

А.В. Дернович¹, О.Л. Сороко²

¹ЗАО «ДиАрКласс», Минск, Республика Беларусь

²Институт мясо-молочной промышленности, Минск, Республика Беларусь

ОЧИСТКА СТОКОВ МОЛОКОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ АЭРОБНЫМИ БИОСИСТЕМАМИ

(Поступила в редакцию 11.03.2015 г.)

Общий объем производственных стоков молокоперерабатывающих предприятий в Беларуси составляет до 12 млн т в год. Из них до 5 млн т поступает на поля фильтрации, оставшиеся направляются в городские канализационные сети и далее – на очистные сооружения коммунальных систем. При сбросе стоков на поля фильтрации экологическая нагрузка в районе «молочных озер и рек» резко ухудшается, а в летний период усиливается еще больше.

По данным мониторинга производственных предприятий, основными загрязняющими компонентами сточных вод молокопереработки являются остатки самих молочных продуктов.

Работы по снижению их сбросов в нашей стране ведутся достаточно интенсивно, в последнее время законодательно принято решение по недопущению сброса сыворотки в стоки заводов, так как это востребованный на рынке продукт. Значимые результаты отечественными молокоперерабатывающими предприятиями достигнуты с 2004 по 2011 гг. Фактические объемы производства сыворотки выросли почти в 2 раза, а объемы ее переработки – более чем в 13 раз.

Внедрение современных высокоэффективных технологий, позволяющих полностью переработать молочную сыворотку, в том числе казеиновую и творожную, в значительной мере позволит снизить негативное влияние молокозаводов на окружающую среду.

Вторым немаловажным аспектом решения вопроса экологической эффективности предприятий молочного комплекса является потребность строительства локальных систем очистки производственных стоков. С учетом высокой степени загрязнения последних коммунальные очистные сооружения не справляются с ними, периодически выходят из штатного режима, особенно при залповых сбросах. Хочется отметить, что штрафные санкции к молочным заводам применяются как по превышению нормативов загрязнений стоков, направляемых на очистные сооружения городов, так и при упомянутых залповых сбросах.

По данным мониторинга, подобные выбросы и отсутствие локальных очистных сооружений характерны для более чем 90% заводов республики. Максимально очистить специфичные стоки молочных предприятий для передачи их на коммунальные очистные сооружения без биохимической обработки невозможно. Поэтому в состав строящихся локальных очистных станций молочных предприятий необходимо обязательно включать стадию биологической очистки производственных стоков. Как правильно выбрать систему очистки, если на рынке представлено различное по структуре и набору оборудования?

Технология биоочистки основана на жизнедеятельности микроорганизмов активного ила, способных к полному или частичному окислению органических веществ до CO_2 и H_2O , а также окислению соединений азота до солей нитрита и нитрата.

Процесс биохимической очистки осуществляется в специальных аэрационных сооружениях – аэротенках (биореакторах). Аэротенк – это, как правило, железобетонный резервуар прямоугольной или круглой формы, по которому постоянно перемещается сточная вода, смешанная с активным илом. В аэротенк подается воздух, который перемешивает обрабатываемую жидкость и насыщает ее кислородом, необходимым для жизнедеятельности микроорганизмов. Аэробные микроорганизмы потребляют загрязнения сточной воды – субстрат, растут и размножаются, образуя зооглейные скопления хлопочков активного ила, размеры которых колеблются от едва различимых глазом до 2–3 мм, а иногда и более [1]. В сточные воды в процессе очистки вводятся биогенные добавки для соблюдения соотношения БПК:N:P=100:5:1, где показатель БПК – это количество кислорода, необходимое для окисления органических загрязнений биологическим способом, а показатели N и P, соответственно, определяют содержание в стоках азота и фосфора, которые являются биогенными элементами. В качестве биогенных добавок могут использоваться растворы солей, содержащие азот и фосфор, в некоторых случаях в аэротенки подаются легкоокисляемые органические соединения, такие как уксусная кислота, метанол, этанол и др.

