

УДК 536.248; 660.012.37; 664.292

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

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ БИОПОЛИМЕРОВ ПЕКТИНА ЛЕЧЕБНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Визначено тепломасообмінні умови, які під час відокремлення баластних речовин забезпечують збереження структури молекулярного ланцюга біополімеру пектину та підвищують його чистоту, що дозволяє широко використовувати такі модифікації пектинів з лікувально-оздоровчою метою.

Определены тепломасообменные условия, обеспечивающие повышение чистоты и сохранность структуры молекулярной цепи биополимера пектина при удалении из его состава балластных веществ, что позволяет широко использовать такие модификации пектинов в лечебно-оздоровительных целях.

The heat-and mass conditions, providing safety of the molecular chain structure of the biopolymers of pectin and increasing of its purity in removal from its composition some ballast material that allows broadly to use such modification of pectin in medical-sanitary purposes are determined.

С – концентрация;

m – масса;

n – гидромодуль;

T – температура;

X – желирующая способность;

V – объем;

 $\lambda$  – степень метоксилирования; $\tau$  – время;

Б – содержание балластных веществ;

П – содержание пектина;

СВ – содержание сухих веществ;

рН – показатель кислотности.

**Индексы:**

v – относится к объёму;

o – начальные условия;

ж.ф. – жидкая фаза;

э – эксперимент;

р – расчет.

Пектины относятся к классу природных высокомолекулярных биополимеров, содержат в составе молекулярной цепи свободные карбоксильные группы, обуславливающие способность образовывать с многообразием токсинов, в т.ч. и органического происхождения, а также с ионами тяжелых металлов и их радиоизотопами нерастворимые соединения, которые выводятся из организма человека.

Высокие детоксикационные и лечебно-профилактические свойства и абсолютная безвредность пектинов были подтверждены многочисленными наблюдениями. В [1,2,3] обобщаются результаты более 300 научных работ и патентов, опубликованных в США, Германии, Швейцарии, России и др., в которых приводится обширная информация о положительном и многофункциональном действии пектинов, использованных с целью лечения и профилактики широкого спектра заболеваний в областях терапии, онкологии, иммунологии, гематологии, кардиологии, стоматологии, дерматологии

и пр. Анализ мировых исследований показывает, что обогащение пектинами пищевого рациона оказывает лечебно-профилактическое действие на функционирование пищеварительной системы, снижение содержания холестерина в крови и печени; ускорение вывода из организма вредных веществ, в т.ч. изомеров диоксина, моно- и двухвалентных минералов и тяжелых металлов. Отмечается антиоксидантный, мембраностабилизирующий и иммуномоделирующий эффекты действия пектинов; они не только стимулируют врожденную иммунную систему, но и способствуют уменьшению первичных опухолей, а в случае новообразований препятствуют развитию метастазов, останавливают кровотечения и др. В косметических изделиях пектины выполняют функции гипоаллергенных экопротекторов, обеспечивая защиту поверхности кожи человека от вредного воздействия окружающей среды.

Основной эффект лечебного действия пектинов обусловлен особенностями химической структуры

его макромолекулы и способностью распадаться на наночастицы при взаимодействии с жидкой средой. Наиболее эффективное лечебно-профилактическое действие оказывают низкометоксилированные пектины с увеличенным числом свободных карбоксильных групп в составе молекулярной цепи биополимера [4]. Регулярное употребление пектинов разрешено всеми отечественными и международными стандартами, по оценкам ВОЗ годовая потребность в пектине лечебно-профилактического назначения составляет более 700 т на 1 млн. населения.

Вследствие высокого уровня технологического энергопотребления при производстве пектина в Украине и странах СНГ его выпуск в промышленных условиях прекращен с 1993 г. Мировые цены на пектины лечебного действия уже в 2006 г. превысили 160...200 USD/кг и продолжают расти, основные покупатели продукта – самые высокоразвитые государства – США, страны ЕС, Япония; технологии производства пектинов составляют абсолютную коммерческую тайну и не разглашаются.

В ИТТФ НАНУ разработаны пакет НОУ-ХАУ и инновационная скоростная энергосберегающая технология комплексной безотходной переработки фруктовых и овощных выжимок (яблочных, цитрусовых, тыквенных и др.) на пектиновые вещества, в т.ч. на наиболее ценную высокоактивную модификацию – низкометоксилированный пектин [5]. Пектиновые препараты, изготовленные по технологии ИТТФ НАНУ, с успехом прошли *in vitro*; *in vivo* и в клинических условиях комплекс независимых физико-химических и медико-биологических испытаний, которые показали, что они конкурентоспособны с лучшими детоксикантами и рекомендованы к использованию в лечебно-профилактических целях и для организации питания функционального назначения [6]. Несмотря на острую необходимость массового применения пектинов лечебно-профилактического действия этот рынок в Украине практически не освоен из-за отсутствия известной авторитетной торговой марки, высокой цены и ориентации Украины на потребление только импортного пищевого относительно дешевого пектина (до 20 € за кг).

