

УДК 544.725.7:637.247

DOI: 10.15587/1729-4061.2018.140126

Исследование нового метода интенсификации процесса экстрагирования свекловичного жома

Г. В. Дейниченко, В. В. Гузенко, Д. В. Дмитревский, В. Н. Червоний,
Т. А. Колесниченко, А. В. Омельченко, О. Е. Мельник, О. А. Симакова,
Р. П. Никифоров

Висвітлено експериментальні дослідження процесу кислотного екстрагування пектинвмісної сировини (бурякового жому) із застосуванням нової моделі перемішувального елемента порівняно зі звичайною решітчастою мішалкою. Розроблено експериментальну установку і методику обробки результатів дослідження процесу екстрагування пектинових речовин із пектинвмісної сировини (бурякового жому) із застосуванням нового комбінованого перемішувального елемента. Побудовані математичні моделі у вигляді нелінійних регресійних рівнянь за методом планування багатофакторного експерименту з вхідними параметрами температури, тривалості та гідромодуля. При цьому встановлено, що основний вплив на зміну вихідних параметрів становлять вхідні змінні температури та тривалості процесу.

Приведені графічні залежності кількісних та якісних характеристик пектинових екстрактів (концентрація пектинових речовин, молекулярна маса, комплексо- та драглеутворювальної здатності) в залежності від вхідних параметрів температури та тривалості процесу екстрагування пектинових речовин. Аналіз цих характеристик дозволив встановити раціональні вхідні параметри процесу екстрагування пектинових речовин. Раціональними робочими параметрами процесу кислотного екстрагування пектинових речовин з бурякового жому із застосуванням нового методу інтенсифікації процесу є температура 60...70 °С, тривалість – 1...1,1 години та гідромодуль 8...10.

Дане дослідження проведене з метою інтенсифікації вилучення пектинових речовин з пектинвмісної сировини, підвищення технічного рівня процесу екстрагування та реалізації розробленого методу в промислових умовах. За результатами досліджень було встановлено доцільність застосування нового методу інтенсифікації. Подальше впровадження цих результатів у харчову та переробну промисловість дає змогу налагодження виробництва широкого асортименту пектинопродуктів (екстракти, рідкі та сухі пектинові концентрати)

Ключові слова: пектинвмісна сировина, процес кислотного екстрагування, пектинові речовини, перемішувальний елемент

1. Введение

Недостаток в питании человека пищевых волокон отрицательно сказывается на здоровье человека, снижая противодействие его организма при неблагоприятном воздействии окружающей среды. Пищевые волокна – это сложный

комплекс полисахаридов, целлюлозы, лигнина и связанных с ними белковых веществ, образующих клеточные стенки растений [1].

Использование вторичных материальных ресурсов в настоящее время превратилось в одну из важнейших технических, ресурсосберегающих и экологических задач всего мира. При этом в первую очередь в дело должны идти многотоннажные отходы, образующиеся при переработке различных видов сырья. Значительное количество отходов образуется при переработке сельскохозяйственного сырья растительного и животного происхождения, которые требуют дальнейшей утилизации [2].

Наряду с этим, сегодня пищевая промышленность выпускает разнообразные кондитерские, хлебобулочные, мясные, молочные и рыбные изделия, напитки, консервы, тенденция которых направлена на обогащение рациона питания населения страны биологически активными добавками (БАД). Использование в качестве БАД пектиновых экстрактов (ПЭ), пектиновых концентратов (ПК) и сухого пектина позволяет получать продукты питания с заданными технологическими свойствами. Это будет способствовать проведению пектинопрофилактики людей [3, 4].

В пищевой промышленности используются основные свойства пектиновых веществ – комплексо- и гелеобразующая способности, что позволяет обогащать пищевые продукты пектинопродуктами, которые имеют лечебно-профилактическое значение [5, 6].

Сегодня существует достаточное количество технологий производства продуктов питания с добавлением пектинопродуктов [7]. Однако данных об использовании ПК высокой пищевой ценности в производстве пищевых продуктов мало. Эти данные являются разобщенными, что и определило цель и актуальность исследований, результаты которых будут способствовать увеличению ассортимента лечебной и профилактической продукции.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Для получения хороших количественных и качественных показатели ПЭ для исследования выбираются три вида сырья: свекольный жом, яблочные выжимки и подсолнечные корзины. Это связано в первую очередь с высокими показателями содержания пектина в этих видах растительного сырья и высокой степенью этерификации (показатель применения пектина в пищевой промышленности) в них [8]. Также, это связано с наличием сахарных заводов, производств по выработке сока и предприятий по переработке подсолнечника. Однако основное преимущество в представленных исследованиях имеет свекловичный жом. При этом проводится ограниченное количество исследований процесса экстрагирования из этого вида сырья с применением органических кислот [9].