Количество бактерий в активном иле довольно велико и составляет от 1100 до 41000 в 1 г (в пересчете на сухое вещество). Из состава активного ила можно выделить основные группы микроорганизмов: раковинные и голые амебы, свободноплавающие и кругоресничные инфузории, жгутиконосцы и коловратки (рис. 1–6). Кроме них в активном иле могут развиваться и другие, в том числе грибы.

Микроорганизмы ила в аэротенках очистных сооружений представлены сообществом, в котором сосуществуют гетеротрофы и автотрофы, причем преимущественное развитие та или иная группа получает в зависимости от условий работы системы. Эти две группы бактерий различаются по своему отношению к источнику углеродного питания. Гетеротрофы в качестве источника углерода используют готовые органические вещества и перерабатывают их для получения энергии и биоценоза клетки. Автотрофы потребляют для синтеза клетки неорганический углерод, а энергию получают за счет фотосинтеза, используя энергию света, либо хемосинтеза путем окисления некоторых неорганических соединений. Таким образом, искусственно культивируемые микроорганизмы освобождают воду от загрязнений, а метаболизм этих загрязнений в клетках обеспечивает их энергетические потребности, прирост биомассы [1].



Microchlamys patella

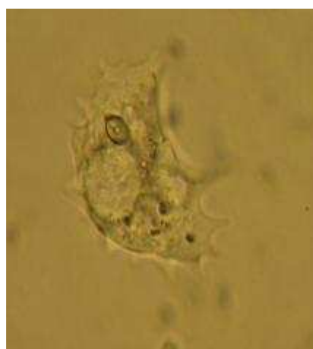


Euglypha sp.

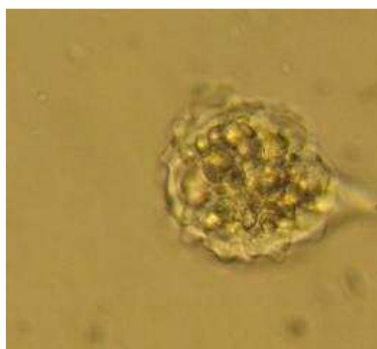


Centropyxis aculeata

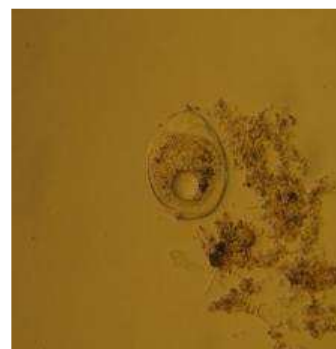
Рисунок 1 –Виды раковинных амёб под микроскопом (увеличение в 400 раз)



Amoeba proteus

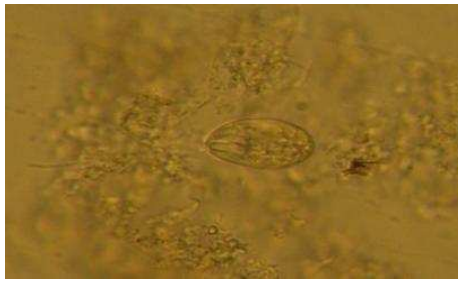


Amoeba papillata

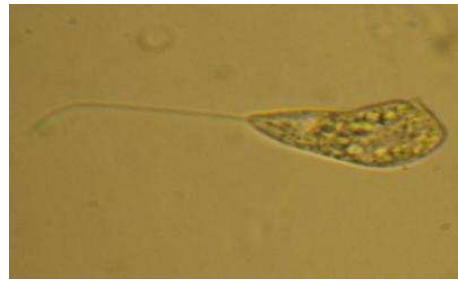


Thecamoeba sp.

