

*Шепелева Татьяна Николаевна
студентка 2 курса магистратуры,
институт автоматике и информационных технологий
Тамбовский государственный технический университет,
Россия, г. Тамбов
e-mail: tatiyanashep@yandex.ru*

*Научный руководитель: Назаров В.Н.,
кандидат технических наук, доцент
Тамбовский государственный технический университет,
Россия, г. Тамбов*

*Слепцова Алёна Александровна
студентка 2 курса магистратуры,
институт автоматике и информационных технологий
Тамбовский государственный технический университет,
Россия, г. Тамбов*

*Научный руководитель: Третьяков А.А.,
кандидат технических наук, доцент
Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов*

*Кузнецова Елизавета Вячеславовна
студентка 2 курса магистратуры,
институт автоматике и информационных технологий
Тамбовский государственный технический университет,
Россия, г. Тамбов*

*Научный руководитель: Назаров В.Н.,
кандидат технических наук, доцент
Тамбовский государственный технический университет,
Россия, г. Тамбов*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ СИРОПА ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

Аннотация: В статье изучен процесс непрерывного способа получения сиропа с применением атмосферного давления. Выведены общие формулы расчета количества компонентов, подаваемых в установку.

Ключевые слова: изготовление сиропа, система управления, непрерывный способ получения сиропов, производство карамели, сахаропаточный сироп, сахаро-инвертный сироп.

Shepeleva Tatiana Nikolaevna
2nd year master student,
Institute of Automation and Information Technologies
Tambov State Technical University,
Russia, Tambov

Scientific adviser: Nazarov V.N.,
candidate of technical sciences, associate professor
Tambov State Technical University,
Russia, Tambov

Sleptsova Alena Aleksandrovna
2nd year master student,
Institute of Automation and Information Technologies
Tambov State Technical University,
Russia, Tambov

Scientific adviser: Tretyakov A.A.,
candidate of technical sciences, associate professor
Tambov State Technical University,
Russia, Tambov

Kuznetsova Elizaveta Vyacheslavovna
2nd year master student,
Institute of Automation and Information Technologies
Tambov State Technical University,
Russia, Tambov

Scientific adviser: Nazarov V.N.,
candidate of technical sciences, associate professor
Tambov State Technical University,
Russia, Tambov

RESEARCH OF THE PROCESS OF PREPARING SYRUP AT ATMOSPHERIC PRESSURE

Abstract: *The article studies the process of a continuous method for producing syrup using atmospheric pressure. General formulas for calculating the number of components supplied to the installation are derived.*

Key words: syrup production, control system, continuous syrup production, caramel production, sugar syrup, sugar invert syrup.

Сиропы – промежуточный полуфабрикат при производстве ряда кондитерских изделий, преимущественно сахарных. Основной целью

приготовления сиропов является растворение сахара-песка. Приготовление сиропа как полуфабриката можно рассматривать как один из приемов, направленных на видоизменение сахарозы. По структуре сиропы представляют гомогенную дисперсную систему - раствор. Особенностью сиропов как растворов является высокая концентрация сухих веществ, большая доля которых представлена сахарами и, прежде всего, сахарозой. Сироп представляет собой светлую, прозрачную, вязкую жидкость. Высокая концентрация сахарозы в сиропах (более 40 %, а обычно не ниже 70 %) обеспечивает их микробиологическую устойчивость, прежде всего к сбраживанию. Сахароза в сиропах находится только в растворённом состоянии [1].

Процесс получения сиропа с применением атмосферного давления осуществляют в комбинированном аппарате. Данным способом получают сиропы: сахаро-инвертные, сахаро-паточные и чистосахарные.

При приготовлении сахаро-инвертных или сахаро-паточных сиропов в сахарный сироп добавляется инвертный сироп, или патока, или в различных соотношениях в конце процесса в последнюю секцию. Это позволяет сократить время теплового воздействия на сахаро-инвертную или сахаро-паточную смесь. Таким образом получается сироп с меньшим содержанием продуктов разложения сахаров, менее окрашенным, с меньшим содержанием редуцирующих веществ.

Схема установки секционного типа для получения сиропа под атмосферным давлением представлена на рисунке 1.

