

УДК 536.248; 660.012.37; 664.292

Вайнберг Р.Ш., Процышин Б.Н., Богданов С.А., Грабошнікова В.И.*Институт технической теплофизики НАН Украины*

ЭНЕРГОЭКОНОМНОЕ БЕССПИРТОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО БИОПОЛИМЕРОВ ПЕКТИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ

На основі тепломасообмінних та оптичних досліджень доведено, що без використання спирту та при зниженні на 40 % технологічного енергоспоживання можна виробляти високоякісні сухі розчинні желюючі пектинові речовини, які замінюють імпортовані комерційні пектини при виготовленні широко розповсюджених продуктів харчування.

На основе тепломассообменных и оптических исследований доказано, что без использования спирта и при снижении на 40 % технологического энергопотребления можно производить высококачественные сухие растворимые желирующие пектиновые вещества, заменяющие импортные коммерческие пектины при изготовлении широко распространенных продуктов питания.

Heat- and mass transfer and optical studies have proved the possibility of obtaining the high-grade dry gelling soluble pectic substances without use any alcohol and at reduction the 40 % of technological energy consumption. The high quality of these substances makes them possible to change imported commercial pectins used in the production of popular food stuffs.

C – концентрация;
 k – константа скорости химических реакций;
 m – масса;
 N – частота вращения центрифуги;
 n – гидромодуль;
 pH – показатель кислотности;
 T – температура;
 X – желирующая способность;
 V – объем;
 W – массосодержание;
 λ – степень метоксилирования;

τ – время;
 B – содержание балластных веществ;
 Π – содержание пектина;
 CB – содержание сухих веществ.

Индексы:

f – жидкая фаза;
 max – максимально достигнутая величина;
 o – начальные условия;
 ε – эксперимент;
 k – концентрат;
 ω – центрифуга.

К числу серьезных проблем, сдерживающих увеличение производства пектина в условиях неудовлетворенных потребностей мирового рынка, относится высокий уровень технологического энергопотребления из-за необходимости нагревать, охлаждать, концентрировать, регенерировать, испарять, конденсировать большие объемы полярных водных растворов различного состава [1,2].

Обсуждение основных резервов уменьшения энергозатрат и снижения себестоимости производства пектина [2] а также приведенных в табл. 1 экспертных оценок вклада отдельных составляющих технологического энергопотребления в общий энергетический баланс производства пектиновых веществ из различных источников сухого и свежего пектинсодержа-

щего сырья показали, что наиболее энергоемким является процесс регенерации осадителя (спирта), на проведение которого расходуется более 40 % общего технологического энергопотребления, и в зависимости от цен на спирт и на энергоносители финансовые затраты на восполнение необратимых потерь спирта составляют 10...12 % общей себестоимости продукции. Поэтому существенное уменьшение расхода спирта является одной из наиболее актуальных задач пектинового производства.

Известно [3], что селективное выделение биополимера пектина основано на способности растворенного пектина к коагулированию только путем обработки жидкой фазы и затем коагуляционного осадка растворами осадителя, чаще всего растворами спиртов различной

крепости. Эффективность коагуляции и расход осадителя зависят от ряда факторов – температуры, рН, вязкости, объема жидкой фазы и содержания сухих веществ в её составе, а также от молекулярной массы и молекулярной структуры биополимера пектина.

Табл. 1. Оценка распределения технологических энергозатрат на реализацию основных этапов производства пектиновых веществ

№ п/п	Технологический этап	Доля технологических энергозатрат в тепловом балансе, %	Определяющие факторы
1	Экстракция пектина	28...32	<ul style="list-style-type: none"> • Сырье: сорт, вид, начальная влажность, степень очистки, размер частиц. • Теплотехнологические параметры экстракции: T-τ-рН-n.
2	Выделение сырого пектина	5...7	<ul style="list-style-type: none"> • Термодинамические условия и степень концентрирования экстракта. • Количество промывок коагулята. • Температура, состав и масса жидкой фазы.
3	Сушка пектиновых веществ	8...10	<ul style="list-style-type: none"> • Начальная и конечная влажность препаратов. • Состав жидкой фазы. • Способ сушки и параметры сушильного процесса.
4	Регенерация осадителя – спирта	42...46	<ul style="list-style-type: none"> • Количество жидкой фазы. • Начальная и конечная концентрация осадителя.