Для организации выпуска на основе пектина новых поколений натуральных лекарственных средств пролонгированного действия необходимо,

чтобы показатели чистоты и качественные характеристики пектина полностью отвечали строгим международным требованиям.

В настоящей работе поставлена задача определения тепломассообменных условий, позволяющих обеспечить высокую чистоту пектинов лечебно-профилактического действия и без разрушения молекулярной структуры биополимера минимизировать в его составе содержание балластных веществ. Рассматриваются две ситуации: дополнительная очистка ранее выпущенных сухих пектинов и специальная очистка модификаций пектинов лечебно-профилактического назначения непосредственно в процессе извлечения пектина.

**Дополнительная очистка сухих пектинов.** Объектами исследования служили образцы ряда модификаций сухих пектинов, поставляемых по импорту фирмами Даниско, Herbstreith & Fox KG, Гену, “Pektowin” и др. и наработанных по технологии ИТТФ НАНУ, варьировались тип сухого пектина (высоко- и низкометоксилированные) и вид исходного пектинсодержащего сырья (яблоки, цитрусовые).

Анализ результатов определения качественных показателей промышленных образцов сухих пектинов, поставляемых в Украину и Россию, проведенных по стандартным методикам [7], показал, что более 70 % импортных поставок различных модификаций пектина сильно загрязнены балластными веществами, что и содержание собственно пектина в их составе меньше минимально разрешенной нормы (см. табл. 1), т.е. без дополнительной специальной очистки такие пектины нельзя непосредственно использовать в оздоровительных целях.

Для проведения дополнительной очистки образец пектина сначала растворялся в дистиллированной воде, затем пектин осаждался из раствора этанолом и высушивался. Разработанная в ИТТФ НАНУ методика исследований и особенности процесса растворения линейного цепочного высокомолекулярного полимера пектина подробно обсуждены в [7].

Анализ представленных в табл. 1 данных показывает:

- Водная обработка сухого пектина во всех случаях приводит к уменьшению содержания балластных веществ в составе пектина и при этом лишь незначительно снижает степень метоксилирования

исходного материала, что свидетельствует о сохранности молекулярной структуры биополимера пектина после очистки.

• После очистки содержание пектина возрастает по сравнению с исходным значением величины  $\Pi$ , однако и после очистки ряда импортных образцов содержание пектина в них не достигало допустимого минимума, равного  $\Pi_{\min} = 65\%$  (например, образцы 5 и 6 в табл. 1), их желирующая способ-

ность резко снизилась и в некоторых случаях очищенный пектин вообще перестал желировать. Это обстоятельство напрямую указывает на то, что для увеличения прочности пектинового геля в состав товарного пектина специально вводятся синтезированные соединения, которые надо удалять перед использованием продукта в лечебно-оздоровительных целях.

Табл. 1. Влияние дополнительной очистки сухих пектинов на их качественные характеристики

№ п/п	Вид пектина	Показатели	Степень метоксилирования, $\lambda$ , %	Содержание пектина, $\Pi$ , %	Содержание балластных веществ, $B$ , %	Желирующая способность, $X$ , °Т-Б	Относительная убыль массы пектина после очистки, $\Delta m$ , %
1	Цитрусовый, импортный	до очистки	64,9	50,0	40,0	230	–
		после очистки	58,5	74,5	16,1	150	36
2	Яблочный, импортный	до очистки	37,8	48,6	40,0	207	–
		после очистки	34,9	73,8	11,0	не жел.	34
3	Цитрусовый, импортный	до очистки	61,6	55,9	36	287	–
		после очистки	57,0	76,5	15,3	207	30
4	Яблочный, импортный	до очистки	70,1	73,0	5,6	276	–
		после очистки	64,8	73,3	5,2	150	6
5	Цитрусовый, импортный	до очистки	54,9	39,9	35	150	–
		после очистки	52,5	55,5	10,5	130	30
6	Цитрусовый, импортный	до очистки	29,2	37,1	40,0	150	–
		после очистки	28,0	55,9	11,2	не жел.	36
7	Яблочный, импортный	до очистки	58,5	64,0	20,0	265	–
		после очистки	54,8	70,0	13,1	160	18
8	Лимонный, ИТТФ НАНУ	до очистки	72,2	70,2	9,2	327	–
		после очистки	70,5	77,9	4,1	350	4
9	Лимонный, ИТТФ НАНУ	до очистки	44,1	65,8	9,1	258	–
		после очистки	42,6	71,1	4,5	272	5
10	Яблочный, ИТТФ НАНУ	до очистки	55,5	66,5	9,5	150	–
		после очистки	52,9	70,6	4,3	168	4

• После проведения дополнительной очистки желирующая способность пектинов, изготовленных по технологии ИТТФ НАНУ, возрастает на 5...12 %, что является прямым следствием увеличения содержания чистого пектина в их составе после очистки (см. образцы 8-10, табл. 1).