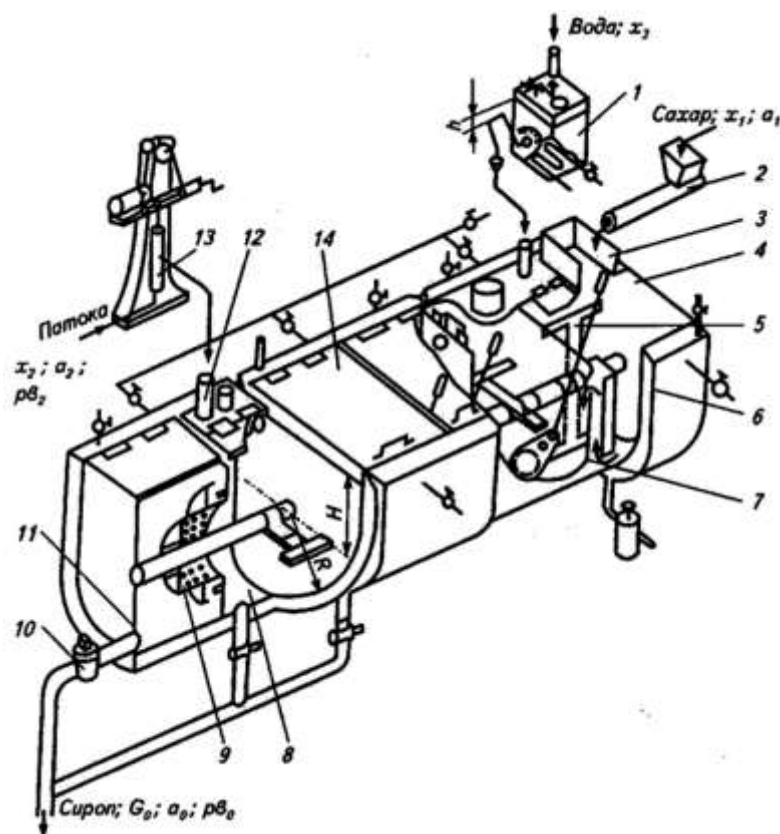


Рисунок 1. Схема установки для получения сиропа под атмосферным давлением

Сахар поступает в воронку 3 первой секции 4 растворителя через дозатор 2. В эту же секцию дозатор 1 равномерно подает воду. Постоянный уровень воды в дозаторе поддерживается поплавковым регулятором. Вода в баке дозатора подогревается паром. Количество подаваемой воды определяется высотой от конца сливной трубки до уровня воды в баке [2].

С помощью дозатора 2 сахар поступает в воронку 3 первой секции растворителя. Туда же дозатором 1 равномерно подается подогретая вода. Постоянный уровень воды в дозаторе поддерживается поплавковым регулятором. Вода в баке дозатора подогревается паром. Расход воды определяется высотой от конца сливной трубки до уровня воды в баке.

В первой секции 4 сахар перемешивается с водой и частично растворяется. Первая и последующие секции подогреваются паром (секции оснащены паровой рубашкой 6). Процессу растворения сахара способствует размешивание смеси мешалкой 5. Перегородка 7 имеет в верхней части отверстие, расположенное между первой и второй секцией, с помощью которого сахарная смесь проходит

во вторую секцию. Во второй и двух последующих секциях происходит полное растворение кристаллов сахара. Это приводит к повышению концентрации раствора. Сахарный раствор, поступающий в четвертую секцию, на рисунке номер 14, нагревается до кипения. Из четвертой секции сахарный раствор попадает в смесительную секцию 8, туда же, добавляется подогретая патока, которая подается по трубе 12 дозатором 13. Аппарат оснащен вращающимся цилиндрическим фильтром 9, проходя через который, сироп собирается в последней секции аппарата 11. Если применяется инвертный сироп, он подается по специальной трубе. Готовый сироп по трубе с краном 10 направляется для дальнейшего применения.

В процессе изготовления сиропа производят контроль температур. В готовом сиропе проверяется содержание редуцирующих и сухих веществ. Содержание редуцирующих веществ происходит методом титрования медно-щелочного раствора, фотоколориметрическим или другими методами. Контроль содержания сухих веществ определяют при помощи рефрактометра [3].

Готовый карамельный сироп должен содержать не менее 84% сухих веществ и определенную долю редуцирующих веществ, которая зависит от назначения сиропа.

Параметры сиропов представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Параметры сиропов

Сироп	Доля сухих веществ, %	Температура кипения, °С	Доля редуцирующих веществ в СВ, %
Сахаро-паточный для карамели	86-88//84	125-140/109	11/14
Сахаро-паточный для помады	86/84	125/109	2,75/5,75

Обычно контроль за долей сухих веществ сиропа ведут по температуре кипения.