Анализ накопленного авторами экспериментального материала свидетельствует о том, что затраты спирта на проведение собственно коагуляции пектина составляет ~ 55 % от суммарного количества спирта, расходуемого на весь цикл выделения пектина, который кроме коагуляции включает расход спирта на проведение обязательных и независимых от коагуляции операций промывок и закрепления сырого пектина. Концентрирование экстракта в зависимости от диапазона изменения содержания сухих веществ может обеспечить экономию осадителя на 25...40 % только за счет сокращения его расхода на проведение собственно коагуляции, но без применения осадителя принципиально невозможно выделить пектин из пектинового экстракта.

В то же время без использования спирта можно организовать выпуск более дешевых пектинпродуктов – жидких, сухих, растворимых, нерастворимых и пр., которые в ряде случаев могут заменить дорогостоящий чистый пектин при изготовлении широкого спектра распространенных и доступных по цене продуктов питания, однако подробная информация о технологиях их производства не разглашается и в литературе не приводится [4].

Вполне очевидно только, что наиболее перспективными и технологически удобными для последующего использования являются получаемые из пектинового экстракта сухие растворимые пектиновые вещества, представляющие собой физическую смесь, в состав которой биополимер пектина входит в свобод-

ном состоянии и не заблокирован другими составляющими исходного пектинсодержащего сырья.

По сути пектиновый экстракт представляет собой полярный водный раствор высокомолекулярных соединений, который имеет ряд особенностей:

- Линейный полимер пектина, в молекуле которого содержатся полярные группы (карбоксильные, аминогруппы и др.), имеет большое сродство с водой. Поэтому водный раствор пектина является гомогенным, равновесным и термодинамически устойчивым.

- В растворах линейных полимеров отсутствует важный признак истинной коллоидной системы – существование поверхности раздела между дисперсной фазой и окружающей ее дисперсионной средой. Это связано с тем, что молекулы высокомолекулярных соединений большей частью цепные, нитевидные, т.е. анизодиаметричные. Отношение длины молекулы пектина к ее поперечному сечению составляет $10^3 \dots 10^4$, и хотя длина молекулы достигает и даже превосходит размеры коллоидных частиц, их поперечное сечение остается в пределах молекулярных размеров – 0,1 нм [3], откуда следует, что поверхность раздела молекул пектина с дисперсионной средой стремится к нулю. Цепочные макромолекулы полимера пектина гибкие: их звенья при изгибе создают неплотную упаковку молекул, когда низкомолекулярная жидкость – вода с растворенными в ней веществами – заполняет свободные пространства между молекулами пектина и этим вызывает ослабление межмолекулярного взаимодействия пектиновых частиц.

- В то же время экстракты пектина по ряду свойств выступают как коллоидные системы. Подобно коллоидным частицам молекулы полимера пектина обладают весьма малой скоростью диффузии и не способны проникать через полупроницаемые мембраны. Для растворов пектинов так же, как и для других коллоидов, характерны замедленное течение всех процессов и сильное влияние малых добавок других веществ на их свойства. При испарении избыточной влаги все минеральные и красящие вещества,

остатки сахаров и др. примеси остаются в обезвоженном продукте. Поэтому испарение как метод выделения чистого пектина непригоден и может использоваться только при необходимости концентрирования экстракта или при производстве из экстракта сухих пектинсодержащих препаратов.

В настоящей работе рассматриваются тепломассообменные проблемы энергосберегающего бесспиртового получения сухих пищевых растворимых желеобразующих пектиновых веществ, конкурентоспособных с коммерческими импортными пектинами; приводятся результаты исследования их взаимодействия с жидкими средами и оценки эффективности их производства.

Выбор кислоты для бесспиртового выпуска пектиновых веществ. Поскольку имеющиеся в литературе сведения о влиянии разных кислот на интенсивность извлечения и качественные показатели пектина ограничены и противоречивы [5], были поставлены специальные эксперименты, позволившие оценить влияние вида кислоты на полноту экстрагирования и качественные характеристики пектина, извлекаемого из одного и того же сырья при одинаковых теплотехнологических параметрах процесса.

Относительный выход пектина m/m_{\max} оценивался по отношению массы пектина m , осаждаемого из экстракта при использовании конкретного вида кислоты, к максимально достигнутому значению m_{\max} . Выделение пектина проводилось

по технологии ИТТФ НАНУ [6]. Некоторые результаты представлены в табл. 2.

Анализ данных, приведенных в табл. 2, показывает, что наиболее перспективно вводить в состав экстрагента такие кислоты, которые хорошо растворяются в воде, не вызывают коррозии металлического оборудования и не приводят к образованию вредных газовых выбросов в окружающую среду. Видно, что этим требованиям отвечают минеральная (азотная) и органическая (лимонная) кислоты. Наблюдаемое увеличение выхода пектина при

использовании азотной кислоты по сравнению с использованием лимонной кислоты является прямым следствием законов химической кинетики [7], согласно которым при одинаковых термодинамических условиях величина константы скорости химических реакций k при взаимодействии более сильной минеральной кислоты (в данном случае HNO_3) с чистым пектином, т.е. более слабой полигалактуроновой кислотой, выше, чем k реакции взаимодействия двух слабых органических кислот – лимонной и полигалактуроновой.