В настоящее время известно множество способов получения ПЭ из любого растительного сырья [10, 11]. Но все эти способы имеют как преимущества, так и недостатки: сложность дальнейшей обработки сырья, большие растраты реагента, сложная и дорогостоящая конструкция оборудования и его эксплуатация, низкие количественные или качественные показатели пектиновых экстрактов и т. д. Критерием эффективности любой технологии должны выступать ее уни-

версальность, экологичность и безотходность [12]. Поэтому лучшим решением является разработка и внедрение комбинированных способов проведения различных стадий общей технологии производства пектина. В частности это касается исследуемого процесса экстрагирования свекловичного жома.

Сегодня эффективным способом для извлечения пектиновых веществ является применение неорганических и органических кислот (соляная, азотная, уксусная, молочная, лимонная и т. д.) [13, 14]. Такой способ является одним из перспективных для дальнейшего его внедрения в производство. Но для этого должно использоваться устойчивое к коррозии оборудование (особенно, если процесс предполагает высокую температуру) [15].

Течение процесса экстрагирования пектинсодержащего сырья является сложным [16]. При этом выбор того или иного способа экстрагирования может как упрощать, так и затруднять дальнейшие стадии производства пектина (процессы концентрирования, очистки, сушки и т.д.) [17]. Эти замечания следует учитывать при разработке новых технологий извлечения пектина.

Сегодня современные технологии извлечения ПВ из свекловичного жома имеют ряд вопросов, касающихся как повышения количества извлекаемых ПВ, так и улучшения качественных характеристик ПЭ [18, 19]. Это сдерживает внедрение существующих методов извлечения в производство. Поэтому возникает необходимость применения новых методов интенсификации процесса экстрагирования. При этом важным является изучение и определения рациональных параметров и режимов этого процесса: температуры, гидромодуля, продолжительности и так далее.

3. Цель и задачи исследования

Целью работы является исследование процесса кислотного экстрагирования пектинсодержащего сырья с применением новой модели перемешивающего элемента для повышения качественных и количественных характеристик пектиновых экстрактов.

Чтобы достигнуть указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- выявить преимущества проведения процесса экстрагирования пектинсодержащего сырья с применением методов интенсификации;
- определить факторы, которые влияют на процесс кислотного экстрагирования пектинсодержащего сырья с использованием новой модели перемешивающего элемента;
- на основании результатов исследования определить рациональные параметры кислотного экстрагирования пектинсодержащего сырья (свекловичный жом).

4. Материалы и методы исследования кислотного экстрагирования пектинсодержащего сырья с применением нового перемешивающего устройства

4. 1. Схема экспериментальной экстракционной установки и ее принцип работы

В научной лаборатории «Нанотехнологии пищевых продуктов» Харьковского государственного университета питания и торговли (Украина) были проведены исследования по выбору оптимальных параметров проведения кислотного экстрагирования пектинсодержащего сырья. С целью усовершенствования процесса кислотного экстрагирования пектинсодержащего сырья был выбран метод интенсификации процесса, где могут участвовать гидромеханические процессы.

Одним из факторов интенсификации экстрагирования растительного сырья является равномерное распределение частиц сырья по размеру. Это определяет эффективность процесса экстрагирования биологически активных веществ. А в сочетании с активной циркуляцией экстрагента количественно обеспечивает изъятие того или иного компонента [19].

Более подробно принцип работы экспериментальной экстракционной установки, а также моделирование процесса экстрагирования пектиновых веществ описано в работе [20].

5. Результаты исследований применения метода перемешивания в процессе кислотного экстрагирования пектиновых веществ

Динамика изменения концентрации ПВ в процессе извлечения свекловичного жома с использованием решетчатого и комбинированного перемешивающих элементов показано на рис. 1, 2. Зависимости качественных характеристик ПЭ, полученных с использованием комбинированного перемешивающего элемента для свежего и сушеного сырья, – на рис. 3, 4.

По данным рис. 1, 2 видно, что зависимости изменения концентрации ПВ, молекулярной массы, комплексообразующей способности от различных технологических факторов процесса экстрагирования ПВ из различного сырья имеют нелинейный характер.

