно с одной из пружин, – пластических.



РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Составим уравнение перемещения точки O модели:

$$P_1(t)E_1 = \vartheta_0 t. \quad (1)$$

Чтобы определить $P_2(t)$, воспользуемся следующими рассуждениями.

При перемещении поршня в катаракте на величину $\int_0^t \varphi P_2(t) dt$ (здесь φ – линейное перемещение поршня в единицу времени под действием силы в 1Н) пружина сожмется на величину $P_2(t)E_2$. Таким образом,

$$P_2(t)E_2 + \int_0^t \varphi P_2(t) dt = \vartheta_0 t. \quad (2)$$

Продифференцировав левую и правую части уравнения (2) по времени, получим

$$\vartheta_0 = P_2(t)E_2 + \varphi P_2(t), \quad (3)$$

или

$$P_2(t) + \frac{\varphi}{E_2} P_2(t) = \frac{\vartheta_0}{E_2}. \quad (4)$$

Общее решение уравнения (4)

$$P_2(t) \left(\int \frac{\vartheta_0}{E} dt \exp \frac{\varphi}{E} dt + C \right) \exp \left(- \int \frac{\varphi}{E_2} dt \right), \quad (5)$$

или

$$P_2(t) = \frac{\vartheta_0}{\varphi} + C \exp \left(\frac{\varphi}{E_2} t \right). \quad (6)$$

Начальные условия уравнения (6): $t = 0$ и $P_2(t) = 0$.

Следовательно,

$$C = \frac{\vartheta}{\varphi} \quad (7)$$

и

$$P_2(t) = \frac{\vartheta_0}{\varphi} \left[1 - \exp\left(-\frac{\varphi}{E_2} t\right) \right]. \quad (8)$$

На основании уравнений (1) и (8)

$$P = P_1(t) + P_2(t) = \frac{\vartheta_0 t}{\varphi} + \frac{\vartheta_0}{\varphi} \left[1 - \exp\left(-\frac{\varphi}{E_2} t\right) \right]. \quad (9)$$

Проанализируем уравнение (8) при условии, что модель сдеформирована на величину x_{\max} и выдерживается под давлением в течение определенного промежутка времени. Тогда выражения (1) и (2) для схемы, изображенной на рис. 1, можно переписать следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} P_{1\max} E_1 &= x_{\max}; \\ P_2(t) E_2 + \int_0^t \varphi P_2(t) dt &= x_{\max}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Дифференцирование левой и правой частей второго уравнения системы (10) по времени дает

$$P_2(t) E_2 + \varphi P_2(t) = 0. \quad (11)$$

Общее решение этого дифференциального уравнения

$$P_2(t) = C \exp\left(-\frac{\varphi}{E_2} t\right). \quad (12)$$

Постоянную интегрирования C находим из начальных условий $P_2(t) = P_{2\max}$ при $t = 0$, т.е. $C = P_{2\max}$. Тогда

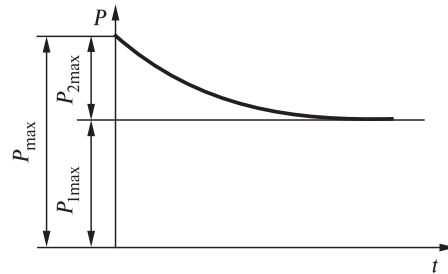
$$P_2(t) = P_{2\max} \exp\left(-\frac{\varphi}{E_2} t\right) \quad (13)$$

и

$$P = P_{1\max} + P_2(t) = \frac{x_{\max}}{E_1} + P_{2\max} \exp\left(-\frac{\varphi}{E_2} t\right). \quad (14)$$

Анализ уравнения (14) показывает, что при увеличении времени выдержки модели под давлением напряжения в ней уменьшается, стремясь к постоянной величине $P_{1\max} = \frac{x_{\max}}{E_1}$. Иными словами, происходит релаксация напряжений – процесс изменения их во времени как результат нарастания пластической деформации. Характер изменения напряжений в модели с увеличением выдержки ее при постоянной деформации графически показан на рис. 2.

