

УДК 663.8

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОТДЕЛЕНИЯ ЖИДКОЙ ФАЗЫ ОСАХАРЕННОЙ ВОДНО-КАРТОФЕЛЬНОЙ СМЕСИ ПУТЕМ ФИЛЬТРОВАНИЯ

Ловкис З.В., член-корр. НАН Беларуси, д-р техн. наук, профессор, Колоскова О.В., Шабета М.П.  
РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»,  
г. Минск

*Одним из важнейших этапов в производстве концентрата на основе картофеля – основы безалкогольных напитков – является отделение жидкой фазы осахаренной водно-картофельной смеси. Данная статья посвящена исследованию особенностей отделения жидкой фазы осахаренной водно-картофельной смеси путем фильтрования. В статье представлены результаты по изучению влияния давления и продолжительности фильтрования, размера частиц твердой фазы (коэффициента измельчения картофеля), соотношения воды и картофеля в смеси, коррелирующего с концентрацией частиц твердой фазы, на выход фильтрата и степень извлечения сухих веществ из исходного сырья (картофеля).*

*One of the most important processes in the manufacture of potato-based concentrate (semi-finished beverage) is the separation of the liquid phase of saccharified water-potato mixture. The article presents the results of studies of separation of the liquid phase of water-potato mixture by filtration. The results of studies of the effect of pressure and duration of the filtering, particle size of solid part of mixture (the grinding ratio of potato), the ratio of the water and potato mixture on the yield of filtrate and extract the solids from the raw material (potato).*

Ключевые слова: концентрат на основе картофеля, фильтрование, осахаренная водно-картофельная смесь.

Одним из важнейших этапов в производстве концентрата на основе картофеля – основы безалкогольных напитков – является отделение жидкой фазы осахаренной водно-картофельной смеси. Осахаренная водно-картофельная смесь представляет собой суспензию с общим содержанием сухих веществ 10 – 14 %, содержание растворимых сухих веществ в жидкой фазе 9 – 13 %. Твердая фаза осахаренной водно-картофельной смеси представлена кусочками клеточных стенок картофеля, а также кусочками картофеля, неразрушенными при измельчении на терочных устройствах. Размер частиц твердой фазы зависит от коэффициента измельчения картофеля. Основная масса растворимых сухих веществ (70 – 80 %) представлена низкомолекулярными углеводами, образовавшимися в ходе гидролиза картофельного крахмала, остальные растворимые сухие вещества представлены компонентами клеточного сока картофеля.

Существует два основных пути в разделении суспензий: фильтрование и осаждение. При этом осаждение может осуществляться как в гравитационном поле путем естественного отстаивания, так и в поле центробежных сил путем осаждения взвешенных частиц на стенки вращающегося ротора центрифуги.

При фильтровании над суспензией находящейся по одну сторону от фильтрующей перегородки, создается дополнительное избыточное давление, под действием которого жидкая фаза проникает сквозь фильтровальную перегородку, а частицы взвешенного в ней продукта постепенно накапливаются на перегородке, образуя уплотненный слой отфильтровываемого осадка, который затем удаляется с фильтрующей перегородки, как обезвоженный продукт.

Разделение суспензий на твердую и жидкую фазы путем фильтрования является более эффективным для хорошо фильтрующихся осадков. В этом случае процесс разделения осуществляется достаточно быстро, а содержание твердой фазы в жидкой сводится до минимума.

Нами были проведены исследования по изучению отделения жидкой фракции осахаренной водно-картофельной смеси путем фильтрования.

Эффективность процесса фильтрования зависит от многих факторов, в первую очередь к которым следует отнести:

- концентрацию твердой фазы в суспензии;
- размер частиц твердой фазы;
- структуру осадка, образующегося на фильтровальной перегородке (кристаллический, аморфный);
- выбранный способ создания перепада давлений над и под фильтровальной перегородкой (при постоянной разности давлений, при постоянной скорости фильтрования, при переменных разностях давлений и скорости фильтрования);

- інтервал рабочего перепада давлений;
- выбранный метод фильтрования (с образованием осадка, с закупориванием пор);
- динамическую вязкость жидкой фазы и др. [1].