Кривые изменения количества ПВ в экстракте в зависимости от параметров продолжительности процесса экстрагирования ПВ имеют сходный характер как в случае применения решетчатого, так и комбинированного перемешивающих элементов. На графической зависимости влияния продолжительности процесса экстрагирования свекловичного жома на концентрацию ПВ видно, что в течение $(1,0...1,1) \cdot 60^2$ с наблюдается сначала интенсивное, а затем медленный рост концентрации ПВ в экстракте. Во время дальнейшего экстрагирования концентрация ПВ в пектиновых экстрактах приобретает установившееся значение.

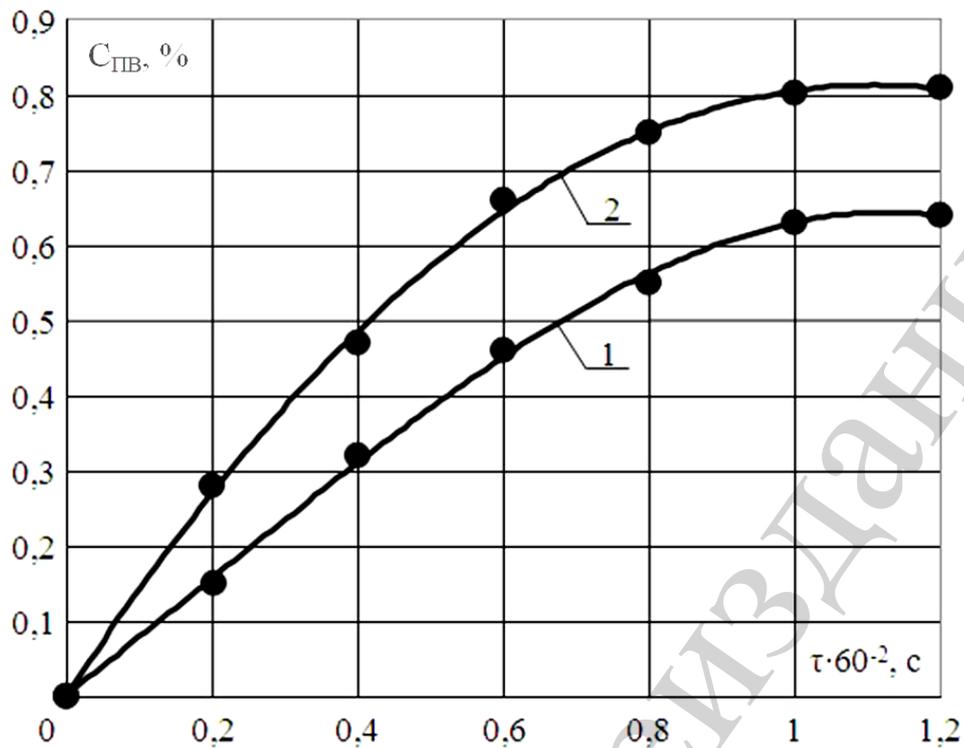


Рис. 1. Зависимость изменения концентрации ПВ от продолжительности экстрагирования свежего свекловичного жома при $t=65\text{ }^{\circ}\text{C}$, $q=10\text{ с}$ применением перемешивающих элементов: 1 – решетчатого; 2 – комбинированного