Рис. 2. Зависимость напряжений P в мезге от времени t выдержки при постоянной деформации



Поскольку в рассматриваемом нами случае коэффициенты E_1 и E_2 , характеризующие податливость пружин, и коэффициент катаракта φ предполагались постоянными, полученные уравнения применимы для описания процесса сжатия упруго-пластического материала лишь в небольших интервалах изменения плотности, так как экспериментальные исследования показали, что именно плотность определяет поведение всех прочих физико-механических коэффициентов. Чтобы распространить эти уравнения на весь интервал изменения плотности мезги различных овощных культур, деформируемых при выделении сока, необходимо составить исходные уравнения перемещений, записывая входящие в них значения коэффициентов в виде функций плотности, которая, в свою очередь, прямо пропорциональна перемещению или времени. Эти функции должны быть определены экспериментально для каждого конкретного варианта.

Как следует из зависимости (14), при $t = 0$ имеется начальное давление, которое необходимо приложить к материалу, чтобы сжать его до заданной плотности

$$P_{\max} = K[\exp \alpha(\gamma_{\max} - \gamma_0) - 1]. \quad (15)$$

Таким образом, задаваясь максимальной плотностью и зная начальную плотность, всегда можно определить P_{\max} . Выразим в уравнении (14) значения $P_{1\max}$ и $P_{2\max}$ через P_{\max} ($P_{1\max} = mP_{\max}$ и $P_{2\max} = nP_{\max}$), имея при этом в виду, что $m + n = 1$. Обозначим также $\varphi/E_2 = B_t$. Тогда

$$P_t = mP_{\max} + nP_{\max} \exp(-B_t t). \quad (16)$$

Как показали экспериментальные исследования, коэффициенты m и n от P_{\max} не зависят и для каждого материала могут быть приняты постоянными, тогда как B_t – линейная функция P_{\max} (рис. 3), которая может быть описана формулой

$$B_t = b_0 + b_1 P_{\max}, \quad (17)$$

где b_0 и b_1 – эмпирические коэффициенты.

Окончательно

$$P_t = P_{\max} \{m + n \exp[-(b_0 + b_1 P_{\max})t]\}, \quad (18)$$

где t – время выдержки материала под давлением.

После сжатия до максимальной плотности γ_{\max} материал, обладающий упругими свойствами, расширяется, и плотность его достигает конечной γ_k . В этот период (холостой ход) на рабочий орган воздействует давление, изменяющееся от максимального при γ_{\max} до нуля при γ_k .

Для энергетических и технологических расчетов деформирующих рабочих органов необходимо знать закономерности изменения давления и

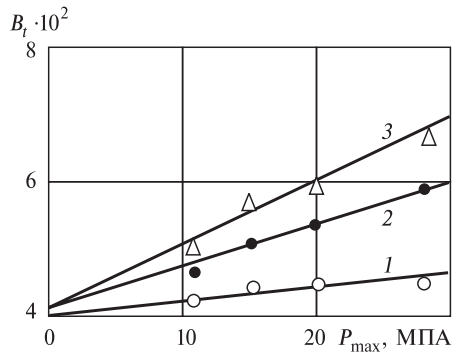


Рис. 3. Зависимость коэффициента B_t от максимального давления P_{max} :
1 – тыквенная мезга; 2 – свекловичная;
3 – морковная

плотности сжатого материала при его восстановлении. Практический интерес представляет конечная плотность материалов при повторных пресованиях. Кроме того, небольшая плотность, до которой материал сжимается в машине, служит определяющим параметром энергетических и прочностных расчетов.

Введем следующие критерии изменения плотности материала при сжатии: $\lambda = \frac{\gamma_{max}}{\gamma_0}$ – коэффициент сжатия и $\lambda_1 = \frac{\gamma_{max}}{\gamma_k}$ – коэффициент восстановления. Результаты многочисленных экспериментальных исследований позволили выразить зависимость между этими коэффициентами:

$$\lambda_1 = \frac{\lambda}{\alpha + \beta\lambda}, \quad (19)$$

где α и β – эмпирические коэффициенты, зависящие от длительности выдержки материала под давлением.