Рисунок 2 –Виды голых амёб под микроскопом (увеличение в 400 раз)

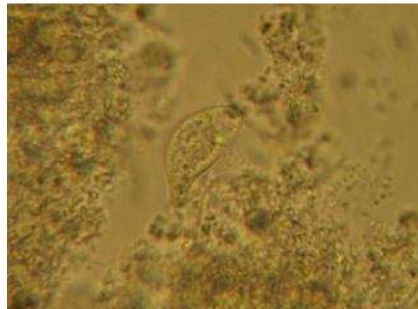


Entosiphon sulcatum



Peranema trichophorum

Рисунок 3 –Виды жгутиконосцев под микроскопом (увеличение в 400 раз)

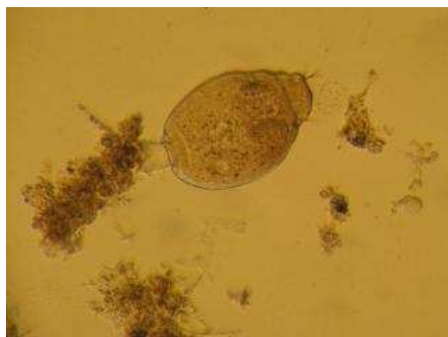


Trachelophyllum pusillum



Drepanomonas revoluta

Рисунок 4 –Виды инфузорий свободноплавающих под микроскопом (увеличение в 400 раз)



Epistylis sp.



Vorticella sp.

Рисунок 5 –Виды инфузорий кругоресничных под микроскопом (увеличение в 100 раз)



Rotaria tardigrada



Rotaria sp.

Рисунок 6 –Виды коловраток под микроскопом (увеличение в 100 раз)

Наличие в биоценозе в достаточном количестве простейших и многоклеточных организмов указывает на высокий уровень деструкционного потенциала. Наличие же в активном иле азротенков нитчатых бактерий (рис. 7) при отсутствии их в биоценозе, или наличие в минимальных количествах простейших и многоклеточных организмов указывает на низкий уровень деструкционного потенциала активного ила.

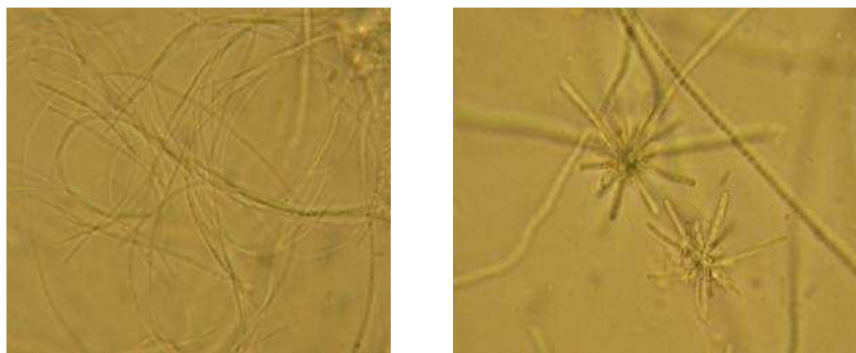
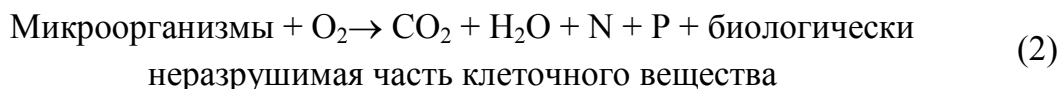
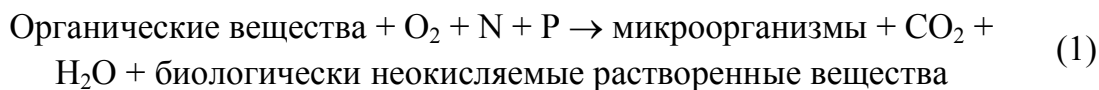


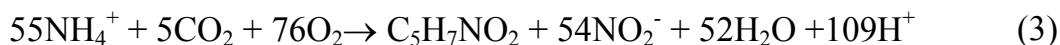
Рисунок 7 – Вид нитчатых бактерий под микроскопом (увеличение в 400 раз)