• Проведение дополнительной очистки сухого пектина приводит к потере массы исходного сухого материала  $\Delta m$ , которая зависит от начального содержания балластных веществ  $B_0$ : чем меньше величина  $B_0$ , тем меньше расход пектина на производство очищенного препарата. Именно поэтому

убыль массы при очистке пектинов, изготовленных по технологии ИТТФ НАНУ, составляла  $\sim 5\%$ , тогда как при очистке ряда импортных образцов величина  $\Delta m$  превышала  $30\%$ .

Поскольку при очистке пектина в качестве растворителя пектина используется вода, а в качестве осадителя – легколетучие спирты (этанол, изопропанол), повышение температуры жидкой фазы с одной стороны приводит к росту немоделируемых необратимых потерь легколетучей составляющей и к увеличению расхода энергии на нагрев воды и на дополнительную регенерацию спирта [8], с другой – интенсифицирует процесс растворения пектина в воде – наилучшим растворителем пектиновых веществ [9].

Изучение влияния температуры жидкой фазы на чистоту пектина проводилось на примере дополнительной очистки сухих образцов пектина, наработанных по технологии ИТТФ НАНУ, в интервале температур жидкой фазы  $T = 293 \dots 303 \text{ K}$ , охватывающих диапазон от нормальной температуры окружающей среды до условий допустимого предела потерь легколетучего спирта. Основные параметры процесса дополнительной очистки – продолжительность, частота перемешивания раствора и концентрация в нем пектина, соотношение объемов раствор/осадитель и др. поддерживались одинаковыми. Некоторые результаты измерений представлены в табл. 2.

Табл. 2. Влияние температуры жидкой фазы на качественные показатели сухого пектина после его дополнительной очистки

№ п/п	Характеристики исходного образца	Температура Жидкой фазы, $T_{ж.ф.}, \text{K}$	Характеристики образца после дополнительной очистки		
			Содержание балластных веществ, $B, \%$	Степень метоксилирования, $\lambda, \%$	Желирующая способность, $X, \text{ }^\circ \text{T-Б}$
1	Содержание балластных веществ – $B_0 = 8,5\%$ ; Степень метоксилирования – $\lambda_0 = 68,2\%$ ; Желирующая способность – $X_0 = 276 \text{ }^\circ \text{T-Б}$	293	5,8	67,9	280
		298	5,4	68,4	284
		303	4,5	68,6	287
2	Содержание балластных веществ – $B_0 = 5,5\%$ ; Степень метоксилирования – $\lambda_0 = 68,3\%$ ; Желирующая способность – $X_0 = 280 \text{ }^\circ \text{T-Б}$	293	4,6	68,4	287
		298	4,5	68,2	290
		303	4,3	68,0	293
3	Содержание балластных веществ – $B_0 = 4,1\%$ ; Степень метоксилирования – $\lambda_0 = 68,3\%$ ; Желирующая способность – $X_0 = 287 \text{ }^\circ \text{T-Б}$	293	3,5	69,0	296
		298	3,4	68,5	302
		303	3,3	68,5	308

Из приведенных в табл. 2 данных следует, что изменение температуры жидкой фазы практически не сказывается на величине степени метоксилирования очищенного пектина, т.е. обеспечивается сохранность молекулярной структуры пектина после

дополнительной очистки даже изначально чистых пектинов ( $B_0 = 4,1 \dots 8,5$ ), изготовленных по технологии ИТТФ НАНУ. При повышении температуры жидкой фазы одновременно снижается содержание балластных веществ и увеличивается величина же-

лирующей способности, что по сути является самоконтролем корректности проведения эксперимента, поскольку согласуется с известными из литературы сведениями о том, что чем чище пектин, тем он лучше желирует [9]. При  $T_{ж.ф.} > 298\text{ K}$  температура слабо влияет на содержание балластных веществ в очищенном пектине и на увеличение его желирующей способности (всего на 2-3 %), т.е. дальнейшее увеличение  $T_{ж.ф.}$  нецелесообразно, поскольку приводит к росту технологических энергозатрат на выпуск очищенного пектина до 25 МКал/кг пектина. Кроме того известно [9], что при  $T = 283...293\text{ K}$  осаждаемый высоковлажный пектин формируется в виде компактного осадка, который можно хорошо отпрессовать и за счет удаления части свободной влаги механическим путем снизить расход энергии на сушку очищенного пектина.

В целом, результаты проведенных исследований по дополнительной очистке сухих пектинов открывают возможность при необходимости получать из товарных пектинов сухие формы особо чистых модификаций пектинов лечебно-профилактического назначения.