При расчете любой сиропной установки бывают известны количество получаемого сиропа G_0 , доля в нем сухих веществ a_0 и доля редуцирующих веществ либо в самом сиропе, либо в сухих веществах p_{60} , а также рецептура.

Количество компонентов, подаваемых в установку, неизвестно, поэтому эти величины как определяемые обозначены через x с соответствующими индексами. Вследствие того, что кондитеры ведут расчеты по сухим веществам, необходимо знать расчетные доли a сухого вещества. Также, в процессе производства всегда происходят потери сухих веществ сиропа. Если потери сиропа составляют Δx_n то в сухих веществах – $a_0 \Delta x_n$.

$$a_1 x_1 + a_2 x_2 - a_0 \Delta x_n = a_0 G_0 \quad (1)$$

В этом равенстве потери $a_0 \Delta x_n$ не могут быть заданы и трудно предположить, какими они должны быть. Лучше задаться относительными потерями или определить их по аналогичным установкам. Для перехода к относительным потерям равенство примет вид:

$$(a_1 x_1 + a_2 x_2) - \{1 - [a_0 \Delta x_n / (a_1 x_1 + a_2 x_2)]\} = a_0 G_0 \quad (2)$$

В фигурной скобке второй член представляет собой относительные потери в долях единиц. Если из единицы вычесть относительные потери, то получим относительный выход. Обозначим его через ϵ_o , тогда:

$$\epsilon_o = (1 - a_0 \Delta x_n) / (a_1 x_1 + a_2 x_2) \quad (3)$$

Это позволит равенству придать следующий вид:

$$a_1 x_1 + a_2 x_2 = a_0 G_0 / \epsilon_o \quad (4)$$

В полученном равенстве имеем два неизвестных. Для его решения необходимо определить второе равенство. Его можно получить из заданной рецептуры:

$$\kappa_2 = a_2 x_2 / (a_1 x_1) \quad (5)$$

Это есть пропорции, в которых сухие вещества патоки и сахара входят в рецептуру. Пропорцию можно привести к такому виду:

$$\kappa_2 a_1 x_1 - a_2 x_2 = 0 \quad (6)$$

В результате мы получим два уравнения с двумя неизвестными:

$$a_1 x_1 + a_2 x_2 = a_0 G_0 / \epsilon_o \quad (7)$$

$$\kappa_2 a_1 x_1 - a_2 x_2 = 0 \quad (8)$$

откуда:

$$x_1 = a_0 G_0 / [a_1 \epsilon_o (1 + \kappa_2)] \quad (9)$$

$$x_2 = a_0 G_0 \kappa_2 / [a_2 \vartheta_0 (1 + \kappa_2)] \quad (10)$$

Количество воды определяем из материального баланса, т.е. суммы трех составляющих: масса сахара, патоки и воды равна массе сиропа, которую выражаем в виде сухих веществ, деленных на долю сухих веществ [4], т. е.:

$$x_1 + x_2 + x_3 = a_0 G_0 / (\vartheta_0 a_0) \quad (11)$$

откуда:

$$x_3 = G_0 / \vartheta_0 - x_1 - x_2 \quad (12)$$

Сиропные станции могут содержать и большее число компонентов, так как частично патока может быть заменена другим антикристаллизатором (инвертным сиропом) или каким-либо загустителем. В этом случае будет большая система. Система, состоящая больше чем из двух уравнений, решается методом Крамера или Гаусса.

В этом случае:

$$x_1 = a_0 G_0 / [\vartheta_0 a_0 (1 + \sum_{i=2}^{n-1} k_i)]; \quad (13)$$

$$x_2 = a_0 G_0 k_i / [\vartheta_0 a_i (1 + \sum_{i=2}^{n-1} k_i)] \quad (14)$$

Количество воды:

$$x_n = G_0 / \vartheta_0 - \sum_{i=1}^{n-1} x_i. \quad (15)$$

Входными переменными приготовления сахаро-паточного сиропа в диссуре являются масса загружаемого сахара $G_{\text{сах}0}$; функция плотности распределения кристаллов по размерам $\Psi(r_0)$; функция управления барботером $\delta_1(\tau)$; степень открытия заслонки на линии подачи пара в змеевиковый теплообменник $\mu^{\text{Д}}(\tau)$; масса $G_{\text{ж}0}^{\text{Д}}$ и температура $t_{\text{в}}$ заливаемой воды; температура окружающей среды $t_{\text{ср}}$; давление подаваемого греющего пара $p_{\text{п}}$; момент подачи патоки $\tau_{\text{пат}}$; температура $t_{\text{пат}}$, масса $G_{\text{пат}}$ и химический состав $\vec{\chi} = \{\chi_2, \chi_3, \chi_7, \chi_{\text{в}}\}$ патоки, где $\chi_2, \chi_3, \chi_7, \chi_{\text{в}}$ - массовые доли каждой из компонент (мальтоза, глюкоза, декстрины, вода) патоки; pH патоки.