Линейные зависимости указанных коэффициентов выражаются следующим образом:

$$\alpha = \alpha_0 - a_t t \quad (20)$$

и

$$\beta = \beta_0 - a_t t, \quad (21)$$

где α_0 , β_0 и a_t – эмпирические коэффициенты.

И окончательно

$$\lambda_t = \frac{\lambda}{\alpha_0 + \beta_0\lambda + (\lambda - 1)a_t t}. \quad (22)$$

Пользуясь выражениями введенных нами критериев λ и λ_1 , перепишем формулу (22) в виде

$$\frac{\gamma_{max}}{\gamma_k} = \frac{\frac{\gamma_{max}}{\gamma_0}}{\alpha_0 + \beta_0 \frac{\gamma_{max}}{\gamma_0} + \left(\frac{\gamma_{max}}{\gamma_0} - 1 \right) a_t t}. \quad (23)$$

После преобразований получаем

$$\gamma_k = \alpha_0 \gamma_0 + \beta_0 \gamma_{max} + a_t t (\gamma_{max} - \gamma_0). \quad (24)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов исследования и полученных аналитических зависимостей показал, что при одной и той же длительности выдержки сжатого материала под давлением коэффициент восстановления по мере роста коэффициента сжатия увеличивается. Иными словами, чем больше диапазон изменения плотности при сжатии материала от γ_0 до γ_{\max} , тем меньше его конечная плотность. Увеличение длительности выдержки позволяет получить более высокую конечную плотность γ_k при тех же значениях γ_0 и γ_{\max} .

Полученные зависимости служат исходными данными для разработки методики технологических, энергетических и прочностных расчетов различных рабочих органов прессующих аппаратов для получения сока различных овощей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Самсонова А.Н., Ушаева В.Б. Фруктовые и овощные соки // Техника и технология. – М.: Агропром, 1990. – 287 с.
2. Шобингер У. Фруктовые и овощные соки: научные основы и технологии / пер. с нем; под общ. науч. ред. А.Ю. Колеснова, Н.Ф. Берестня и А.В. Орошенко. – СПб.: Профессия, 2004. – 640 с.
3. Шамнюк Л.Н., Спиричев В.Б. Соки и напитки как источник витаминов в питании человека // Вопр. питания. – 1999. – № 2. – С. 3–5.
4. Зуев Е.Т. Функциональные напитки: их место в концепции здорового питания // Пищ. пром-сть. – 2004. – № 7. – С. 48–49.
5. Хамачек Й., Бюлер К. Х., Шеттлер П., Гюнневиц В. Сеператоры и декантеры для производства фруктовых и овощных соков. – Эдву (ФРГ), 1995. – 39 с.
6. Курбанов Н.А., Крошук Л.А. Влияние термического воздействия на изменение антиоксидантной активности овощных корнеплодов // Пищ. пром-сть. – 2012. – № 11. – С. 50–51.
7. Сидоренко Е.А. Ферментированные овощные соки для функционального питания // Пищ. и перераб. пром-сть. – 2009. – № 4. – С. 112.
8. Скрипников Ю.Г. Производство плодово-ягодных вин и соков. – М.: Колос, 1983. – 256 с.
9. Ловкис З.В., Танача А.А. Исследование процесса прессования фруктовой и овощной мезги с помощью STATGRAPHICS // Пищ. пром-сть. – 2010. – № 2. – С. 34–39.
10. Особов В.И. Механическая технология кормов. – М.: Колос, 2009. – 304 с.

Поступила в редакцию 09.12.2014

SH.H. ALIYEV, PhD in Engineering, Associate Professor

Azerbaijan Technological University
e-mail: shakiraliyev@mail.ru

STUDY ON VEGETABLE PULP SQUEEZING

Methods were developed to calculate and substantiate working tools and their operation conditions for improving quality of the vegetable pulp extraction process. Based on the mechanical model of pulp, an equation of compression was set up, and the product deformation process was analyzed. It has been found that with increasing exposure time of material being under pressure, the stress in it decreases tending to a constant value. The stress relaxation occurs. There are given dependencies of pressure required for compression of vegetable pulp on its initial and maximum densities, of final density of pulp on its initial and maximum densities as well as on exposure time of material under pressure.

Keywords: vegetable juice, pulp, squeezing, pressure, density, recovery rate.