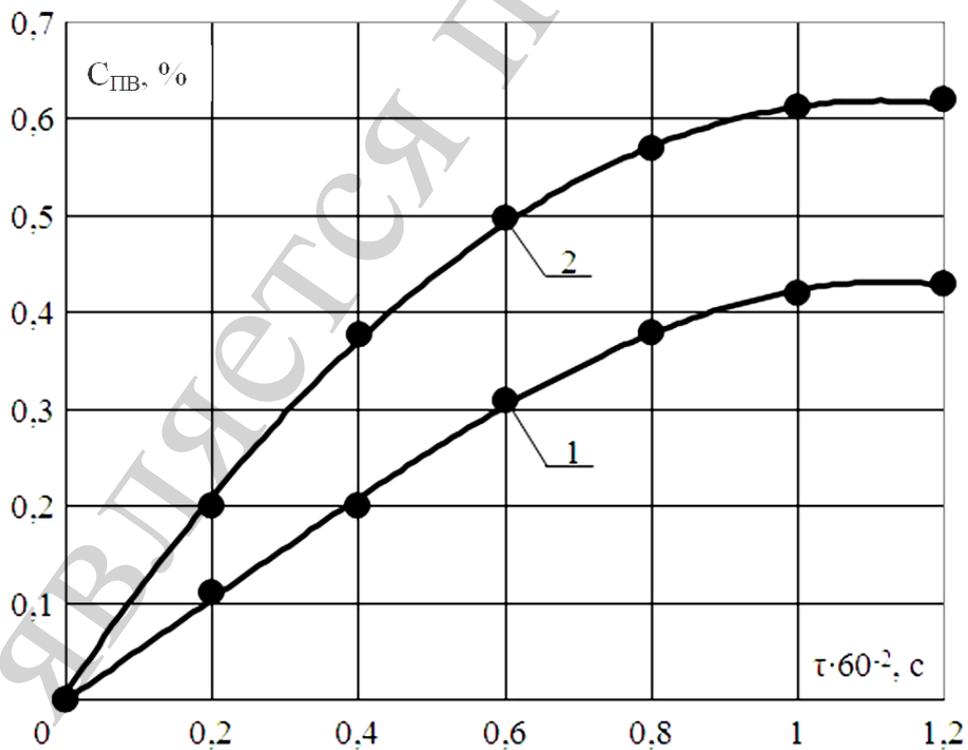


Рис. 2. Зависимость изменения концентрации ПВ от продолжительности экстрагирования сушеного свекловичного жома при $t=65\text{ }^{\circ}\text{C}$, $q=10\text{ с}$ применением перемешивающих элементов: 1 – решетчатого; 2 – комбинированного

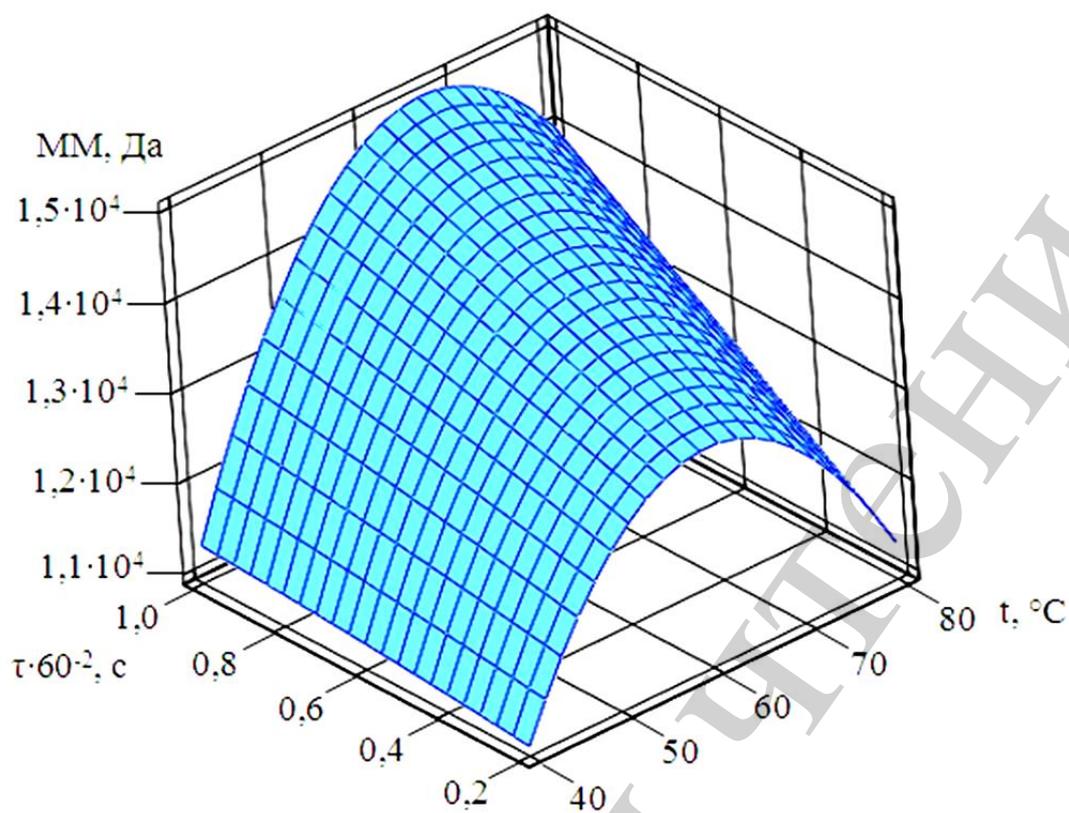


Рис. 3. Зависимость изменения молекулярной массы ПЭ от температуры (t) и продолжительности процесса экстрагирования (τ) свежего сыря