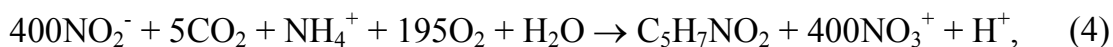
Механизм биологического окисления в аэробных условиях (в присутствии растворенного кислорода) гетеротрофными бактериями можно представить следующей схемой:



Реакция (1) символизирует окисление исходных органических загрязнений сточных вод и образование новой биомассы. В очищенных водах остаются биологически неокисляемые вещества, преимущественно в растворенном состоянии, так как коллоидные и нерастворенные вещества удаляются из стоков методом сорбции.

Реакция (2) описывает окисление клеточного вещества, которое происходит после использования внешнего источника питания. Примером окисления автотрофами может быть процесс нитрификации:





где $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ – символ состава органического вещества образующихся клеток микроорганизмов.

Реакцию (3) осуществляют бактерии рода *Nitrosomonas* (при этом они переводят азот аммонийных солей в азот нитритов), а реакцию (4) – окисление азота нитритов в азот нитратов – проводят бактерии рода *Nitrobacter* [2].

Окисление органических загрязнений в аэротенках происходит за счет жизнедеятельности аэробных микроорганизмов, образующих хлопьевидные скопления – активный ил (биоценоз организмов-минерализаторов, способных сорбировать на своей поверхности и ферментативно окислять в присутствии кислорода органические вещества в сточных водах). Часть органического вещества, непрерывно поступающего со стоками, окисляется, а другая обеспечивает прирост бактериальной массы – активного ила.

Традиционные установки биологической очистки сточных вод имеют следующие сооружения: аэротенки, вторичные отстойники, илоуплотнители, насосные и воздуходувные станции, насосную станцию биогенной подпитки, парк контактных резервуаров, узел учета осветленных стоков. Технологическая схема очистных сооружений представлена на рисунке 8.

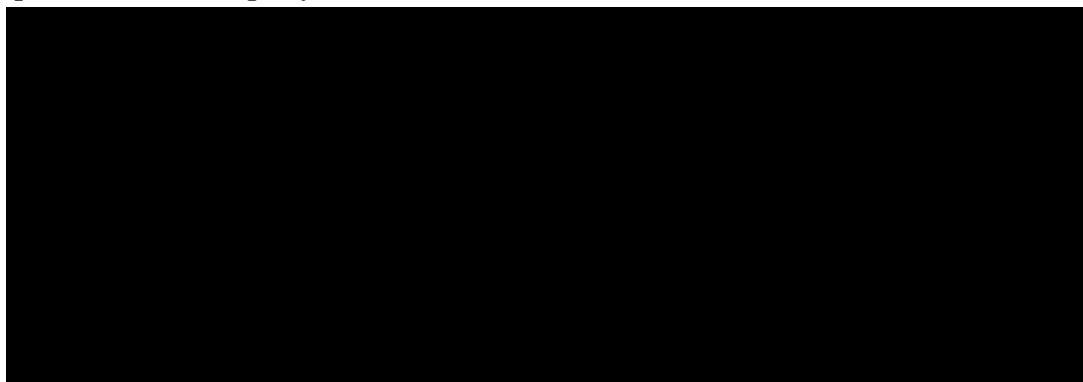


Рисунок 8 – Биологическая очистка непрерывного действия с разделением ила в осветлителе

Аэротенки, используемые на станциях биологической очистки, обычно бывают 1–4-секционные, 2-, 3- и 4-коридорные. Размеры коридоров, объемы секций и общий объем аэротенков имеют широкий диапазон значений. У вторичных отстойников также большой габаритный ряд. Сточные воды подвергаются биологической очистке в секционных

аэротенках при продолжительности аэрации не менее 4 часов. Смесь сточных вод и активного ила далее поступает для осветления во вторичные отстойники, где происходит отделение активного ила от биологически очищенной воды. Отделенный ил направляется на илоуплотнения, в илоуплотнители, откуда его часть в рециркуляционном виде подается в аэротенки, а другая часть, так называемый избыточный ил, направляется на иловые карты или установки обезвоживания. Биологически очищенная вода направляется на доочистку и обезвреживание перед сбросом в поверхностный водоем.