Исследования проводили на автоматической фильтрационной установке «AutoFilt» (Германия). Подготовку образцов осахаренной водно-картофельной смеси проводили следующим образом. Очищенный картофель с известным содержанием крахмала нарезают на пластины толщиной 15–25 мм и бланшировали при температуре 70–80 °С в течение 7 минут. Далее пластины измельчали на различных терочных устройствах (в зависимости от требуемых коэффициентов измельчения), разбавляли водой до одинакового содержания растворимых сухих веществ. В воду для разбавления вносили ферментные препараты, обладающие  $\alpha$ -амилазной и глюкоамилазной активностью: Ликвафло (Дания) и Сан Супер 360 Л (Дания). Дозировку препаратов рассчитывали в соответствии с рекомендациями производителя. Ферментативный гидролиз водно-картофельной смеси проводили на водяной бане при температуре (65 ± 2) °С.

Контроль ферментативного гидролиза крахмала осуществлялся методом йодной пробы [3]: хорошо гидролизованная масса должна иметь желто-коричневый, оранжевый или желтый цвет.

При фильтровании в качестве фильтрующей перегородки использовали синтетическую фильтр-ткань толщиной 0,5 мм с очень низким показателем сжимаемости (менее 5 %).

Поскольку пространство под фильтрующей перегородкой свободно сообщалось с атмосферным давлением в процессе всего периода исследований, перепад давления был равен внешнему давлению фильтрования, создаваемому компрессором и задаваемому на фильтрационной установке.

При проведении опытов по отделению жидкой фракции осахаренной водно-картофельной смеси путем фильтрования были поставлены следующие задачи:

- определить эффективность отделения жидкой фазы осахаренной водно-картофельной смеси путем фильтрования,
- изучить влияние давления и продолжительности фильтрования, размера частиц твердой фазы (коэффициента измельчения картофеля), соотношение воды и картофеля в смеси, коррелирующее с концентрацией частиц твердой фазы, на выход фильтрата.

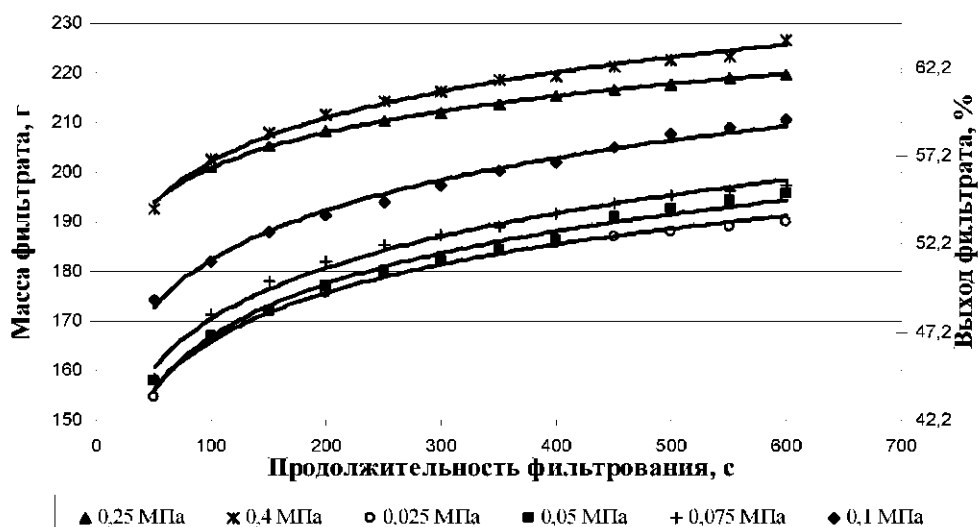
При изучении влияния продолжительности фильтрования и давления фильтрования на выход фильтрата из водно-картофельной смеси использовалась гидролизованная водно-картофельная смесь, приготовленная из бланшированного картофеля с коэффициентом измельчения 52 %. Содержание растворимых сухих веществ в жидкой фазе осахаренной водно-картофельной смеси составляло 11 %. Равное количество смеси 355,5 г заливали в стакан фильтровальной установки и фильтровали при постоянном давлении. Емкость, в которую стекал фильтрат, отделенный на установке «AutoFilt», устанавливали на электронных весах и следили за увеличением массы фильтрата. Значения массы фиксировали каждые 50 секунд. Зная первоначальную массу водно-картофельной смеси и массу фильтрата, рассчитывали выход осахаренной жидкой фазы за определенный период фильтрования. Фильтрование проводили при заданном постоянном давлении 0,025, 0,05, 0,075, 0,1, 0,25, 0,4 МПа. Повторность опытов трехкратная.