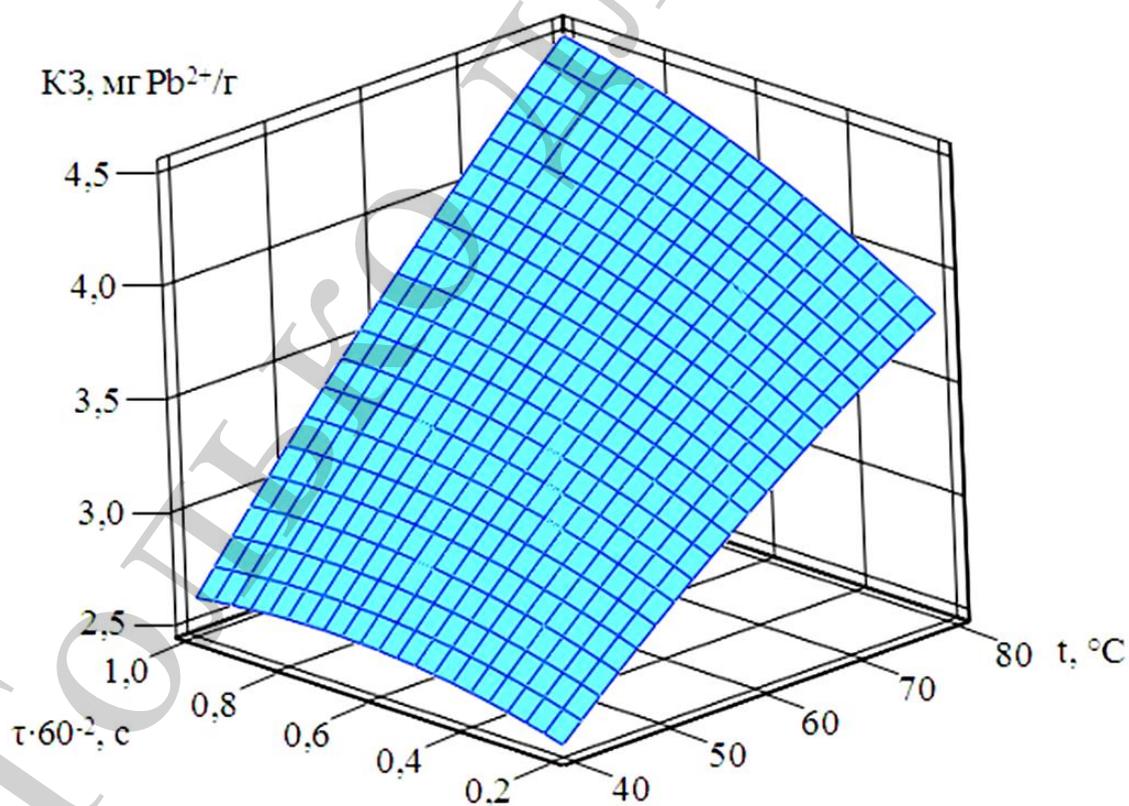


Рис. 4. Зависимость изменения комплексообразующей способности ПЭ от температуры (t) и продолжительности экстрагирования (τ) свежего сыря

Применение комбинированного перемешивающего элемента значительно повышает величину концентрации ПВ в экстракте – на 21...33 % по сравнению с использованием решетчатого перемешивающего элемента.

Поверхность зависимости молекулярной массы от температуры и продолжительности процесса экстрагирования ПВ (рис. 3) в направлении увеличения температуры процесса для обоих видов свекловичного сырья имеет нелинейный характер. С увеличением значений температуры до 60...70 °С происходит повышение молекулярной массы ПВ до максимального значения $MM=1,86 \cdot 10^4$ Да для свежего сырья и $MM=1,86 \cdot 10^4$ Да – для сухого сырья. С последующим повышением температуры до 80 °С наблюдается резкое снижение молекулярной массы ПВ, что, вероятно, является следствием снижения физико-механических свойств ПВ в экстракте при высоких значениях температуры.

Значение комплексообразующей способности ПВ (рис. 4) растет пропорционально увеличению температуры и продолжительности процесса экстрагирования ПВ. Так, максимальные значения комплексообразующей способности ($KC_{max}=4,0...4,5$ мг $Pb^{2+/г}$ для свежего сырья и $KC_{max}=2,5...2,6$ мг $Pb^{2+/г}$ – для сухого сырья) наблюдаются при температуре 70...75 °С и продолжительности процесса $(1,0...1,1) \cdot 60^2$ с.

6. Обсуждения результатов исследования нового метода борьбы с поляризационным слоем

Из вышеприведенных данных видно, что экстрагирование ПВ из свекловичного жома в кислой среде имеет достаточно сложный характер. Такой характер выявлен применением математической модели, представляющей собой уравнения регрессии, оценки коэффициентов которых определены на основе реализации полного факторного эксперимента. Такой подход может считаться в данном случае обоснованным конечной целью исследования: определение изменения выходных характеристик процесса экстрагирования в зависимости от исходных параметров с применением нового метода интенсификации [21–25].