Именно поэтому для промышленного выпуска пектина чаще всего используется азотная кислота, позволяющая более экономными средствами достичь наибольшего выхода пектина наилучшего качества и высокой степени чистоты; и в то же время для обеспечения требуемой производительности нужно переработать в 1,7 раз меньше сырья и затратить в ~ 15 раз меньше азотной кислоты чем более дорогой лимонной.

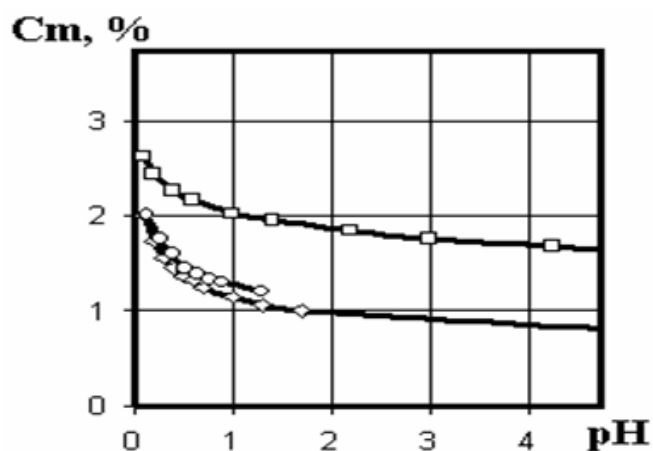


Рис.1. Взаимосвязь между массовой концентрацией кислоты C_m и pH ее раствора в дистиллированной воде:

- – раствор лимонной кислоты;
- – раствор азотной кислоты;
- ◇ – раствор сильной органической кислоты (НОУ-ХАУ ИТТФ).

Табл. 2. Влияние вида кислоты на полноту извлечения и желирующую способность пектина (сырье, pH, T , τ , n -idem)

КИСЛОТА	Тип кислоты	Относительный выход пектина m/m_{\max} , %	Желирующая способность, X , °Т-Б	Примечания
СОЛЯНАЯ	минеральная	100	288	Интенсивная загазованность помещения, наиболее высокая коррозионная активность
СЕРНАЯ	-"	94,7	265	Высокая коррозионная активность
СЕРНИСТАЯ	-"	77,9	258	Высокая коррозионная активность
АЗОТНАЯ	-"	99,6	272	Инертна по отношению к металлическому оборудованию
ЛИМОННАЯ	органическая	59,6	268	Инертна по отношению к металлическому оборудованию

Однако, при бесспиртовом выпуске сухих пищевых пектиновых веществ использование любой минеральной кислоты (в т.ч. и HNO_3) недопустимо, а применение лимонной кислоты, как показано выше, дорого и малоэффективно. Поэтому нужно выбрать более сильную, чем лимонная, органическую кислоту, в структуре которой отсутствуют соединения, запрещенные отечественными и международными требованиями [4].

С этой целью при одной и той же температуре была изучена взаимосвязь между массовой концентрацией различных кислот C_m и достигаемыми при таких C_m значениями рН водных растворов этих кислот. Кривые $\text{pH}(C_m)$ для растворов в дистиллированной воде азотной, лимонной и предлагаемой нами более сильной по сравнению с лимонной органической кислоты приведены на рис. 1; тип предложенной кислоты составляет НОУ-ХАУ ИТТФ НАНУ; существенно, что её цена в 5,4 раза ниже, чем цена лимонной кислоты.

Видно, что зависимость $\text{pH}(C_m)$ для водного раствора выбранной органической кислоты весьма близка к кривой $\text{pH}(C_m)$ для раствора азотной кислоты. Результаты определения содержания пектина в экстракте в зависимости от вида кислоты показали, что для обеспечения требуемого рН экстрагента при переработке одного и того же количества одинакового сырья расход выбранной органической кислоты на 15...20 % меньше, чем расход азотной кислоты и ~ в 3,75 раза меньше, чем расход лимонной кислоты, из чего явно следует, что замена лимонной кислоты на предлагаемую органическую приводит к снижению себестоимости сухих растворимых пектинпродуктов.