На основании полученных данных построены графические зависимости, представленные на рис. 1.

Анализируя полученные зависимости можно сделать вывод о том, что основная масса фильтрата (84–90 % от общего количества) отделяется за первые 50 секунд процесса.

Из полученных данных следует, что на протяжении фильтрования скорость накопления фильтрата постоянно падает сначала более, а затем – менее интенсивно. После 400 секунд фильтрования при различных значениях давления за каждые последующие 50 секунд прибывает не более 0,5 % целевого продукта от его итогового выхода.

Из зависимостей, представленных на рис. 1, видно, что с увеличением давления фильтрования выход целевого продукта возрастает незначительно. Фильтрование при давлении 0,1 МПа позволяет увеличить выход фильтрата на 10 % по сравнению с фильтрованием при давлении 0,025 МПа. Максимальный выход фильтрата 63,7 % был зафиксирован при давлении 0,4 МПа. Однако он превышал выход при давлении 0,1 МПа всего на 5 %. Следует отметить, что при использовании более высокого давления удовлетворительного выхода фильтрата можно добиться в более короткие сроки. Например, при давлении 0,1 МПа выход фильтрата за 600 с фильтрования составляет 59,2 %, а при давлении 0,4 МПа аналогичного выхода можно добиться за 200 секунд, т.е. в три раза быстрее. Это дает возможность увеличения производительности технологического оборудования в производственных условиях за счет применения высокого давления фильтрования и сокращения времени фильтрования.



**Рис. 1 – Залежності виходу фільтрата від тривалості фільтрування при постійному тиску 0,025, 0,05, 0,075, 0,1, 0,25, 0,4 МПа**

Як відомо з теорії фільтрування, ефективність відділення рідкої фази, во багато залежить від співвідношення в суспензії дисперсної фази і дисперсійної середовища. Нами було вивчено вплив співвідношення компонентів водно-картофельної суміші (гідромодуля) на ефективність фільтрування. Для цього з бланшированого картофеля з коефіцієнтом дроблення 90 %, загальним вмістом розчинимих речовин і крохмалю в картофелі 20 % були приготувані гідролізовані суміші з різним співвідношенням картофеля і води: 1:0,49; 1:0,74; 1:1,11. При цьому вміст розчинимих речовин в дисперсійній середовищі становив 13, 11 і 9 %. Фільтрування водно-картофельних сумішей з різним співвідношенням картофеля і води і вмістом розчинимих речовин в рідкій фазі проводили при тиску 0,4 МПа. Зразки витримували під тиском, поки з них не переставало виходити фільтрат. Дані, отримані в ході експерименту, наведені в таблиці 1.

**Таблиця 1 – Експериментальні та розраховані дані за результатами дослідження фільтрування водно-картофельних сумішей з різним гідромодулем**

Показатели	Значения		
Гидромодуль	1:1,11	1:0,74	1:0,49
Коеффициент измельчения, %	90	90	90
Масса картофеля, г	100	100	100
Суммарное содержание растворимых сухих веществ и крахмала, %	20	20	20
Растворимые сухие вещества и крахмал, перешедшие в гидролизующую смесь, г	18,0	18,0	18,0
Потери сухих веществ при измельчении, %	10	10	10
Соотношение картофеля и воды (гидромодуль)	1:1,11	1:0,74	1:0,49
Содержание сухих веществ в гидролизованной смеси, %	9	11	13
Масса гидролизованной смеси, г	211	173,9	149
Выход жидкой фазы при фильтровании, %	85,1	59,1	56,2
Выход жидкой фазы, г	179,6	116,7	83,7
Содержание растворимых сухих веществ в жидкой фазе, г	16,2	11,3	10,9
Выход сухих веществ (к массе сухих веществ используемого картофеля), %	81	56,5	54,4
Потери сухих веществ на стадии фильтрования, %	9	33,5	35,6

