

Актуальные вопросы экономики строительства и городского хозяйства: материалы II междунар. науч.-практ. конф., Минск, 23–24 апр., 2013 / Белорусский национальный технический университет; редкол.: С. А. Пелих, В. К. Липский. – Минск, 2014. – С. 307–313.

14. Куличик, Д. М. Кислотное выщелачивание железа из железосодержащих осадков станций обезжелезивания / Д. М. Куличик, В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 52–54.

15. Осинин М. С. Кислотное выщелачивание железа из осадков коагуляции природных вод / М. С. Осинин, В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий, Е. В. Романовская // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2019. – № 2. – С. 50–52.

16. Romanovski, V. I. Purification of washing waters of iron removal stations. Proceedings of BSTU / V. I. Romanovski, N. A. Andreeva // Chemistry and technology of inorganic substances. – 2012. – № 3. – С. 62–65.

17. Yushchenko, V. Development of a new design of deironing granulated filter for joint removal of iron and ammonium nitrogen from underground water / V. Yushchenko, E. Velyugo, V. Romanovski // Environmental Technology. – 2023. – С. 1–8.

18. Yushchenko V., Velyugo E., Romanovski V. Influence of ammonium nitrogen on the treatment efficiency of underground water at iron removal stations / V. Yushchenko, E. Velyugo, V. Romanovski // Groundwater for Sustainable Development. – 2023. – Т. 22. – С. 100943.

19. Gurgenidze D., Romanovski V. The Pharmaceutical Pollution of Water Resources Using the Example of the Kura River (Tbilisi, Georgia) / D. Gurgenidze, V. Romanovski // Water. – 2023. – Т. 15. – № 14. – С. 2574.

УДК 504.062

Формирование водного баланса предприятия по производству сыров при использовании различных технологий переработки молочной сыворотки

Захарко П. Н.¹, Дубенок С. А.²

¹РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов»,

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В процессе производства сыров образуется побочный продукт – молочная сыворотка, использование которой без соответствующей переработки затруднено. При переработке сыворотки в результате ее

концентрирования и сгущения образуются пермеат и вторичный пар, поступление которых в сети канализации предприятия приводит к увеличению объема водоотведения по отношению к водопотреблению и формирует отрицательный водный баланс по предприятию.

Процесс производства сыра характеризуется образованием побочного продукта – молочной сыворотки, процентный выход которой составляет 80-90 % от исходной смеси.

В Республике Беларусь из 73 предприятий по производству молочной продукции на 44 (60 %) в ассортименте продукции присутствуют твердые, полутвердые и мягкие сыры с одновременной переработкой сыворотки либо ее отгрузкой на другие предприятия для последующей переработки.

Учитывая биологическую ценность молочной сыворотки: содержание лактозы, азотистых веществ, органических кислот, витаминов, жиров, углеводов, незаменимых аминокислот и др., [1] предприятия по производству сыров последние 10 лет активно развивают технологии переработки молочной сыворотки.

В настоящее время переработка молочной сыворотки в Республике Беларусь осуществляется по двум схемам:

- концентрирование сыворотки и дальнейшая ее отгрузка на иное предприятие (неполная переработка сыворотки);
- концентрирование, сгущение и последующая сушка сыворотки (полная переработка сыворотки).

Применяется несколько способов *концентрирования* (мембранной фильтрации) сыворотки: обратный осмос (ОО), нанофильтрация (НФ), ультрафильтрация (УФ) и микрофильтрация (МФ) [1] (рис. 1).

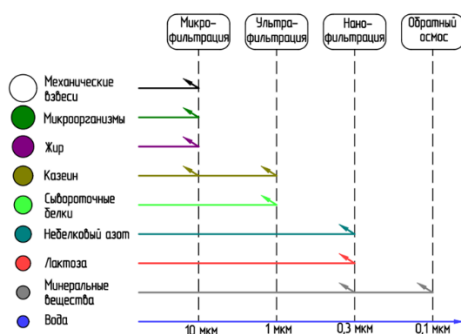


Рис. 1. Режимы мембранной фильтрации по типу фильтруемых элементов [1]

Использование каждого из них зависит от дальнейшего целевого применения сыворотки:

- МФ применяют для предварительной обработки сырья с целью снижения бактериальной обсемененности сыворотки и удаления жира;
- УФ применяют для получения белковых концентратов из сыворотки, которые затем используют при производстве молочных и других продуктов;
- НФ и ОО используют в основном для деминерализации и концентрирования сыворотки или ультрафильтрованных пермеатов.