Современные системы биологической очистки производственных стоков более разнообразны и сочетают в себе достаточно много концептуальных и аппаратурных решений. Рассмотрим некоторые из наиболее распространенных и часто реализуемых.

Биологическая очистка непрерывного действия с разделением ила на флотационной установке

В данной системе очистки стоков (рис. 9) предусматривается, что смесь сточных вод и активного ила после аэротенка поступает для осветления на флотационную установку напорного типа, где происходит отделение ила от биологически очищенной воды при помощи пузырьков воздуха, нагнетаемого в сатуратор флотационной установки, расположенный с правой стороны флотатора.

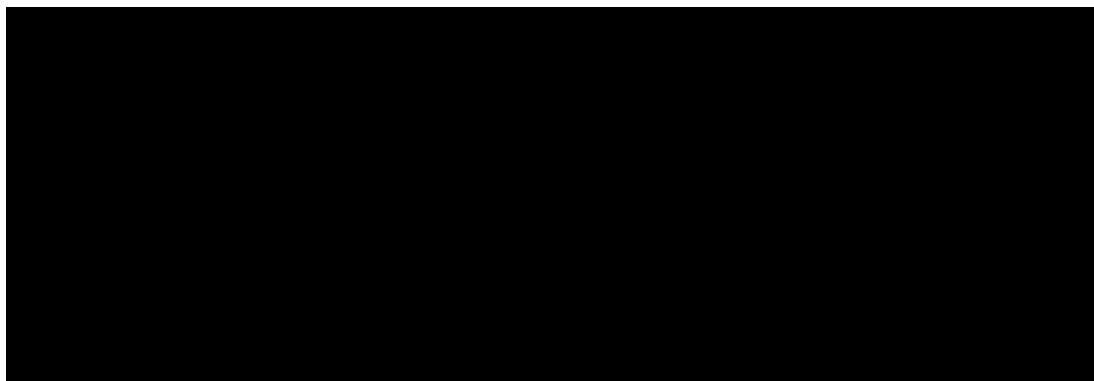


Рисунок 9 – Биологическая очистка непрерывного действия с разделением ила на флотационной установке

Флотатор (рис. 10) работает в напорном режиме с рециркуляцией стоков. Секция флотации оборудована модулем из пластиковых тонкослойных пластин, который увеличивает область отделения, таким образом, гарантируя удаление из сточных вод даже самых маленьких хлопьев ила. Максимальной эффективности этого процесса способствует также ламинарный режим прохождения стоками секции флотации.



Рисунок 10 – Установка напорной флотации

Для рециркуляции стоков и насыщения их воздухом в состав флотационной установки включен циркуляционный насос и запатентованная незасоряемая аэрационная система, гарантирующая образование однородных и мелкодисперсных пузырьков воздуха. Всплывающие хлопья ила непрерывно удаляются с поверхности воды скребковым механизмом в приемник флотошлама, предусмотренный конструкцией флотатора [3], в которой для снижения влажности флотошлама предусмотрена решетка обезвоживания. Флотошлам накапливается в иловом резервуаре.

Отделенный ил направляется в иловый резервуар, откуда одна его часть в рециркуляционном виде подается в аэротенки, а другая – направляется в установки обезвоживания. Обычно в качестве последних используются фильтр-прессы, ленточные прессы, барабаны обезвоживания и декантирующие центрифуги.