Выходными параметрами являются масса не растворившегося сахара $G_{\text{сах}}^{\text{Д}}(\tau)$, масса $G_{\text{ж}}^{\text{Д}}(\tau)$ и температура $t^{\text{Д}}(\tau)$ сиропа, концентрация сухих веществ $b_{\text{св}}^{\text{Д}}(\tau)$ и редуцирующих веществ $b_{\text{рв}}^{\text{Д}}(\tau)$ в сиропе [5].

В результате проведения численного эксперимента исследовано влияние массы заливаемой в диссудор воды на динамику процесса растворения сахара. Режим $\Re (\delta_1(\tau)=1; \mu^{\text{Д}}(\tau)=0; G_{\text{сах}0}^{\text{Д}}=350 \text{ кг}; t_{\text{в}}=60^{\circ}\text{C}; t_{\text{ср}}=20^{\circ}\text{C}; p_{\text{п}}=5 \cdot 10^5 \text{ Па})$. На рисунках 2 и 3 представлены результаты численного эксперимента.

Из сравнения кривых на рисунках 2 и 3 можно сделать вывод, что масса заливаемой в диссудор воды существенно сказывается на динамике процесса растворения сахара. С увеличением количества заливаемой в диссудор воды увеличивается скорость растворения сахара, что благоприятно сказывается на качественных показателях процесса растворения.

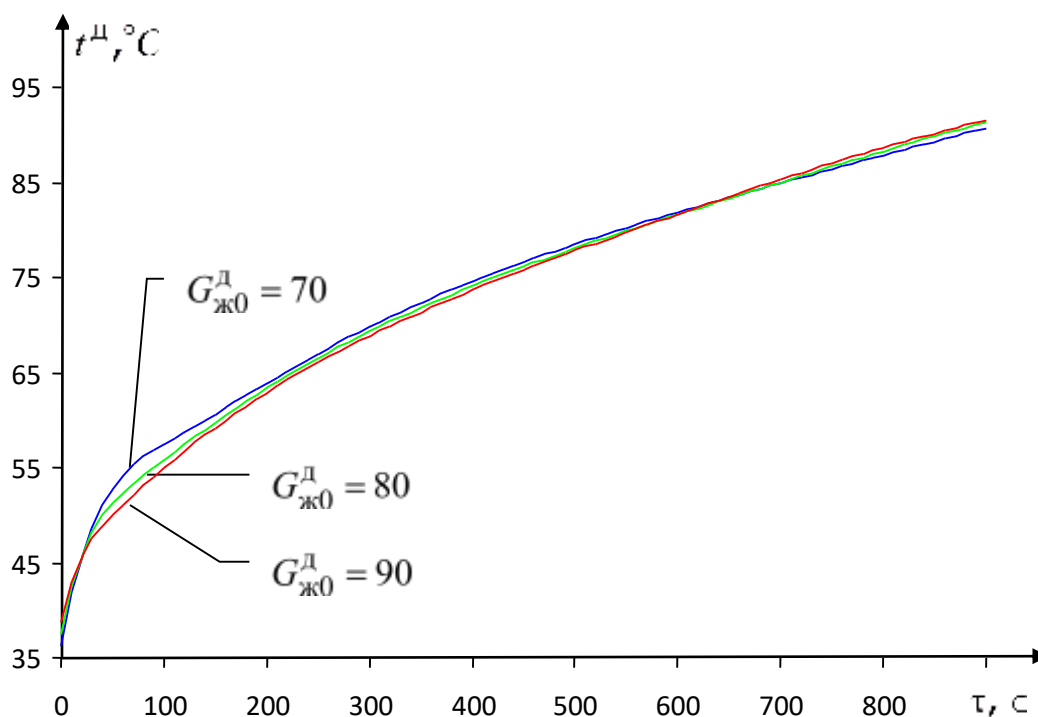


Рисунок 2. Динамика изменения температуры сиропа при растворении сахара в различных количествах воды