На основі аналізу даних, наведених в таблиці 1, можна зробити висновок про те, що відділення рідкої фази шляхом фільтрування для сумішей з великим гідромодулем, і відповідно меншим вмістом твердої фази, відбувається більш ефективно. Наприклад, за даними, наведеними в таблиці 1, видно, що при коефіцієнті дроблення картофеля 90 % для суміші з гідромодулем 1:0,49 вилучається 54,4 % сухих речовин до маси сухих речовин вихідного сировини, при цьому втрати сухих речовин

ществ на стадии фильтрации составляют 35,6 %, увеличение гидромодуля до соотношения 1:1,11 приводит к увеличению выхода сухих веществ на 26,6 %, при этом потери сухих веществ на стадии фильтрации сокращаются почти в 4 раза. Однако с увеличением гидромодуля снижается содержание растворимых сухих веществ в жидкой фазе осахаренной водно-картофельной смеси. Это приводит к увеличению энергозатрат на стадии упаривания полученного фильтрата. Для того, чтобы увеличить выход продукта, можно фильтратом, полученным при фильтрации первой порции водно-картофельной смеси, разбавлять следующую порцию водно-картофельной смеси, поступающую на фильтрацию, таким образом, уменьшая соотношение твердой и жидкой фазы в смеси, но не уменьшая содержание растворимых сухих веществ в целевом продукте.

Следующим этапом исследований явилось изучение влияния степени измельчения картофеля, а соответственно размера частиц твердой фазы суспензии на выход фильтрата. При проведении исследований использовали осахаренные водно-картофельные смеси с содержанием растворимых сухих веществ в жидкой фазе 11%, приготовленные из бланшированного картофеля с коэффициентом измельчения 52, 58 и 90 %. В аппарат загружали по 355,5 г смеси и фильтровали ее при давлении 0,4 МПа. Данные полученные на основании анализа результатов исследований представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Экспериментальные и расчетные данные по результатам исследования фильтрации водно-картофельных смесей, приготовленных из бланшированного картофеля с различными коэффициентами измельчения**

Показатели	Значения		
	52	58	90
Коэффициент измельчения, %	52	58	90
Масса картофеля, г	100	100	100
Суммарное содержание растворимых сухих веществ и крахмала, %	20	20	20
Растворимые сухие вещества и крахмал, перешедшие в гидролизуемую смесь, г	10,4	11,6	18,0
Потери сухих веществ при измельчении, %	48	42	10
Содержание растворимых сухих веществ в гидролизованной смеси, %	11	11	11
Масса гидролизованной смеси, г	143,1	148,0	173,9
Выход жидкой фазы при фильтрации, %	63,7	62,5	59,1
Выход жидкой фазы, г	91,2	92,5	116,7
Содержание сухих веществ в жидкой фазе, г	10,0	10,2	11,3
Выход сухих веществ (к массе растворимых сухих веществ и крахмала используемого картофеля), %	50	50,9	56,5
Потери сухих веществ на стадии фильтрации, %	2	7,1	33,5

На основе анализа данных, представленных в таблице 2, видно, что с увеличением коэффициента измельчения, и, следовательно, с уменьшением размера частиц твердой фазы, эффективность фильтрации снижается. Это очень хорошо отражают высокие потери сухих веществ на стадии фильтрации относительно сухих веществ, содержащихся в исходном сырье. Однако за счет большего извлечения сухих веществ из сырья при измельчении, увеличивается итоговый выход сухих веществ с увеличением коэффициента измельчения картофеля, используемого в смесях.