**Влияние физико-химических факторов на глубокую очистку пектина при его извлечении из пектинсодержащего сырья.** Пектиновые вещества производятся из отходов переработки растительного сырья; известные традиционные технологии ориентированы на энергозатратный выпуск пектина из высушенных выжимок, главным образом из яблочных и цитрусовых [9]. Возможность изготавливать пектиновые вещества из различных видов сырья по технологии ИТТФ НАНУ [11,12] ослабляет зависимость производителя от урожайности, продолжительности сезона переработки или от поставок какого-либо одного источника сырья.

Основные преимущества технологии ИТТФ НАНУ:

- экономия энергоносителей до 20 т у. т. на 1 т пектина; снижение доли энергетической составляющей в себестоимости производства пектина по технологии ИТТФ НАНУ в 2...3,5 раза по сравнению с известными традиционными технологиями [9,10,13];

- возможность производства различных модификаций пектиновых веществ на одной технологической линии, пролонгирование в 1,3...1,4 раза про-

должительности сезона выпуска продукции без затрат энергии на предварительную сушку сырья;

- комплексная безотходная переработка пектинсодержащего сырья на пектин и желирующий пектиновый порошок;

- экологическая безопасность, снижение материальных затрат на природоохранные мероприятия.

Анализ методов управления совместно протекающих взаимосвязанных химических и тепломассообменных процессов извлечения высокомолекулярных биополимеров пектина и накопленного экспериментального материала показал [8,13], что отклонение от оптимума значений основных тепло-технологических параметров может вызвать разрушение структуры молекулярной цепи биополимера и увеличение концентрации экстрагируемых одновременно с пектином других составляющих исходного биоматериала, которые загрязняют конечный продукт. Поэтому при выпуске модификаций пектина лечебно-профилактического действия, в первую очередь, требуются специальная обработка исходного пектинсодержащего сырья и технологической воды, а также дополнительная очистка, выделяемого из экстракта высоковлажного коагулята пектина.

Пектинсодержащее сырье неоднородно по составу, физическим свойствам отдельных составляющих и содержанию в них пектина. Анализ показал [14], что в условиях неоднородности сырья и наличия совокупности взаимосвязанных факторов, определяющих выход и качество пектина, наиболее корректно оценивать влияние размера частиц исходного сырья на выход пектина, по степени измельчения сырья, учитывающей суммарную долю массы мелких фракций в общей массе сырья; оптимизация доли мелких фракций в составе исходного биоматериала позволяет увеличить выход пектина ~ в 1,2 раза, а также повысить его чистоту и качество [13,14].

Для получения особо чистого пектина также следует определить требования к технологической воде, установить необходимость проведения предварительной промывки пектинсодержащего сырья, совмещения подачи воды на экстракцию с ее подкислением и измельчением сырья и др. поскольку каждый из перечисленных факторов оказывает влияние на качество конечного продукта и расходы энергии, сырья, воды и реагентов, например, при

предварительной промывке сырья из него удаляются мелкодисперсные фракции и часть растворимых балластных веществ. Для выяснения роли этих факторов были поставлены специальные эксперименты по извлечению пектина из одного и того же сырья при одинаковых теплотехнологических параметрах экстракции ( $T_3$ ,  $\tau_3$ ,  $pH_3$ ,  $n$  – idem). Варьи-

ровались тип технологической воды – обычная водопроводная ( $pH_0$  8,14), предварительно умягченная (декальцинированная) ( $pH_0$  8,29), и вода, подкисленная до  $pH_3$ , а также условия измельчения сырья – сухое сырье и сырье, погруженное в воду. Некоторые результаты приведены в табл. 3.

Табл. 3. Влияние способа предварительной подготовки пектинсодержащего сырья и выбора технологической воды на выход пектина

№ п/п	Способ измельчения сырья	Тип технологической воды для экстракции	Увеличение выхода пектина, %	Базовый вариант, принятый для сравнения
1	Измельчение без добавления воды	водопроводная	–	–
2	Измельчение с добавлением воды	водопроводная	1,0	1
3	Измельчение с добавлением воды	декальцинированная	22,6	2
4	Измельчение без добавления воды	декальцинированная	23,8	1
5	Измельчение без добавления воды	предварительно подкисленная до $pH_3$ водопроводная вода	19,6	1

Приведенная в табл. 3 информация свидетельствует о следующем:

- Способ измельчения сырья практически не влияет на выход пектина, что позволяет совмещать стадии измельчения сырья и экстракции и сократить продолжительность технологического цикла и число единиц оборудования.

- Замена обычной водопроводной воды на декальцинированную позволяет увеличить выход пектина более, чем на 20 %. Во всех случаях при использовании декальцинированной воды на 5,2...7 % повышается желирующая способность выделяемого пектина. Увеличению выхода пектина способствует также подача сырья на экстракцию в предварительно подкисленную до  $pH_3$  воду [14].