Полученные зависимости изменения концентрации ПВ, молекулярной массы, комплексо- и гелеобразующей способности от различных технологических факторов процесса экстрагирования ПВ из различного сырья имеют нелинейный характер. При этом анализ полученных зависимостей показывает, что на изменение концентрации ПВ и качественных показателей ПЭ (молекулярной массы, комплексо- и гелеобразующей способности) в экстракте в основном влияют параметры температуры и продолжительности процесса, что подтверждается исследованиями других ученых в этой области [26, 27].

Получение высоких показателей концентрации ПВ в экстракте обосновывается применением комбинированного перемешивающего элемента. По сравнению с использованием решетчатого перемешивающего элемента концентрация ПВ в экстракте возрастает в 1,3 ... 1,4 раза как для сухого, так и для свежего свекольного жома.

Сравнительный анализ расчетных выходных качественных и количественных характеристик полученных ПЭ показал достаточно высокое совпаде-

ние расчетных и экспериментальных входных параметров процесса для обоих видов сырья.

Преимущества данного исследования состоят в том, что с помощью построенной математической модели были определены условия получения ПЭ из свежего и сухого пектинсодержащего сырья (свекловичного жома). Это позволяет определить обеспечение высоких показателей концентрации ПВ в экстракте, молекулярной массы, комплексо- и гелеобразующей способностей, а также возможного максимального значения указанных характеристик при оптимальных параметрах.

Результаты оптимизации, полученные с помощью математической модели, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные значения оптимальных параметров получения ПЭ по физико-химическим показателям

Характеристика Y , которая определялась	Параметры оптимизации			
	$t, ^\circ\text{C}$	$\tau \cdot 60^{-2}, \text{c}$	q	Y_{\max}
Сухой свекольный жом				
Концентрация ПВ, $c_{\text{ПВ}}^{\text{р}}$ (%)	60	1	10	0,62
Концентрация ПВ, $c_{\text{ПВ}}^{\text{к}}$ (%)	40	1	10	0,91
Молекулярная масса, ММ (Да)	70	0,9	4	$1,185 \cdot 10^4$
Комплексообразующая способность, КС (мг $\text{Pb}^{2+}/\text{г}$)	60	1	5	2,591
Свежий свекольный жом				
Концентрация ПВ, $c_{\text{ПВ}}^{\text{р}}$ (%)	60	1	10	0,87
Концентрация ПВ, $c_{\text{ПВ}}^{\text{к}}$ (%)	50	1	10	1,165
Молекулярная масса, ММ (Да)	65	1	6	$1,519 \cdot 10^4$
Комплексообразующая способность, КС (мг $\text{Pb}^{2+}/\text{г}$)	70	1	9	4,179
Гелеобразующая способность, ГС (Г)	70	0,6	9	101

Из приведенных данных видно, что ПЭ, полученные из свежего сырья, имеют большую молекулярную массу и высокие значения комплексо- и гелеобразующей способности, чем ПЭ, извлеченные из сухого сырья. Однако следует отметить, что извлечение ПВ из свежего сырья при вышеупомянутых условиях не позволяло получать высокие показатели гелеобразующей способности (ГС). Показатель $\text{ГС}_{\max}=106 \text{ Г}$, несмотря на то, что концентрация ПВ в экстракте с использованием комбинированного перемешивающего элемента была достаточно высокой по сравнению с решетчатым.

По результатам полученных зависимостей (рис. 4) и определенных рациональных параметров процесса экстрагирования свекольного жома с использо-

ванием комбинированного перемешивающего элемента (уравнения регрессии (2)–(7)) установлено, что наиболее приемлемыми технологическими режимами процесса являются:

- температура процесса $t=60...70$ °С;
- длительность процесса $\tau=1,0...1,1 \cdot 60^2$ с;
- гидромодуль $q=8...10$.

Недостатком данного исследования может быть сложность варьирования параметрами эксперимента, а также использование другого вида или сорта исходного сырья, при котором конечные показатели могут сильно отличаться от расчетных.

Полученные результаты могут быть использованы при исследовании других технологических параметров в процессе экстрагирования других видов пектинсодержащего сырья, а также для усовершенствования аппаратного оснащения производственных линий по переработке пектинсодержащего сырья. Сложностью применения результатов исследований в производстве является необходимость применения специализированного оборудования и специальной подготовки сырья, в частности сушенного.