Результаты изучения теплотехнологических процессов бесспиртового получения растворимых пектиновых веществ. Извлечение термолабильных полимеров пектиновых веществ (ПВ) из пектинсодержащего сырья – это сложный комплекс одновременно протекающих взаимосвязанных химических и тепломассообменных процессов [1]. Бесспиртовое производство сухих растворимых ПВ представляет

последовательность теплотехнологических процессов гидролизэкстракции пектина, концентрирования отфильтрованного экстракта и его сушки.

В качестве пектинсодержащего исходного материала могут быть использованы образующиеся после отжима сока выжимки местного растительного сырья (тыквы, яблок), либо наиболее обогащенное пектином привозное сухое сырье, например, цитрусовые выжимки, из которых производится свыше 80 % общего количества выпускаемого в мире пектина [3]; при проведении настоящего исследования использовались высушенные цитрусовые выжимки (Аргентина).

Экспериментальные исследования экстракции пектина с применением предложенной сильной органической кислоты и последующего концентрирования экстракта проводились на экспериментальной установке, подробно описанной в [8]; сушка жидкой фазы осуществлялась на распылительной сушильной установке ИТТФ НАНУ, в ряде случаев часть жидкой фазы высушивалась в виде пленки, наносимой на непроницаемую подложку.

В опытах регистрировались теплотехнологические параметры экстракции (T , τ , рН, n) и содержание сухих веществ в жидкой фазе в начале и конце процесса; определялись содержание пектина в экстракте и сухом растворимом продукте; по стандартным методикам [9] измерялись его качественные характеристики – X , λ , $\Pi_{\text{ч}}$, B и др.

Опыты проводились при следующих значениях параметров экстракции: продолжительность $\tau = 2$ ч; диапазон изменения температуры $T = 353...363$ К; гидромодуль $n = 13...30$; начального значения $\text{pH}_0 = 1,45...1,6$. После завершения процесса конечная величина рН экстракта достигала значения 1,72...2,14, содержание сухих веществ в экстракте $\text{СВ}_3 = 1,9...2,8$, в концентрате $\text{СВ} = 5...10$ %.

Качественные характеристики пектина в составе сухого растворимого пектинпродукта, полученного с применением сильной органической кислоты, сравнивались с аналогичны-

ми характеристиками, достигаемыми при использовании азотной кислоты.

Обработка и анализ полученных данных показали, что использование сильной органической кислоты позволяет производить сухой растворимый пектиновый препарат, в составе которого содержится пектин более высокого качества, чем при применении азотной кислоты (табл. 3), в нем находится в 1,6 раза меньше балластных веществ и имеет место более благоприятное сочетание показателей X и λ , т.е. он лучше желирует при меньшем значении величины λ (ср. стр. 2 и 3 со стр. 1 табл. 3).

При использовании сильной органической кислоты глубокое концентрирование экстракта до $СВ_k = 10\%$ практически не сказывается на качестве пектина в составе растворимого пектинпродукта, разница между значениями показателей качества пектина при $СВ_k = 5\%$ и $СВ_k = 10\%$ не превышает 1 %, что находится в пределах точности измерений (ср. стр. 2 и 3 табл. 3).

При максимально достигнутой в конце экстракции величине $СВ = 2,8\%$ содержание осажденного пектина составило 62,5 %. Поскольку доля полигалактуроновой кислоты (чи-

стого пектина) в осажденном пектине равна $П_ч = 81,2...81,3\%$ (табл. 3), истинный вклад пектиновой компоненты в состав сухого растворимого пектинпродукта составляет 50,75...50,80 %, т.е. для получения стандартного желе крепостью $X_{ст} = 150$ °Т-Б требуется \approx в 1,3...1,4 раза больше пектинпродукта по сравнению с пектином.

Анализ также показал, что концентрация кислоты в абсолютно сухом пектинпродукте не превышает 77,8 ppm, в 1 % – растворе – 27,8 ppm.

Сравнение полученных данных относительно содержания пектина в растворимом пектин-продукте и его качественных показателей с характеристиками коммерческих импортных пектинов показало [10], что доля пектина в новом растворимом пектинпродукте в большинстве случаев выше, чем в импортных пектинах; содержание балластных веществ в пектине, входящем в состав растворимого продукта, в 3,8...7,5 раз меньше, чем в импортных пектинах и для получения растворимого пектинпродукта не используются искусственно завышающие желирующую способность буферные добавки.