Поскольку влияние умягчения воды проявляется автономно и не зависит от выбора условий измельчения сырья, к оценке суммарного выигрыша от совмещения измельчения сырья с экстракцией пек-

тина в декальцинированную воду можно применить принцип суперпозиций отдельных воздействий.

С учетом того, что оптимизация размера частиц сырья позволяет увеличить выход пектина в среднем на 20 % [13] и данных, приведенных в табл. 3, в целом можно достичь увеличения выхода пектина в 1,4...1,5 раза.

**Дополнительная очистка пектина при его выделении из пектинового экстракта.** Выделение пектина из пектинового экстракта включает несколько обязательных самостоятельных этапов, главные из которых это коагуляция пектина, для чего в экстракт подается осадитель чаще всего этиловый или изопропиловый спирт; промывка спиртом осажденного высоковлажного коагулята и закрепление пектина концентрированным спиртом [9].

Коагуляция пектина относится к числу быстро протекающих процессов, начинается практически

мгновенно и одновременно во всем объеме аппарата, в результате чего происходят разделение фаз коагулят – отработанный раствор и формирование структуры осажженного осадка. Как отмечается в [9], структура коагулята, а также чистота и желирующая способность получаемого из него пектина, зависят от температуры коагуляции, объемной концентрации осадителя в осаждаемой смеси и содержания растворенных сухих веществ (СВ) в экстракте. Повышение температуры позволяет ускорить коагуляцию, но при этом может вызвать деградацию пектиновых веществ, снижение выхода и качества готового продукта. Чем выше содержание СВ, в экстракте, тем коагулят более структурирован и легче отделяется от жидкой фазы. Однако повышение величины СВ, связано с необходимостью концентрирования экстракта, т.е. увеличения энергозатрат на производство пектина. Известно также, что способность к осаждению полимера пектина из экстракта и расход осадителя зависят от молекулярной массы и от степени метоксилирования; при использовании декальцинированной воды объем слоя коагулята увеличивается на 9...10 %, коагулят становится более рыхлым и в своей структуре удерживает больше жидкости, чем при осаждении пектина из экстракта, приготовленного на водопроводной воде [14]. Применение в качестве осадителей органических жидкостей, которые смешиваются с водой в любых пропорциях, позволяет одновременно сочетать процесс коагуляции пектина с его очисткой от растворенных веществ.

Таким образом, вполне очевидно, что выделение биополимера пектина из экстракта представляет собой сочетание неразрывно связанных тепломас-

сообменных и химических процессов, которыми можно управлять путем варьирования теплотехнологических параметров: температуры (см. табл. 2), состава и рН жидкой фазы, кратности промывок коагулята и пр.

Для проверки влияния величины рН<sub>ж.ф.</sub> при осаждении пектина, нарабатываемого по технологии ИТТФ НАНУ, на его качественные показатели были проведены специальные эксперименты на установке, подробно описанной в [14]. Исследования проводились из одного и того же сырья при одинаковых условиях экстракции ( $T$ ,  $\tau$ , рН,  $n$  – idem) и подготовки технологической воды. При проведении коагуляции варьировались величина рН жидкой фазы (рН = 0,87...2,0); число промывок коагулята ( $n = 1...3$ ) и способ их проведения (с активным перемешиванием или пассивно); объемная концентрация спирта ( $C_v = 65...75$  %). Некоторые результаты приведены в табл. 4 и 5.

Анализ полученных данных показал, что при однократной промывке пектина понижение рН<sub>ж.ф.</sub> с 2,00 до 0,87 практически не отражается на показателях его чистоты и качества, колебания величин Б, X,  $\lambda$ , П находятся в пределах точности эксперимента; условия дополнительной очистки практически не влияют на степень метоксилирования очищенного пектина, колебания величины  $\lambda$  не превышают  $\pm 0,25$  % и дополнительная очистка коагулята не вызывает изменений молекулярной структуры биополимера пектина.

С увеличением числа промывок коагулята снижается содержание балластных веществ и одновременно растет желирующая способность пектина, что свидетельствует о повышении его чистоты (см. табл. 5).