Проведенные исследования являются продолжением исследований по усовершенствованию процесса экстрагирования пектинсодержащего сырья с использованием новых методов интенсификации процесса путем разработки новых видов перемешивающих элементов.

7. Выводы

1. Проведено исследование по усовершенствованию процесса экстрагирования пектинсодержащего сырья с применением нового метода интенсификации. Техническое решение данного метода заключается в использовании комбинированного перемешивающего элемента. Преимуществом последнего является повышение количественных и качественных характеристик процесса экстрагирования пектинсодержащего сырья. Данный вывод сделан по результатам полного факторного эксперимента процесса экстрагирования с применением комбинированного перемешивающего элемента в сравнении с решетчатой мешалкой.

2. Полученные графические зависимости влияние параметров температуры, продолжительности и гидромодуля процесса экстрагирования на степень концентрации пектиновых веществ в пектиновом экстракте имеют нелинейный характер. При этом рассчитанные коэффициенты уравнений регрессии показывают, что существенное влияние на молекулярную массу, комплексо- и гелеобразующие свойства оказывают входные параметры температуры и продолжительности процесса. В результате увеличения последних наблюдается существенное увеличение вышеприведенных выходных количественных и качественных параметров процесса. При этом расчетные и экспериментальные данные показали, что повышение температуры процесса выше 65 °С не целесообразно, так как наблюдается дегградация ПВ в сырье. Увеличение значений продолжительности процесса экстрагирования более $1,1 \cdot 60^2$ с не дает существен-

ного улучшения качественных характеристик ПЭ, так как выход ПВ приобретает постоянное значение.

3. Получены результаты, которые позволили определить рациональные параметры проведения процесса экстрагирования из пектинсодержащего сырья (свекловичного жома) с применением комбинированного перемешивающего элемента. Этими параметрами являются:

- температура процесса экстрагирования – 60...70 °С;
- продолжительность извлечения пектиновых веществ – $(1,0...1,1) \cdot 60^2$ с;
- гидромодуль соотношения пектинсодержащего сырья и экстрагента – 8...10.

Литература

1. Perceived access to fruits and vegetables associated with increased consumption / Caldwell E. M., Miller Kobayashi M., DuBow W., Wytinck S. // *Public Health Nutrition*. 2008. Vol. 12, Issue 10. P. 1743. doi: <https://doi.org/10.1017/s1368980008004308>
2. Berk Z. *Food process Engineering and Technology*. Elsevier, 2009. 624 p. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-373660-4.x0001-4>
3. Extraction of pectic polysaccharides from sugar-beet cell walls / Marry M., McCann M. C., Kolpak F., White A. R., Stacey N. J., Roberts K. // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2000. Vol. 80, Issue 1. P. 17–28. doi: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0010\(20000101\)80:1<17::aid-jsfa491>3.3.co;2-w](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0010(20000101)80:1<17::aid-jsfa491>3.3.co;2-w)
4. Modifying additives in jelly products: monograph / Pertsevov F., Savgira Yu., Foschchan A., Ukrainets A., Tishenko L., Garncarek B., Miskiewicz T.; F. Pertsevov (Ed.). Kyiv: NUFT, 2005. 260 p.
5. Nature Plant pectin: a potential source for cancer suppression // *American Journal of Pharmacology and Toxicology*. 2013. Vol. 8, Issue 1. P. 9–19. doi: <https://doi.org/10.3844/ajptsp.2013.9.19>
6. Liu Utilization of Pectin Extracted Sugar Beet Pulp for Composite Application // *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*. 2012. Vol. 6, Issue 2. doi: <https://doi.org/10.1166/jbmb.2012.1206>
7. Pectin-Derived Oligosaccharides from Sugar Beet Pulp by Hydrothermal Processing / Yanez R. et. al. // *Journal of Pharmacognosy & Natural Products*. 2009. Vol. 2. P. 7–12.
8. Concha J., Weinstein C., Zúñiga M. E. Production of pectic extracts from sugar beet pulp with antiproliferative activity on a breast cancer cell line // *Frontiers of Chemical Science and Engineering*. 2013. Vol. 7, Issue 4. P. 482–489. doi: <https://doi.org/10.1007/s11705-013-1342-5>
9. Yapo B. M. Pectic substances: From simple pectic polysaccharides to complex pectins – A new hypothetical model // *Carbohydrate Polymers*. 2011. Vol. 89, Issue 2. P. 373–385. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.05.065>
10. Panchami P. S., Gunasekaran S. Extraction and Characterization of Pectin from Fruit Waste // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017. Vol. 6, Issue 8. P. 943–948. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.608.116>