Табл. 3. Влияние вида кислоты на качественные показатели пектина в растворимом пектинпродукте (T , τ , pH, n , тип сырья – idem)

№ п/п	Вид кислоты	Показатели качества пектина				
		Степень метоксилирования, λ , %	Желирующая способность, X , °Т-Б	Содержание балластных веществ, Б, %	Содержание полигалактуроновой кислоты, $П_ч$, %	Содержание полигалактуроновой кислоты П, %
1	Азотная	64,2	280	8,5	80,1	73,3
2	Сильная органическая, содержание сухих веществ в концентрате $СВ_k = 5\%$	60,4	290	5,3	81,3	77,0
3	То же, $СВ_k = 10\%$	60,2	287	5,3	81,2	76,9

Табл. 4. Примеры влияния условий отделения экстракта от отработанного сырья на качество пектина в составе растворимого пектинпродукта

Условия отделения экстракта	Качественные показатели пектина	
	Желирующая способность, X , ° Т-Б	Степень метоксилирования, λ , %
Декантирование, $N = 0$ (контрольный образец)	280	60,3
Обработка в поле центробежных сил, $\tau_{ц} = 5$ мин, $N_{ц} = 3000$ об/мин	280	60,6
То же, $N_{ц} = 6000$ об/мин	284	60,5

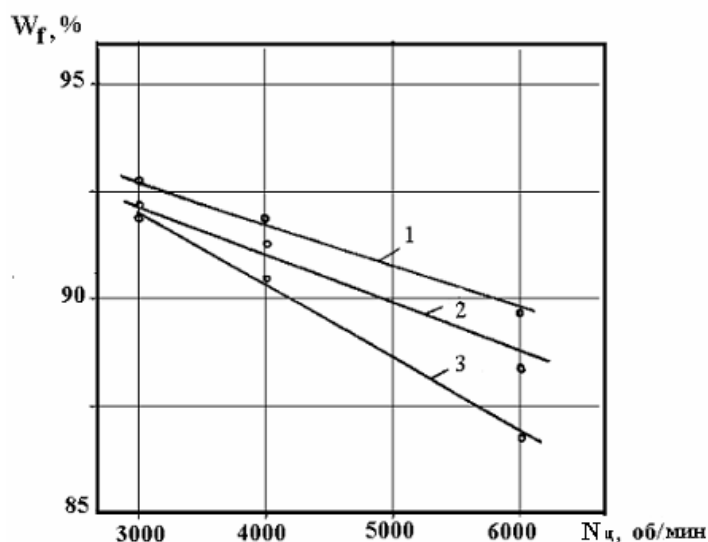


Рис. 2. Зависимость массосодержания фильтрового остатка W_f , % от частоты вращения $N_{ц}$ и продолжительности работы центрифуги: 1 — $\tau_{ц} = 1$ мин, 2 — $\tau_{ц} = 3$ мин, 3 — $\tau_{ц} = 5$ мин.

Количество отделяемого пектинового экстракта и качество сухого растворимого пектинпродукта зависят от степени отжима высоковлажного отработанного сырья и чистоты отфильтрованного экстракта.

Одним из перспективных методов увеличе-

ния степени отжима является центрифугирование, в связи с чем было проведено исследование взаимосвязи между условиями отделения пектинового экстракта от отработанного пектинсодержащего сырья в поле центробежных сил, содержанием и качественными характеристиками пектина, входящего в состав пектинпродукта.

Во всех тестах пектин экстрагировался из сухого цитрусового сырья при одинаковых параметрах процесса, варьировались только частота вращения центрифуги $N_{ц} = 3000 \dots 6000$ об/мин и длительность обработки смеси экстракт — отработанное сырье в поле центробежных сил ($\tau_{ц} = 1 \dots 5$ мин.) В каждом опыте определялись масса и массосодержание отработанного сырья (фильтрового остатка), содержание пектина в экстракте, его желирующая способность X и степень метоксилирования λ , которые сравнивались с аналогичными показателями контрольного образца пектина, осажденного из спокойно продекантированного экстракта. Подробно методика исследования приведена в [11].

Установлено, что отделение экстракта от отработанного сырья в поле центробежных сил не приводит к деструкции и изменению качественных показателей биополимера пектина

по сравнению с показателями контрольного образца (табл. 4).

Уменьшение массосодержания жидкой фазы в фильтровом остатке W_f с ростом частоты вращения N_{ω} и при удлинении продолжительности отжима τ_{ω} (рис. 2) обеспечивает увеличение выхода пектинпродукта и экономию расходов сырья, энергии, реагентов, например, конкретно в рассмотренном случае достигнуто увеличение доли пектина в составе СВ на 12...15 %.