В результате концентрирования содержание сухих веществ в сыворотке достигает 18–25 % при исходном содержании сухих веществ в сырой сыворотке 6 %.

Также для получения деминерализованной сыворотки дополнительно используют электродиализ (ЭД) (процесс переноса ионов через мембрану под действием электрического поля, приложенного к мембране). Электродиализ направлен на уменьшение содержания солей и снижение кислотности в сыворотке, но при этом массовые доли сывороточных белков, жира и лактозы практически не подвержены каким-либо качественным и количественным изменениям.

Сгущение молочной сыворотки перед ее сушкой осуществляется на вакуум-выпарных установках (ВВУ). Вакуум-выпарная установка предназначена для удаления влаги из сырья в результате его кипения при давлении меньше атмосферного и используются для сгущения сыворотки.

Сгущенная сыворотки с содержанием сухих веществ 45–65 % в дальнейшем поступает на сушку для получения готового продукта - сухой сыворотки.

Анализ технологических процессов, систем водоснабжения и водоотведения, учета поступления сырья и водопользования на 16-ти предприятиях по производству сыров и переработке сыворотки позволил выделить три схемы переработки сыворотки.

На 9 предприятиях (56 %) осуществляется неполная переработка сыворотки с использованием установки нанофильтрации, обратного осмоса (рис. 2).

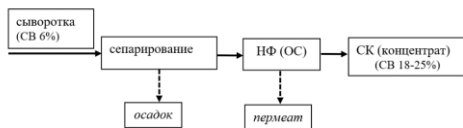


Рис. 2. Неполный цикл переработки сыворотки (укрупненная схема 1)
СВ – сухие вещества, СК – сыворотка концентрированная

В процессе сепарирования сыворотки образуется два потока: белковый осадок (подсырные сливки), которые в дальнейшем используют для пищевых целей и очищенная сыворотка, содержащая белки, соли, лактозу, которая поступает на дальнейшую переработку [2; 3].

Сепараторы имеют гидросистему, которая управляет выгрузкой осадка (примеси сыворотки) из барабана, а также промывкой приемника осадка. Приемник осадка периодически в автоматическом режиме частично или полностью очищается со сбросом в канализацию предприятия.

В процессе концентрирования сыворотки на установке нанофильтрации, обратного осмоса образуется концентрат (сыворотка концентрированная) с высоким содержанием белка и пермеат (раствор лактозы, минеральных солей и других низкомолекулярных соединений) [3]. Концентрированная сыворотка транспортируется на другое предприятие для дальнейшего использования, а пермеат отводится в сети канализации предприятия.

Водный баланс по укрупненной схеме 1

Основными статьями расхода воды и образования сточных вод по укрупненной схеме 1 являются (водный баланс рассмотрен только для участка (цеха) переработки сыворотки):

1. Санитарная обработка оборудования (мойка технологического оборудования ручным или механизированным способом с использованием СІР-моек). Водоотведение ($S_{c.o.об.}$) по данной статье приравнивается к водопотреблению ($W_{c.o.об.}$): $S_{c.o.об.} = W_{c.o.об.}$.

2. Приготовление моющих и дезинфицирующих растворов для санитарной обработки оборудования. Водоотведение ($S_{м.р-р}$) по данной статье больше водопотребления ($W_{м.р-р}$): $S_{м.р-р} > W_{м.р-р}$. (*отрицательный водный баланс*). Разница равна объему моющих (М) и дезинфицирующих растворов (Д), поступивших на участок (цех) переработки сыворотки.

3. Санитарная обработка производственных помещений. Водоотведение ($S_{c.o.п.}$) по данной статье меньше водопотребления ($W_{c.o.п.}$) за счет потерь на испарение, которые составляют 15 % от водопотребления: $S_{c.o.п.} < W_{c.o.п.}$.

4. Выгрузка осадка из сепаратора. Водоотведение ($S_{сеп.}$) по данной статье больше водопотребления ($W_{сеп.}$): $S_{сеп.} > W_{сеп.}$. (*отрицательный водный баланс*). Разница равна объему осадка (О), сброшенного с сепаратора.

5. Образование пермеата при работе установки нанофильтрации, обратного осмоса. При работе мембранных установок вода не используется. В систему канализации поступает только пермеат (П), объем образования которого равен 65–80 % от объема сыворотки, поступившей на мембранную установку (*дополнительный поток*).