Табл. 4. Влияние рН жидкой фазы при однократной промывке коагулята на качественные показатели пектина

№ п/п	рН жидкой фазы	Качественные показатели очищенного пектина			
		Содержание балластных веществ, Б, %	Содержание пектина, П, %	Желирующая способность пектина, X, °Т-Б	Степень метоксилирования, $\lambda$ , %
1	2,00	8,8	78,1	300	69,00
2	1,55	8,7	78,2	302	68,83
3	1,32	8,7	78,6	300	68,80
4	1,07	8,8	78,7	308	68,82
5	0,87	8,4	79,2	308	68,70

Повторная промывка коагулята более концентрированным раствором спирта ( $C_{v2}=70\%$ ) приводит к уменьшению содержания балластных веществ в пектине на 35...50%; при прочих равных условиях активное перемешивание смеси этанол – коагулят обуславливает снижение содержания балластных веществ в пектине  $\sim$  в 1,3 раза (ср. стр. 3 со стр. 2 табл. 5), дальнейшее увеличение чисел промывок коагулята малоэффективно, например, на-

блюдаемое снижение содержания балластных веществ при трехстадийной промывке по сравнению с двухстадийной не превышает 0,1% (ср. стр. 4 со стр. 5 табл. 5).

В целом очевидно, что путем дополнительной тепломассообменной обработки открывается возможность при производстве пектина выпускать его особо чистые модификации, предназначенные для использования в лечебно-оздоровительных целях.

Табл. 5. Влияние условий очистки коагулята на качественные показатели пектина

№ п/п	Условия очистки: число промывок – $n$ , концентрация спирта для промывки $C_v$ , %	Качественные показатели очищенного пектина				
		Способ проведения промывки	Содержание балластных веществ, Б, %	Содержание пектина, П, %	Желирующая способность, $X$ , °Т-Б	Степень метоксилирования, $\lambda$ , %
1	$n=1$ , $C_v=70\%$	пассивный	8,5	73,3	280	64,3
2	$n=2$ , $C_{v1}=65\%$ , $C_{v2}=70\%$	пассивный	5,5	76,5	287	64,1
3	$n=2$ , $C_{v1}=65\%$ , $C_{v2}=70\%$	активный	4,1	78,3	294	64,2
4	$n=3$ , $C_{v1}=65\%$ , $C_{v2}=75\%$ , $C_{v3}=75\%$	активный	4,0	78,5	307	64,4

**Стандартизация пектина.** Поскольку пектин относится к препаратам растительного происхождения, его свойства и характеристики зависят от вида и качества сырья, воды, теплотехнологических параметров производства и пр. и каждая партия пектина неизбежно отличается от другой. В то же время, учитывая лечебную направленность его использования, требуется, чтобы во всех случаях все показатели препарата были одинаковыми. Как правило, стандартизация пектина достигается путем купажа различных партий сухого материала.

Известно [10], что величина желирующей способности смеси пектинов  $X_{см}$  подчиняется закону аддитивности и требуемый состав смеси может быть откорректирован расчетным путем. В случае двухкомпонентной смеси массовые доли каждой составляющей составят:

$$r_1 = \frac{X_{см} - X_2}{X_1 - X_2}, \quad r_2 = 1 - r_1.$$

К сожалению, до настоящего времени в литературе отсутствуют сведения как о способах стандар-

тизации пектина по его степени метоксилирования  $\lambda$ , так и о возможности получения продукта с предварительно наперед задаваемыми значениями величин  $X$  и  $\lambda$ , т.е. о двухпараметрической стандартизации пектина.

Основываясь на опыте авторов по получению пектина и результатах экспериментов по определению содержания свободных и метоксилированных карбоксильных групп в молекулах различных видов пектинов [4,13] разработаны и составляют НОУ-ХАУ ИТТФ НАНУ: полуэмпирические методы расчета ожидаемой степени метоксилирования смеси пектинов по известным составу смеси и значениям  $\lambda_i$  её составляющих (прямая задача) и состава смеси по заданному  $\lambda_{см}$  и известным  $\lambda_i$  составляющих (обратная задача); способ двухпараметрической стандартизации пектина и алгоритмы расчета состава готового продукта по наперед заданным значениям  $X_{см}$  и  $\lambda_{см}$ ; способ определения и алгоритм расчета показателей чистоты сухого готового продукта и содержания в нем пектина в зависимости от значений массовых долей и показателей качества отдельных составляющих купажа.

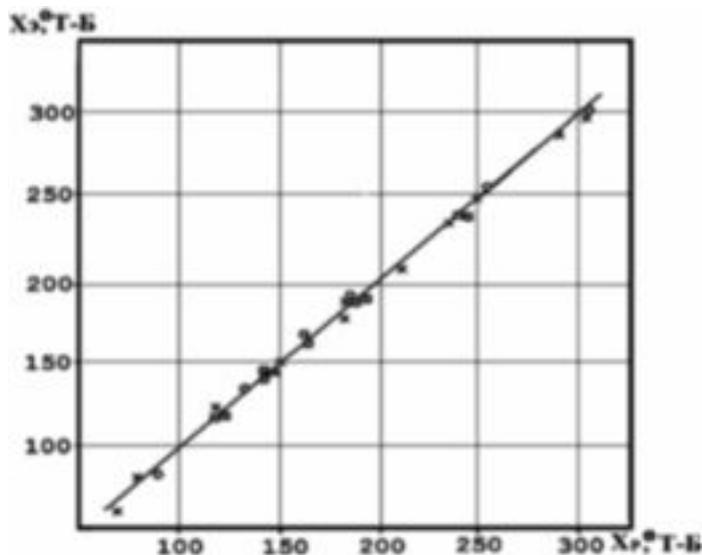


Рис. 1. Сравнение расчетных и экспериментальных значений желирующей способности смеси пектинов:  $\times$ ,  $\square$  – осаждение этанолом;  $\circ$  – осаждение изопропанолом