Преимущества представленных систем биологической очистки:

- проверенная годами эксплуатации технология и прочная конструкция, работающая на стоках различных производств;
- низкие капитальные затраты в период строительства;
- относительно низкие расходы по эксплуатации.

Реакторы последовательного замеса – SBR-биореакторы.

Биологические реакторы в сооружениях очистки стоков выполняют функции как аэротенков, так и вторичных отстойников. Оборудование работает в автоматическом режиме, зачастую при очистке на молочных заводах используют два биореактора – для повышения надежности очистки и гарантированного достижения требуемых параметров. Схема работы реактора последовательного замеса представлена на рисунке 11.

В биореакторах протекают четыре основных этапа очистки:

1. Наполнение биореактора. В реактор поступает сточная вода в смеси с активным илом и биогенными веществами, если требуется их подача для увеличения эффекта очистки. В период наполнения включаются воздухоподогреватели, и начинается аэрация. Процесс заканчивается достижением установленного уровня воды или истечением определенного времени. Период наполнения равен 12 часам.

2. Аэрация. Содержимое биореактора продолжает аэрироваться в течение 8 часов.

3. Отстаивание. Происходит седиментация ила, которая длится 2 часа.

4. Частичное опорожнение реактора, то есть выпуск очищенной воды до верхнего уровня отстоянных стоков в течение 2 часов.

На этапе выпуска очищенного стока до минимального уровня установленными на дне биореактора насосами с периодичностью в несколько приемов, циклов откачивается избыточный активный ил.

Реакторы работают в автоматическом режиме. После заполнения одного начинается заполнение второй. В каждом последовательно чередуются этапы очистки.

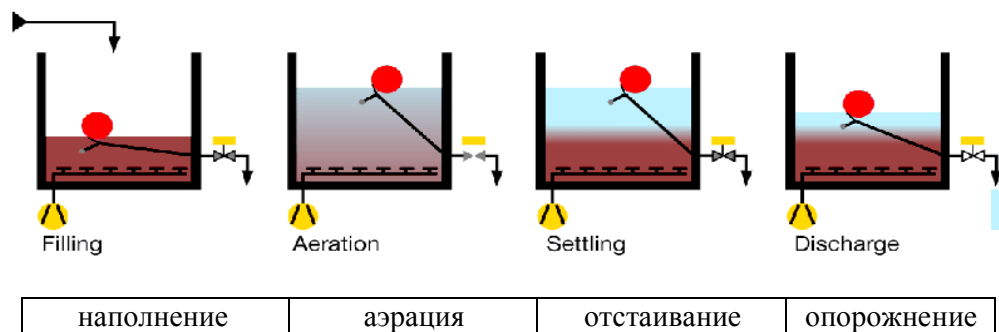


Рисунок 11 – Биологическая очистка реактора последовательного замеса

Аэрация в SBR-реакторах обеспечивается с помощью мембранных мелкопузырчатых аэрационных элементов, установленных на решетках из полипропиленовых труб. Такие решетки закрепляются на дне реакторов, каждая имеет устройство для удаления конденсата. Применение донных мембранных аэраторов позволяет осуществлять прерывистый режим аэрации в зависимости от концентрации кислорода в реакторах, без опасения заиливания и коагуляции мембран. Такой режим работы обеспечивает значительную экономию электроэнергии и является оптимальным с точки зрения протекания биологических процессов. Воздух в систему аэрации реакторов подается оснащенными

фильтрами воздуходувками по магистральным воздухопроводам из нержавеющей стали. Воздух, поступающий в систему, не содержит механических примесей в виде пыли и масел. Благодаря этому срок службы аэраторов значительно удлиняется.

Использование двух реакторов, работающих в циклическом режиме, имеет следующие преимущества:

- отпадает необходимость строительства вторичных отстойников;
- гибкость процесса разрешает простую регулировку режимов очистки в связи с возможными изменениями качества и количества сточных вод;
- обеспечивается хорошая адаптация и выживаемость активного ила;
- достигается высокая эффективность очистки сточных вод от трудноокисляемых загрязнений: в случае гибели активного ила в одном реакторе обеспечивается его быстрое восстановление.