Сводный баланс водопотребления по укрупненной схеме 1 составит

$$W = W_{\text{с.о.об.}} + W_{\text{м.р.р.}} + W_{\text{с.о.п.}} + W_{\text{сеп.}}$$

Сводный баланс водоотведения по укрупненной схеме 1 составит

$$S = S_{\text{с.о.об.}} + S_{\text{м.р.р.}} + M + Д + S_{\text{с.о.п.}} + S_{\text{сеп.}} + O + П.$$

На 5 предприятиях (31 %) осуществляется полная переработка сыворотки с использованием вакуум-выпарных установок для сгущения сыворотки (рис. 3).



Рис. 3. Полный цикл переработки сыворотки (укрупненная схема 2):

ЭД¹⁾ – производство сухой деминерализованной сыворотки; СД – сыворотка деминерализованная; СС – сыворотка сгущенная.

Установка электродиализа добавляется в схему переработки сыворотки только при производстве предприятием сухой деминерализованной сыворотки.

В процессе деминерализации сыворотки на установке электродиализа, образуется обессоленная сыворотка (сыворотка деминерализованная) и концентрат солей (раствор минеральных солей), который отводится в сети канализации предприятия. На трех из пяти рассматриваемых предприятий функционировала установка электродиализа.

При отсутствии электродиализа сыворотка концентрированная направляется для сгущения на ВВУ. При работе ВВУ образуется *дополнительный поток*, который отводится в сети канализации – вторичный пар (выпар), отделяющийся от капель сыворотки и конденсируемый в конденсаторе. Использование вторичного пара для технологических нужд без его предварительной очистки затруднено, поскольку он загрязнен органическими веществами, поэтому вторичный пар в полном объеме отводится в сети канализации предприятия.

Сгущенная сыворотка с содержанием сухих веществ 45–65 % поступает на сушильную установку.

Водный баланс по укрупненной схеме 2

Основными статьями расхода воды и образования сточных вод по укрупненной схеме 2 являются:

1. Санитарная обработка оборудования: $S_{с.о.об.} = W_{с.о.об.}$.

2. Приготовление моющих и дезинфицирующих растворов для санитарной обработки оборудования: $S_{м.р.р.} > W_{м.р.р.}$ (*отрицательный водный баланс*).

3. Санитарная обработка производственных помещений: $S_{с.о.п.} < W_{с.о.п.}$.

4. Выгрузка осадка из сепаратора: $S_{сеп.} > W_{сеп.}$ (*отрицательный водный баланс*).

5. Образование пермеата при работе установки нанофильтрации, обратного осмоса.

6. Обеспечение технологических параметров работы установки электродиализа включает образование концентрата солей, расход воды для приготовления растворов щелочи и кислоты для нейтрализации концентрата солей, расход воды для разбавления соляного раствора в контурах концентрата установки электродиализа.

Объем образования концентрата солей (КСЭд) составляет 5–10 % от объема сыворотки, поступившей на установку электродиализа (*дополнительный поток*).

Водоотведение ($S_{Эд р.р.}$) по статье «приготовление растворов щелочи и кислоты» больше водопотребления ($W_{Эд р.р.}$): $S_{Эд р.р.} > W_{Эд р.р.}$ (*отрицательный водный баланс*). Разница равна объему растворов щелочи и кислоты, используемых при работе установки электродиализа.

Водоотведение ($S_{Эд с.р.р.}$) по статье «разбавления соляного раствора» приравнивается к водопотреблению ($W_{Эд с.р.р.}$): $S_{Эд с.р.р.} = W_{Эд с.р.р.}$.

7. Обеспечение технологических параметров работы вакуум-выпарной установки включает расход воды на подпитку оборотной системы ВВУ, образование вторичного пара (выпара). Подпитка оборотной системы ВВУ включает расход воды на компенсацию потерь при испарении ($W_{ВВУ исп.}$), при капельном уносе ($W_{ВВУ к.ун.}$), при продувке оборотной системы ($W_{ВВУ прод.}$). Образование сточных вод осуществляется только при продувке оборотной системы: $S_{ВВУ прод.} = W_{ВВУ прод.}$.

Объем образования вторичного пара (ВПВВУ) составляет 65–80 % от объема сыворотки, поступившей на ВВУ (*дополнительный поток*).