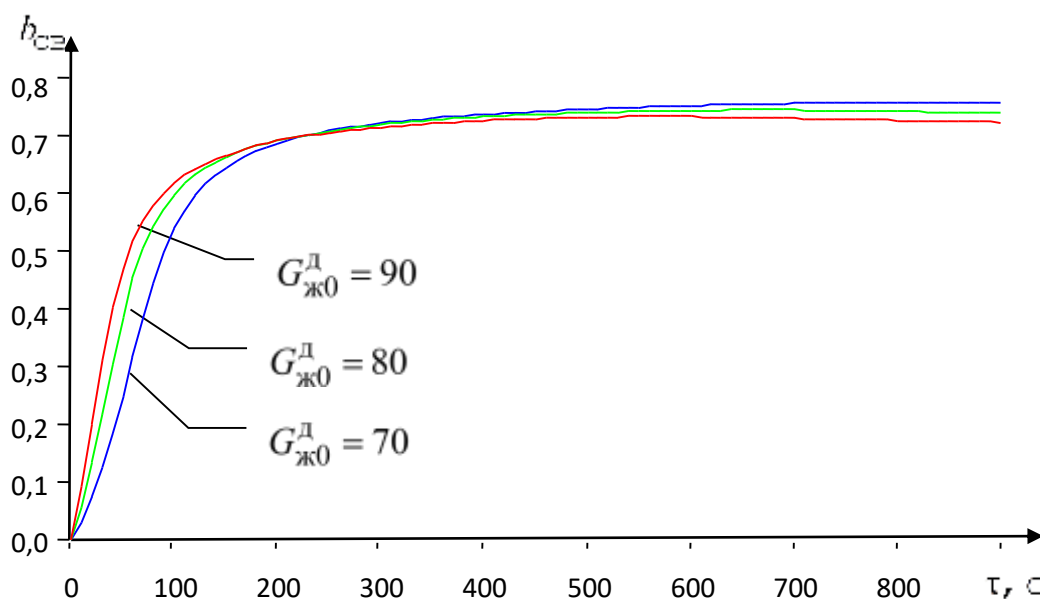


Рисунок 3. Динамика изменения концентрации сухих веществ при растворении сахара в различных количествах воды

В результате проведения численного эксперимента исследовано влияние давления греющего пара на качественные показатели процесса приготовления конфетных масс. Режим $\Re (G^Д_{сах0} = 350 \text{ кг}; G^Д_{ж0} = 80 \text{ кг}; t_{в} = 60 ^\circ\text{C}; t_{ср} = 20 ^\circ\text{C};$

$\mu^Д = 0,85$; $G_{пат} = 60 \text{ кг}$; $\tau_{пат} = 700 \text{ с}$; $\tau^Д = 1500 \text{ с}$). На рисунках 4 и 5 приведены результаты моделирования. Чем выше давление греющего пара, тем быстрее производится процесс растворения сахара и уваривание сахаро-паточного сиропа. Колебания давления греющего пара оказывает существенное возмущение на процесс приготовления сахаро-паточного сиропа.