Кинетика структурообразования и взаимодействия с жидкостью растворимого пектинпродукта. С целью изучения кинетики структурообразования нового растворимого пектинпродукта и его поведения при взаимодействии с жидкостью были проведены оптические исследования (визуальные наблюдения и микрофотографирование) ряда опытных образцов материала, полученного без использования спирта, основанные на использовании методов световой микроскопии и применении приёмов, исключающих введение каких-либо физико-химических воздействий на объект наблюдений. В одних случаях образцы изучались в естественном (нетронутым) состоянии, в других случаях для этого выделялись отдельные участки (фрагменты).

Для получения объемных представлений об элементах структуры использовался стереоскопический микроскоп МБС-9; для визуализации изучаемых объектов и проведения измерений использовались микроскоп Биолам – 70 с микрофотонасадкой МФН – 12 в сочетании с цифровой техникой и световой микроскоп МБИ – 5, в котором была создана гибкая оптическая схема, позволившая выделять оптимальные участки объекта для оценки достоверной информации о его структурных особенностях и проведения сравнительного анализа данных информации, полученных при различных условиях.

Объектами исследования служили два образца сухих растворимых желеобразующих пектинпродуктов, содержание СВ в жидкой фазе поступавшей на сушку составляло, соответственно, 5 % и 10 %.

В качестве иммерсионной жидкости был выбран глицерин с коэффициентом преломле-

ния, равным 1,4; поведение высушенных образцов пектинпродукта при взаимодействии с жидкими средами изучалось в дистиллированной воде, окрашенной метиленовым синим, и с растворами этанола в глицерине.

Визуальные наблюдения, анализ накопленных микрофотографий и литературы [12-15], показали:

- Высушенный пектинпродукт представляет собой мелкодисперсный порошкообразный препарат телесного цвета, состоящий из круглых частиц, оттенки окраски и размер которых зависят от начального содержания сухих веществ в экстракте, поступающем на сушку. При росте СВ₀ с 5 % до 10 % цвет продукта становился более темным и увеличивался размер частиц, но во всем диапазоне СВ₀ максимальный диаметр единичной частицы не превысил 25 мкм.

- Поверхность единичной частицы выглядит бугристой, шероховатой, при больших увеличениях на микрофотографиях были заметны трещины, появление которых можно объяснить усадкой биополимеров пектиновых веществ при переходе материала за время сушки от коллоидного к капиллярно-пористому состоянию [1].

- Анализ микрофотографий, полученных при использовании 40 % – раствора спирта в глицерине в качестве иммерсионной жидкости, позволил выявить у частиц наличие оболочки, внутри которой находится в виде отдельных агрегатов неструктурированная масса материала, и зафиксировать, что в течение 1...15 мин. происходят последовательно набухание частицы, разрыв её оболочки, распад внутреннего содержимого на наночастицы размером 250...500 нм и в завершение – полное растворение всей массы частиц в смеси спирт-глицерин [15].

- При изучении микрофотографий, полученных с применением в качестве контрастирующего реагента водного раствора метиленового синего отчетливо зафиксированы четыре зоны, которые представляют собой: сухой по-

рошкообразный продукт (I зона); начало растворения, появление слабого окрашивания (II зона); концентрированный водный раствор метиленового синего (III зона) и раствор, окрашенный в интенсивный фиолетовый цвет (IV зона). Все четыре зоны наблюдений отчетливо видны на рис. 3.

Поскольку известно [12], что под действием метиленового синего именно раствор пектина окрашивается в фиолетовый цвет, можно сделать вывод, что IV зона по сути представляет собой растворенный пектин. Равномерность распределения наночастиц материала по всему объему водного раствора метиленового синего, отсутствие в растворе каких либо инородных включений и структурных образований, а также его интенсивная окраска в фиолетовый цвет свидетельствуют о полной растворимости и чистоте полученного пектинпродукта и указывают на высокое содержание пектина в его составе, что согласуется с результатами независимых прямых измерений качественных показателей препарата и определения содержания пектина в его составе (табл. 3) и дает основание рассматривать новый пектинпродукт как эквивалентный заменитель коммерческого пектина.

После отделения от жидкой фазы из отработанного сырья можно изготавливать сухой пищевой нерастворимый пектиновый порошок [6] и использовать его при выпуске низкокалорийных диетических хлебобулочных и кондитерских изделий [16].

В крайнем случае, проэкстрагированное сырье можно утилизировать при выработке тепловой энергии на собственные нужды пектинового предприятия, теплота сгорания сухого отработанного сырья составляет 13,9...14,2 МДж/кг, вредных газообразных выбросов по данным испытаний, проведенных в НТУ «КПИ», г. Киев, Украина нет.