В реакторе последовательного замеса хорошо протекают стадии процесса биологической очистки стоков нитрификации, денитрофикации и удаления фосфора [3].

Биологическая очистка непрерывного действия с использованием мембранного биореактора (далее –МБР).

Технологический процесс данной биологической очистки разработан на основе использования мембранной технологии, так называемого мембранного биореактора.

В настоящее время МБР успешно работают в России – на предприятиях пищевой промышленности, стоки которых имеют высокую степень загрязнений. В представленной на рисунке 12 конфигурации сооружений очистки, когда аэротенк и блок погруженных мембран находятся в одном объеме, имеет место низкая концентрация ила в аэротенке. Мембранный блок используется как осветлитель, для отделения ила от биологически очищенных вод [3].

В технологической схеме биологической очистки стоков применен аэротенк, внутри которого устанавливается мембранный блок. Последний в данном случае выполняет роль вторичного отстойника, отделяет биологически очищенную воду от активного ила.

Преимущества:

- проверенная технология для различных пищевых производств;
- достигается повышенная концентрация ила, что позволяет принимать высококонцентрированные стоки;
- компактные сооружения очистки.

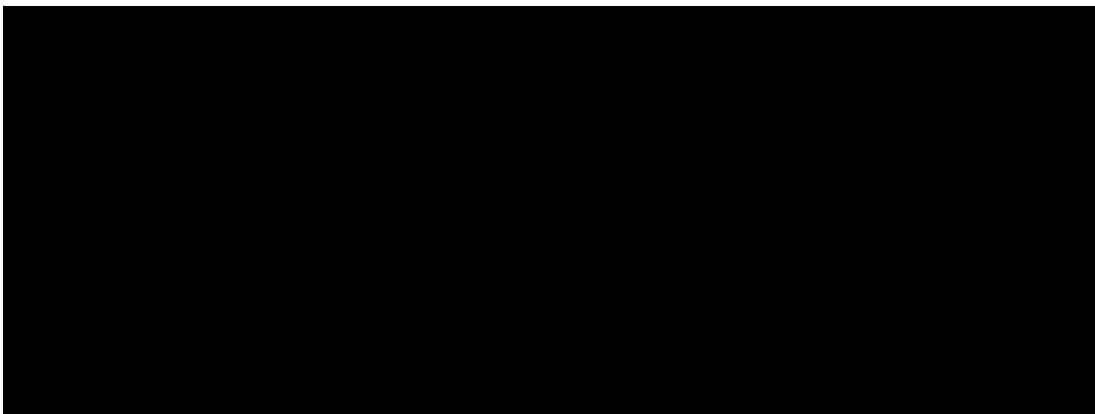


Рисунок 12 – Биологическая очистка непрерывного действия с мембранным биореактором

В числе недостатков мембранных биореакторов то, что расходы при их эксплуатации выше, чем в системе очистки непрерывного действия с разделением ила в осветлителе (вторичном отстойнике) или флотаторе. Это связано с необходимостью поддержания работоспособности мембран (кислотные и щелочные промывки, продувки воздухом, дозирование антинакипных добавок), а также их периодической замены. Предполагаемый срок службы мембран – 3–4 года.

Мембранные технологии чистки стоков. Технология очистки методом фильтрации

С помощью обратного осмоса (рис. 13) производственные стоки разделяются на потоки концентрата с содержанием органических загрязнений, солей и очищенной воды. Фильтрация стоков для установки обратного осмоса требуется для уменьшения степени загрязнений, что значительно снижает эксплуатационные расходы, связанные с периодичностью кислотно-щелочных промывок, использования антинакипинов и корректоров pH [3].