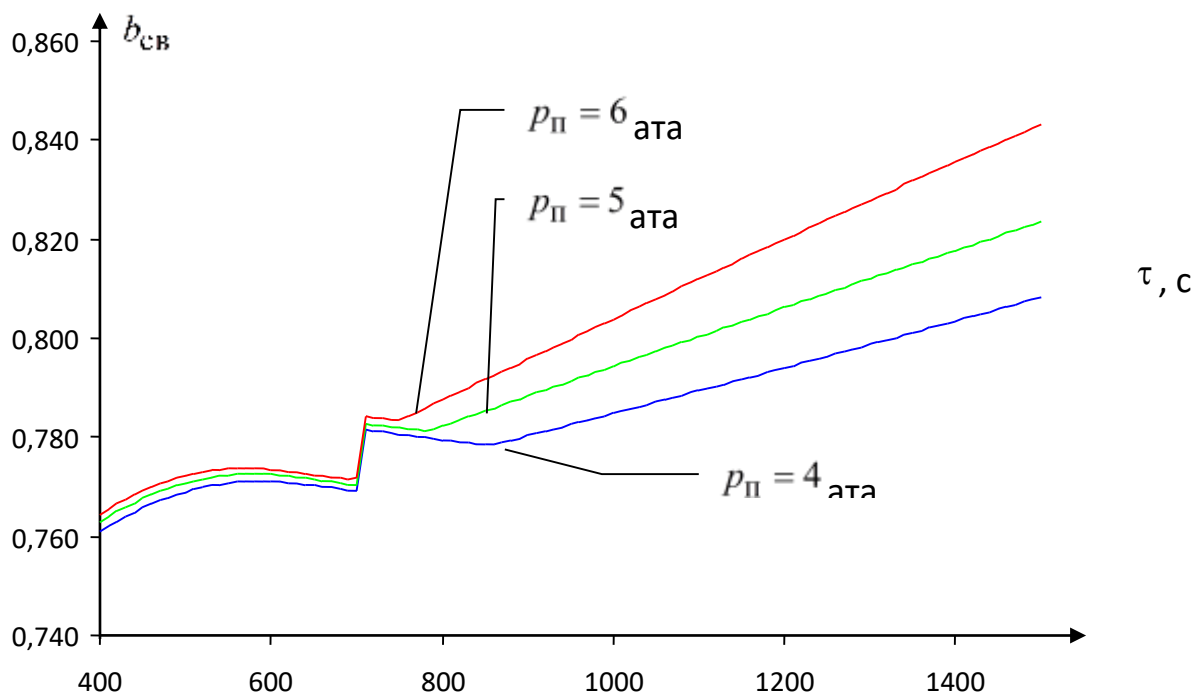


Рисунок 4. Динамика изменения концентрации сухих веществ в сиропе при различном давлении греющего пара

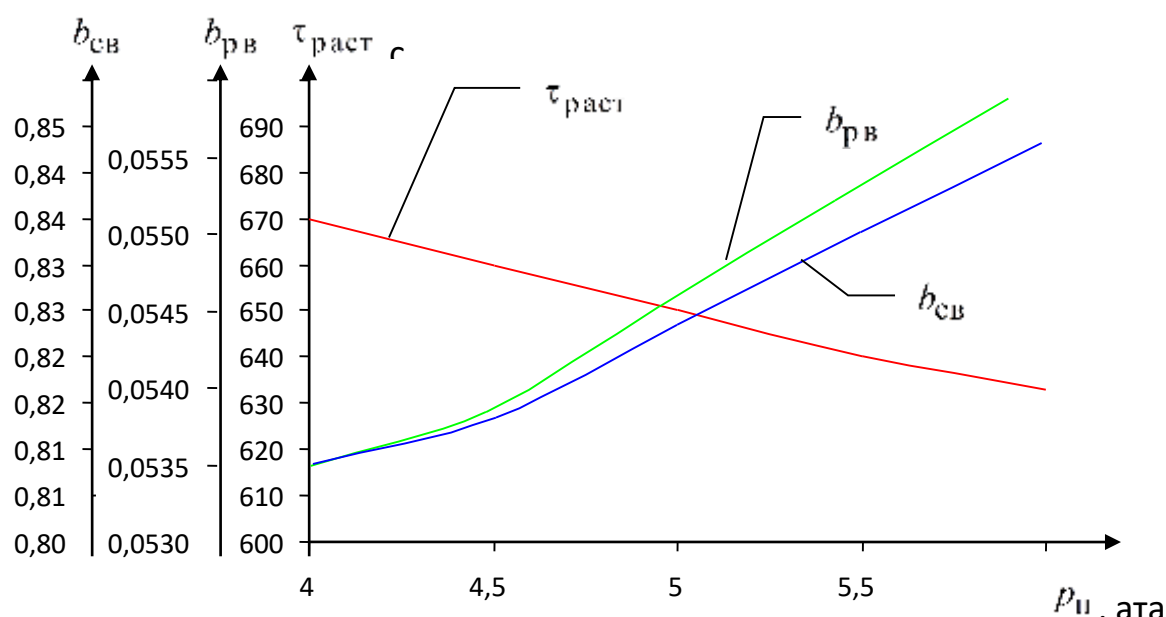


Рисунок 5. Влияние давления греющего пара на время растворения сахара, концентрации сухих и редуцирующих веществ

Список литературы:

1. Зубченко А.В. Физико-химические основы технологии кондитерских изделий: учебное пособие. Воронеж: ВГТА, 2001. 389 с.
2. Ураков О.А. Комплексы оборудования и технология для уваривания масс непрерывным способом // Пищевая промышленность 1989. № 2. 59 с.
3. Сапронов А.Р. Общая технология сахара и сахаристых веществ. М.: Пищевая промышленность, 1979. 464 с.
4. Лурье И.С. Технология кондитерского производства. М.: Агропромиздат, 1992. 399 с.
5. Кафаров В.В., Дорохов И.Н, Кольцова Э.М. Системный анализ процессов химической технологии. Процессы массовой кристаллизации из растворов и газовой фазы. М.: Наука, 1983. 394 с.