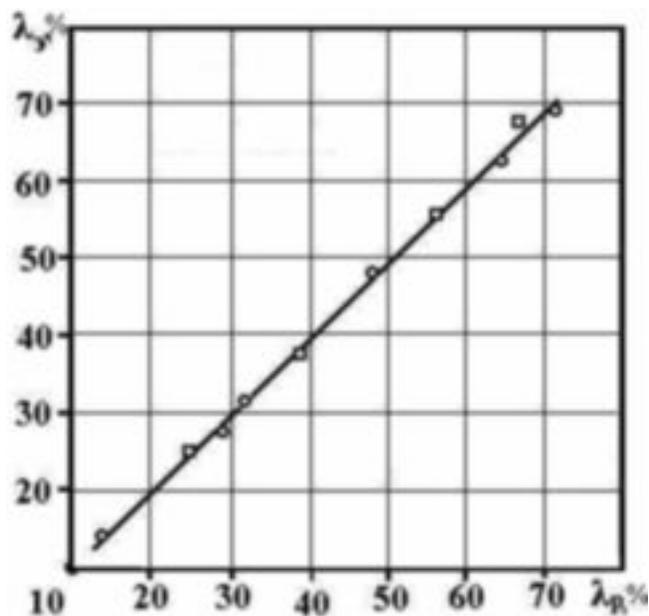


Рис. 2. Сравнение расчетных и экспериментальных значений степени метоксилирования пектинов  $\square$  – осаждение этанолом;  $\circ$  – осаждение изопропанолом

Сравнение прогнозируемых (расчетных) значений характеристик различных смесей пектина с их значениями, экспериментально определенными по стандартным методикам [16], показало, что максимальные отличия  $\Delta$  между расчетными и измеренными значениями всех величин не превысили погрешностей измерений и составили:

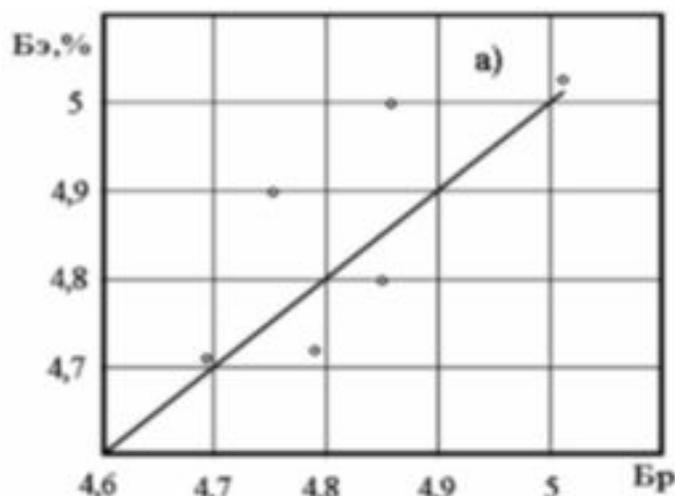
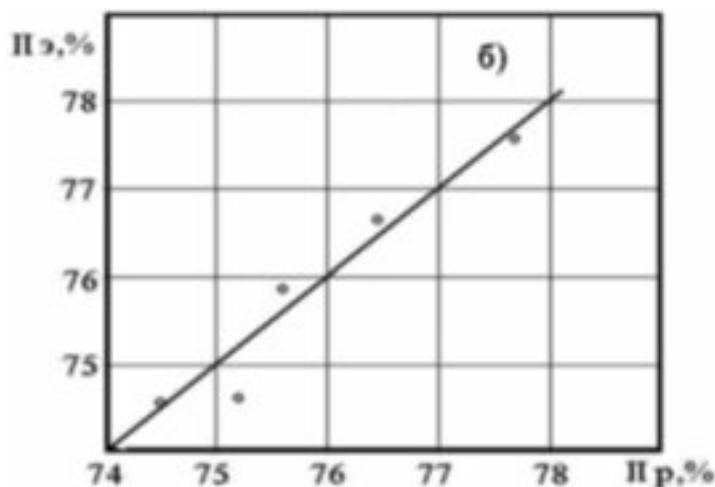


Рис. 3. Сравнение расчетных и экспериментальных значений показателей чистоты смеси пектинов:  
а) – содержание балластных веществ  
б) – содержание пектина

$\Delta X_{cm} - \pm 4\%$ ;  $\Delta \lambda_{cm} - \pm 2,5\%$ ;  
 $\Delta B_{cm} - \pm 0,1\%$ ;  $\Delta P_{cm} - \pm 0,35\%$ , что иллюстрируется рис. 1–3, на которых отчетливо видно, что в системе координат расчет/эксперимент точки группируются в непосредственной окрестности биссектрис соответствующих координатных углов.