11. Способ получения пектина и пищевых волокон с использованием электрохимически активированной воды / Голыбин В. А., Матвиенко Н. А., Федорук В. А., Мурач Д. С. // Вестник ВГУИТ. 2015. № 3. С. 161–165.
12. A new view of pectin structure revealed by acid hydrolysis and atomic force microscopy / Round A. N., Rigby N. M., MacDougall A. J., Morris V. J. // Carbohydrate Research. 2010. Vol. 354, Issue 4. P. 487–497. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carres.2009.12.019>
13. Liew S. Q., Chin N. L., Yusof Y. A. Extraction and Characterization of Pectin from Passion Fruit Peels // Agriculture and Agricultural Science Procedia. 2014. Vol. 2. P. 231–236. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.033>
14. A new approach for pectin extraction: Electromagnetic induction heating / Zouambia Y., Youcef Ettoumi K., Krea M., Moulai-Mostefa N. // Arabian Journal of Chemistry. 2017. Vol. 10, Issue 4. P. 480–487. doi: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.11.011>
15. Разработка оборудования для исследования количественных и качественных характеристик пектиновых концентратов / Дейниченко Г. В., Афукова Н. А., Мазняк З. А., Гузенко В. В. // Технологический аудит и резервы производства. 2014. Т. 3, № 5 (17). С. 11–14. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2014.25353>
16. Harholt J., Suttangkakul A., Vibe Scheller H. Biosynthesis of Pectin // Plant Physiology. 2010. Vol. 153, Issue 2. P. 384–395. doi: <https://doi.org/10.1104/pp.110.156588>
17. Кисельов Д. О., Гриник І. В. Адаптація параметрів екстракції пектину з яблучної сировини з використанням бурштинової кислоти // Науковий вісник НУБІП України. Серія: Біологія, біотехнологія, екологія. 2017. № 269. С. 208–214.
18. Characterization of citrus pectin samples extracted under different conditions: influence of acid type and pH of extraction / Kaya M., Sousa A. G., Crépeau M.-J., Sørensen S. O., Ralet M.-C. // Annals of Botany. 2014. Vol. 114, Issue 6. P. 1319–1326. doi: <https://doi.org/10.1093/aob/mcu150>
19. Chen H., Fu X., Luo Z. Properties and extraction of pectin-enriched materials from sugar beet pulp by ultrasonic-assisted treatment combined with subcritical water // Food Chemistry. 2015. Vol. 168. P. 302–310. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.078>
20. Investigation of the application of a new method of extraction intensification of pectin substances from a beet pulp / Deynichenko G., Guzenko V., Dmytrevskyi D., Chervonyi V., Kolisnichenko T., Omelchenko A. et al. // EUREKA: Physics and Engineering. 2018. Issue 4. P. 21–28. doi: <http://dx.doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00685>
21. Остапчук М. В., Станкевич Г. М. Математичне моделювання на ЕОМ. Одеса: Друк, 2006. 313 с.
22. Effects of Different Cooking Methods on Nutritional and Physicochemical Characteristics of Selected Vegetables / Miglio C., Chiavaro E., Visconti A., Fogliano V., Pellegrini N. // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2008. Vol. 56, Issue 1. P. 139–147. doi: <https://doi.org/10.1021/jf072304b>

23. Handbook of hydrocolloids / G. O. Phillips, P. A. Williams (Eds.). New York: Woodhead Publishing Limited, 2009. 948 p.

24. Global Structure of Microwave-Assisted Flash-Extracted Sugar Beet Pectin / Fishman M. L., Chau H. K., Cooke P. H., Hotchkiss Jr. A. T. // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2008. Vol. 56, Issue 4. P. 1471–1478. doi: <https://doi.org/10.1021/jf072600o>

25. Pectin, a versatile polysaccharide present in plant cell walls / Voragen A. G. J., Coenen G.-J., Verhoef R. P., Schols H. A. // Structural Chemistry. 2009. Vol. 20, Issue 2. P. 263–275. doi: <https://doi.org/10.1007/s11224-009-9442-z>

26. Kurita O., Fujiwara T., Yamazaki E. Characterization of the pectin extracted from citrus peel in the presence of citric acid // Carbohydrate Polymers. 2008. Vol. 74, Issue 3. P. 725–730. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.04.033>

27. Ultrasound-assisted extraction of pectins from grape pomace using citric acid: A response surface methodology approach / Minjares-Fuentes R., Femenia A., Garau M. C., Meza-Velázquez J. A., Simal S., Rosselló C. // Carbohydrate Polymers. 2014. Vol. 106. P. 179–189. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.02.013>

ТОЛЬКО ДЛЯ