Эффективность бесспиртового производства растворимого желирующего пектинпродукта. По сравнению с производством коммерческого пектина по традиционной технологии разработанная инновационная технология бесспиртового производства растворимого желиру-

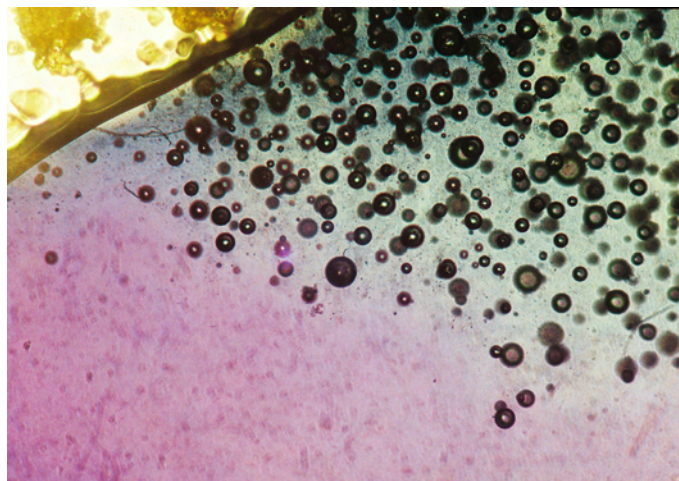


Рис. 3. Визуализация кинетики взаимодействия высушенного пектинпродукта с водным раствором метиленового синего. Описание четырех зон наблюдений – в тексте.

ющего пектинпродукта имеет ряд конкурентных преимуществ, главные из которых это:

- его использование взамен дорогостоящего коммерческого пектина в производстве широкораспространенных продуктов питания и напитков функционального назначения, в т.ч. радиопротекторного и детоксикационного действия, низкокалорийных, диетических и пр.;
- повышение энергоэффективности технологического цикла и снижение себестоимости продукции за счет полного отказа от применения спирта и от необходимости проведения его энергозатратной регенерации с использованием дорогостоящих ректификационных установок (табл. 1);
- упрощение и ускорение технологического цикла, двухкратное увеличение выхода желирующего пектинпродукта по сравнению с выходом коммерческого пектина;
- сокращение капитальных затрат, производственных площадей, единиц оборудования и количества обслуживающего персонала;
- экологическая безопасность, исключение вредных выбросов в окружающую среду.

Результаты проведенных экономических расчетов в прединвестиционной фазе по оцен-

ке усредненной себестоимости бесспиртового производства сухих пектинпродуктов и срока окупаемости предприятия показали, что даже при вдвое меньших оптовых ценах на растворимый желирующий пектинпродукт по сравнению с ценами на импортный коммерческий пектин, разработка окупается за 2...2,5 г., а его выпуск позволит полностью отказаться от многомиллионных затрат валютных средств на приобретение импортного коммерческого пищевого пектина.

Сравнение эффективности производства различных видов пектиновых веществ показало, что без использования спирта растворимые пектинпродукты наиболее целесообразно и выгодно производить из сухого сырья после завершения сезона безотходной переработки свежих выжимок на особо чистые, но более дорогие пектин и пектиновый порошок, предназначенные для использования в здравоохранении [10,16].

Основные технологические решения, приемы и параметры бесспиртового энергосберегающего производства сухих растворимых желирующих пектиновых веществ составляют НОУ-ХАУ ИТТФ НАНУ.

Выводы

Доказано, что без использования дорогостоящего спирта можно изготавливать сухие желирующие пектиновые вещества, в составе которых содержится в виде физической смеси более 50 % высококачественного свободного биополимера пектина.

По сравнению с традиционным производством пектина бесспиртовой выпуск сухих растворимых пектиновых веществ позволяет сократить более чем на 40 % технологическое энергопотребление, увеличить в 1,5...1,6 раз выпуск готовой продукции, упростить технологический процесс, уменьшить число единиц оборудования и отказаться от использования импортных коммерческих пектинов при изготовлении широко распространенных продуктов питания, на приобретение которых в Украине ежегодно затрачивается порядка 7 млн. USD.

1. *Вайнберг Р.Ш., Процьшин Б.Н., Богданов С.А., Гордиенко П.В., Буцкий Н.Д.* Теплофизические проблемы и практические результаты повышения энергоэффективности извлечения и термообработки высокомолекулярных биополимеров // Пром. теплотехника. – 2007, Т. 29, № 7.– С. 201-205.

2. *Vainberg R.Sh., Bogdanov S.A., Butsky N.D.* The prospects for energy saving in the production of pectin and pectin containing compositions // Ind. Heat Eng. – 2000. – V 22, № 1.– P.5-9.