В ходе дальнейшего исследования технологического процесса получения концентрата на основе картофеля было установлено, что при упаривании фильтратов происходит образование осадка. Вероятно, образование осадка связано с коагуляцией белков при нагревании и нарушением коллоидной системы фильтрата. Было предложено отделять данный осадок путем центрифугирования. В ходе исследований было установлено, что плотный осадок с четко установившейся границей раздела фаз наблюдается при значении фактора разделения 1600.

Нами были проведены исследования по установлению зависимости содержания осадка в фильтратах от давления фильтрации. При проведении исследований фильтраты, полученные при фильтрации осахаренных водно-картофельных смесей на установке «AutoFilt» при различном давлении, из водно-картофельных смесей с коэффициентом измельчения картофеля 58 %, содержанием растворимых сухих веществ в жидкой фазе 11 %, подвергали кипячению в течение 5 минут до выпадения осадка. Полученные продукты, хорошо перемешав, разливали в центрифужные пробирки и центрифугировали на лабораторной центрифуге в течение 5 минут при факторе разделения 1600. Определяли массу фильтрата и массу осадка образовавшегося после центрифугирования. Высчитывали массовую долю осадка. Полученная зависимость представлена на рис. 2.



**Рис. 2 – Зависимость массовой доли осадка в фильтрате осахаренной водо-картофельной смеси от давления фильтрования**

Аналізуючи графік на рисунку 2, можна відзначити, що збільшення тиску фільтрування збільшується масова частка осаду, що утворюється в подальшому при нагріванні фільтрата. За рахунок цього знижується загальний вихід фільтрата осахареної водо-картофельної суміші. Загальний вихід фільтрата при тиску 0,4 МПа становить 59,8 %, що тільки на 2,2 % вище, ніж при тиску 0,1 МПа.

На основі досліджень по відділенню рідкої фази осахареної водо-картофельної суміші шляхом фільтрування можна зробити ряд висновків:

1. Фільтрування є ефективним способом відділення рідкої фази осахареної водо-картофельної суміші.

2. В ході досліджень встановлено, що основна маса фільтрата відділяється за перші 50 секунд процесу. В подальшому швидкість накопичення фільтрата постійно падає.

3. Збільшення тиску фільтрування призводить до збільшення кількості осаду, що випадає при подальшому кип'ятінні фільтрата. Внаслідок цього, після відділення осаду центрифугуванням загальний вихід фільтрата знижується. Чим вище тиск фільтрування, тим вище масова частка осаду. При тиску 0,4 МПа для суміші з коефіцієнтом подрібнення 52 % масова частка осаду становить 5,1 % від загальної маси фільтрата, при тиску 0,1 МПа масова частка осаду на 1,5 % менше.

4. Відділення рідкої фази шляхом фільтрування для сумішей з великим гідромодулем, і відповідно меншим вмістом твердої фази, відбувається більш ефективно. При коефіцієнті подрібнення картоплі 90 % для суміші з гідромодулем 1:0,49 вилучається 56 % сухих речовин до маси сухих речовин вихідного сировини, при цьому втрати сухих речовин на стадії фільтрування становлять 34 %, збільшення гідромодуля до співвідношення 1:1,11 призводить до збільшення виходу сухих речовин до 81 % за рахунок зменшення втрат сухих речовин на стадії фільтрування.

5. На основі аналізу даних, отриманих в ході досліджень, можна зробити висновок про те, що збільшення коефіцієнта подрібнення, і, відповідно, зменшення розміру частинок твердої фази, ефективність фільтрування знижується, що відображається в зменшенні виходу рідкої фази відносно загальної маси суміші, в великих втратах сухих речовин на стадії фільтрування. Однак загальний вихід сухих речовин вихідного сировини, з урахуванням двох технологічних стадій подрібнення і фільтрування, збільшується з збільшенням коефіцієнта подрібнення картоплі, що використовується в сумішах.

#### Литература

1. Касаткин, А.Г. Процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. М.: Химия, 1971.
2. Ловкис, З.В. Гидравлика / З.В. Ловкис. Минск: Беларус. наука. 2012. 439 с.