Сводный баланс водопотребления по укрупненной схеме 2 составит

$$W = W_{с.о.об.} + W_{м.р.р.} + W_{с.о.п.} + W_{сеп.} + W_{Эд р.р.} + W_{Эд с.р.р.} + W_{ВВУ исп.} + W_{ВВУ к.ун.} + W_{ВВУ прод.}$$

Сводный баланс водоотведения по укрупненной схеме 2 составит

$$S = S_{с.о.об.} + S_{м.р-р.} + M + Д + S_{с.о.п.} + S_{сеп.} + O + П + КСЭд + S_{Эд р-р} + S_{Эд с.р-р} + S_{ВВУ прод.} + ВПВву.$$

На 2 предприятиях (13%) осуществляется полная переработка сыворотки с использованием пермеата для технологических нужд (рис. 4).

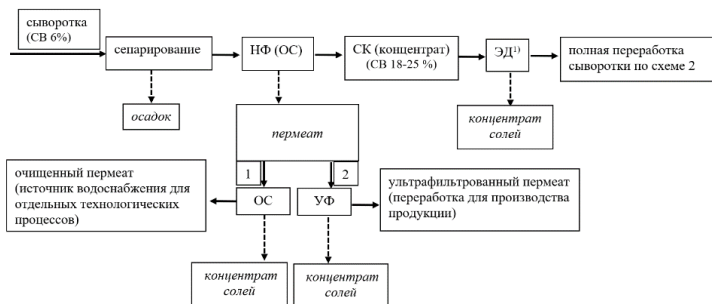


Рис. 4. Полный цикл переработки сыворотки с использованием пермеата (укрупненная схема 3)

Пермеат на предприятии 1 после установки нанофильтрации поступает на установку обратного осмоса и далее используется для подпитки котла и санитарной обработки технологического оборудования. В целом пермеат на предприятии 1 после технологических процессов отводится в сети канализации предприятия, однако за счет его повторного использования, экономия свежей воды на предприятии составляет около 18 %.

На предприятии 2 только часть пермеата (до 5 % от объема образования) после установки нанофильтрации поступает на установку ультрафильтрации и после концентрирования передается на иное предприятие для использования. Поэтому за счет частичного повторного использования пермеата, экономия свежей воды на предприятии незначительная.

Статьи расхода воды и образования сточных вод по укрупненной схеме 3 являются аналогичными укрупненной схеме 2. Отличительной особенностью баланса водопользования укрупненной схемы 3 является повторное использование пермеата.

Таким образом, внедрение технологий переработки сыворотки изменило специфику функционирования предприятий по производству сыров: исключен сброс сыворотки как побочного продукта в сети канализации; расширен ассортимент молочной продукции (сыворотка сухая, молочные напитки на основе сыворотки и др.). В отношении

водопользования предприятиям по производству сыров целесообразно внедрять технологии повторного использования пермеата, что существенно позволяет снизить потребление свежей воды (до 18 %), при этом пространственно-временной анализ водопользования указывает на формирование на этих предприятиях отрицательного водного баланса за счет формирования дополнительных потоков (пермеат, вторичный пар), поступление которых в сети канализации предприятия приводит к увеличению объема водоотведения по отношению к водопотреблению.

Литература

1. Михайленко, И. Г. Мембранные технологии и переработка молочной сыворотки. – Режим доступа: http://www.vniitti.ru/conf/conf2016/article/MikhaylenkoI.G._BudrikV.G._statya.pdf?ysclid=ltu5gahhu286233320.
2. Dairy processing handbook. – Режим доступа: <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/ru/chapter/pererabotka-syvorotki>. = Загл. с экрана
3. ИТС 45-2017. Производство напитков, молока и молочной продукции. Введ. 29.11.2017. - М.: Росстандарт, 2017. – 190 с.

УДК 629.12

Полирядный насос с биомиметическими поверхностями проточной части для судового водоснабжения

Комолов М. Б.¹, Ляпин В. Ю.², Дружинин А. А.²

¹ОАО «Научно-производственное объединение гидравлических машин»,

²Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Москва, Российская Федерация

Разработан насос для судового водоснабжения путём замены штатных центробежных рабочих органов (РО) на созданные полирядные РО. Результатом их применения явился рост КПД насоса на $\Delta\eta = 14\%$. Спроектированы варианты созданного полирядного насоса с модернизацией проточной части (ПЧ) биомиметическими поверхностями различных видов. В результате данной модернизации максимальное предполагаемое дополнительное повышение КПД составило $\Delta\eta = 3,5\%$ для вида поверхности ПЧ с имитацией кожи акулы.

Идея создания полирядных насосов (ПН) была предложена профессором Г. М. Моргуновым. ПН ранее рассматривался в ряде публикаций, предназначенных для различных отраслей промышленности [1–5].