3. *Донченко Л.Б., Карнович Н.С., Симхович Е.Г.* Производство пектина – Кишинев, 1994. – 182 с.

4. *Виробництво та використання пектинів у харчовій промисловості* // За редакцією Гулого І.С., Купчика М.П. – Харків: видав. Шуст, 2001, 120 с.

5. *Шелухина Н.П., Абаева Р.Ш., Аймухамедова Г.Б.* Пектин и параметры его получения. – Фрунзе: Илим, 1987. – 108 с.

6. *Спосіб комплексної переробки відходів виробництва фруктових соків.* Богданов С.А., Буцький М.Д., Вайнберг Р.Ш., Гордієнко П.В., Долінський А.А., Процишин Б.М. // Патент України на корисну модель № 27898 від 26.11.2007 р.

7. *Эмануэль Н.М., Кнорре Д.Г.* Курс химической кинетики. – М.: Высшая школа, 1962. – 414 с.

8. *Вайнберг Р.Ш., Богданов С.А., Буцкий Н.Д.* Интенсификация экстракции термолabile органических полимеров в жидкий электролит // Промышленная теплотехника. – 1997.– Т.15, № 2-3.– С.47-50.

9. *Пектин.* Технические условия. ГОСТ 28186-91.

10. *Процьшин Б.Н., Вайнберг Р.Ш., Богданов С.А.* Оптимизация тепломассообменных условий получения биополимеров пектина лечебно-оздоровительного назначения // Промышленная теплотехника, – 2009. – Т.31, № 6.– С.85-94.

11. *Vainberg R.Sh., Bogdanov S.A., Butsky*

N.D and Atamanyuk M.P. On the efficiency of centrifugal phase separation method in pectin production // 13 th Intern. Congr. CHISA-98. Praha. – 1998. – prepr. 0803.

12. *Фролов Ю.Г.* Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. – М.: Химия, 1989. – 463 с.

13. *Борбат А.М., Горбань И.С. и др.* Оптические измерения. – Киев: Техніка, – 1967. – 419 с.

14. *Джапаридзе Л.И.* Практикум по микроскопической химии растений. – М. изд. «Советская наука», 1953. – 168 с.

15. *Серенсон И, Кемпбел Т.* Препаративные методы химии полимеров. – М: Химия, пер. с англ., 1963. – 264 с.

16. *Качалай Д.П., Любенко А.А., Вайнберг Р.Ш.* и др. Методические указания по использованию в лечебно-профилактических целях пектина и пектинодержащих продуктов № 5049-89. – Киев, Урожай, 1990. – 15 с.

Получено 15.12.2009 г.

УДК 629.7.536.27+662.987

Исламова С.И., Шамсутдинов Э.В.

Исследовательский центр проблем энергетики Казанского научного центра РАН

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СТАДИИ ГАЗОРАЗДЕЛЕНИЯ КРУПНОТОННАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭТИЛЕНА

Представлено розроблений узагальнений алгоритм розв'язання задачі по підвищенню ефективності використання енергії на промисловому підприємстві нафтохімічного комплексу. В рамках даного алгоритму проведена оцінка енергетичної ефективності теплотехнологічної схеми стадії газорозділення виробництва етилену, розроблена система утилізації низькопотенційних ВЕР, вибрано та обґрунтовано спосіб інтенсифікації теплообміну для теплообмінних апаратів схеми.

Представлен разработанный обобщенный алгоритм решения задачи по повышению эффективности энергоиспользования на промышленном предприятии нефтехимического комплекса. В рамках данного алгоритма проведена оценка эффективности энергоиспользования теплотехнологической схемы стадии газоразделения производства этилена, разработана система утилизации низькопотенціальних ВЭР, выбран и обоснован способ интенсификации теплообмена для теплообменных аппаратов схемы.

In work developed generalized problem algorithm to increase of effectiveness of energy usage of petrochemical plant is presented. In the limit of this algorithm the effectiveness of energy usage of thermo-technological gas separation scheme in manufacture ethylene is estimated, system the low-potential secondary energy resources utilization is developed, a way of intensification heat exchange for heat exchangers is selected and substantiated.

b – ширина треугольного интенсификатора;

d – внутренний диаметр трубы;

h – высота интенсификатора;

Nu – число Нуссельта;

Re – число Рейнольдса;

s – шаг накатки;

α – коэффициент теплоотдачи;

η – теплогидродинамическая эффективность;

ξ – гидравлическое сопротивление;

АСУТП – автоматизированная система

управления технологическими процессами;

ВЭР – вторичные энергоресурсы;

ГВС – горячее водоснабжение;