Основные технологические решения, теплообменные условия проведения дополнительной очистки модификаций пектинов, предназначенных для лечебно-профилактических целей, приемы двухпараметрической стандартизации и технологический регламент по созданию такого производства составляют НОУ-ХАУ ИТТФ НАНУ.

### Выводы

Оптимизированы теплотехнологические условия, которые обеспечивают производство модификаций особо чистых пектинов лечебно-профилактического действия без разрушения молекулярной структуры биополимера. При организации выпуска по технологии ИТТФ НАНУ ~ 500 т/год пектина для лечения и профилактики населения, проживающего в экологически опасных регионах, годовая экономия валютных средств только за счет повышения энергоэффективности превысит ~ 2 млн. USD.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Endress H.-U.* Nonfood Uses of Pectin // – в кн. “The Chemistry and Technology of Pectin”, Acad. Press, Inc., – 1991. – p. 251-268.
2. [http://mediaspera.ana.ru/antibiot/97/12/r\(1297ref.htm\)](http://mediaspera.ana.ru/antibiot/97/12/r(1297ref.htm)) – Антимикробные свойства пектинов и их влияние на активность антибиотиков – Электронный ресурс, режим доступа.
3. <http://www.herbstreith-fox> – Sriamornsak P. Chemistry of Pectin and Its Pharmaceutical Uses: A Review // Inform. literature from research-development and technical application.– p. 206-228.
4. *Качалай Д.П., Любенко А.А., Вайнберг Р.Ш. и др.* Методические указания по использованию в лечебно-профилактических целях пектина и пектиносодержащих продуктов № 5049-89. – Киев, Урожай, 1990.– 15 с.
5. *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.
6. *Долінський А.А., Загородний В.А., Вайнберг Р.Ш., Процишин Б.Н.* Пектиновые вещества – эффективные средства защиты человека от вредного воздействия окружающей среды // в сб. Антирадиационное питание, Киев, 2000. – С. 32-36.
7. *Vainberg R.Sh., Bogdanov S.A., Butsky N.D., Gordiyenko P.V.* The peculiarities of liquid phase removal from pectin materials // Drying’ 2002 – Beijing, China – Vol.C. – p. 1656 – 1661.
8. *Вайнберг Р.Ш., Процишин Б.Н., Богданов С.А., Буцький Н.Д., Гордієнко П.В.* Кинетика изменения состава полярной жидкой фазы при термообработке пектиновых веществ в замкнутом объеме // Труды II междунар. научно-практ. конф. СЭТТ-2005 «Современные энергосбер. тепловые технологии (сушка и тепловые процессы)», М.: – 2005, Т. 2. – С. 262-265.
9. *Донченко Л.Б., Карпович Н.С., Симхович Е.Г.* Производство пектина – Кишинев, 1994, – 182 с.
10. *Карпович Н.С., Донченко Л.В., Нелина В.В., Компанцев В.А., Мельник Г.С.* Пектин: производство и применение. – Киев: Урожай, 1989.– 88 с.
11. *Організація виробництва пектину за новою безвідходною технологією.* Інвестиційна пропозиція // “Інформаційний вісник Центру високих технологій та інновацій “Інновації & промисловість”.– 2007, № 2.– С. 96-97.
12. *Спосіб одержання пектину.* Богданов С.А., Буцький М.Д., Вайнберг Р.Ш., Гордієнко П.В., Долінський А.А., Процишин Б.М. // Деклараційний патент України на винахід від 03.02.2001 р.
13. *Вайнберг Р.Ш., Процишин Б.Н., Богданов С.А., Гордієнко П.В., Буцький Н.Д.* Теплофизические проблемы и практические результаты повышения энергоэффективности извлечения и термообработки высокомолекулярных биополимеров // Пром. теплотехника.– 2007, Т. 29, № 7. – С. 201-205.
14. *Вайнберг Р.Ш., Богданов С.А., Буцький Н.Д.* Интенсификация экстракции термолабильных органических полимеров в жидкий электролит // Промышленная теплотехника. – 1997.– Т.15, № 2-3.– С.47-50.
15. *Шелухина Н.П., Абаева Р.Ш., Аймухамедова Г.Б.* Пектин и параметры его получения.– Фрунзе: Илим.–1987. – 108 с.
16. *Пектин.* Технические условия. ГОСТ 28186-91.

Получено 28.09.2009 г.