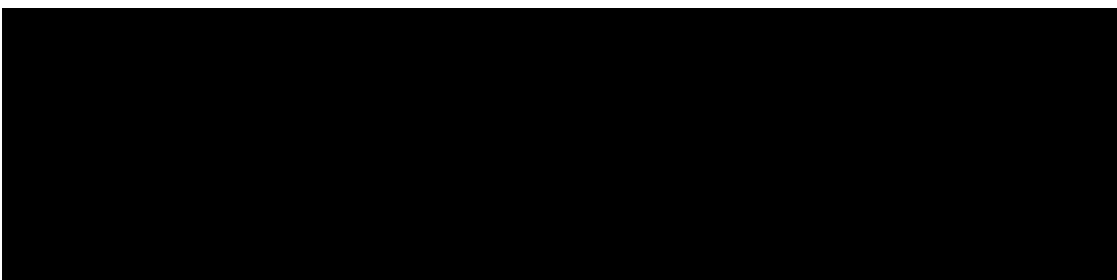


Рисунок 13 – Очистка производственных стоков с использованием мембранных технологий фильтрации

Преимуществами фильтрации перед биологической очисткой можно считать компактность очистных сооружений и небольшую зону обслуживания.

Основные недостатки технологии фильтрации производственных сточных вод:

- высокие расходы по эксплуатации в связи с ведением процесса под давлением;
- мембраны имеют ограниченный срок службы (3–4 года), высокие затраты на замену;
- мембраны подвержены загрязнению;
- загрязняющие вещества не удаляются, а концентрируются, возникает проблема их утилизации;
- поток концентрата должен быть очищен, требуется дополнительное оборудование и затраты.

Кроме того, имеет место достаточно большое количество ограничений по использованию мембран, когда в стоках присутствуют растворители, нефтепродукты и др.

Таким образом, актуальность проблемы очистки производственных сточных вод предприятий, перерабатывающих молоко, растет с каждым днем, так как негативное воздействие на природу и жизненное пространство населения домов, расположенных вблизи таких заводов, увеличивается по мере расширения, модернизации и увеличения их производственной мощности.

Тема очистки стоков и минимизации влияния молочных предприятий на локальные экосистемы уже вышла за пределы производственной проблемы и отдельной группы специалистов. Сегодня она уже остро волнует самые широкие слои населения, обсуждается в СМИ. Попытка систематизации современных методов биологической очистки сточных вод, изложенная в данной статье, позволит специалистам лучше ориентироваться в выборе разработчика технологии, поставщика основного технологического оборудования с учетом конкретных объемов стоков, их характерных загрязнений и особенностей молочных заводов.

Литература

1. Очистка производственных сточных вод в аэротенках / сост. Я.А. Карелин [и др.]. – М. : Стройиздат, 1973. – 223 с.

2. Зволинский, В.П. Экологически безопасные технологии: учеб. пособие / В.П. Зволинский, М.Д. Харламова, Д.А. Кривошеин. – М.: Изд-во РУДН, 2004. – 172 с.

3. Дернович, А.В. Современные аэробные биологические системы очистки сточных вод промышленных предприятий / А.В. Дернович // Совершенствование технологий и оборудования пищевых производств: сб. докл. 26 науч.-практ. конф. 22–23 февраля 2012 г./ Труды Белорусского технологического университета.–Минск, 2012. – Ч. 2.

A. Dernovich, O. Soroko

SEWAGETREATMENTOFDAIRYENTERPRISES WITHAEROBICBIOLOGICALSYSTEMS

Summary

The total amount of industrial wastewater of milk-processing enterprises in Belarus reaches up to 12 million tons per year. About 5 million tons of the total amount arrive on the filtration fields, and the rest are directed into the city sewage systems and further to treatment facilities of public system. In case of sewage discharge on the filtration fields the environmental pressure in the area of «dairy lakes and rivers» worsens sharply, and during the summer period the pressure strengthens even more.

According to the data of monitoring of industrial drains of the enterprises, the main polluting components of sewage of milk-processing enterprises are the rests of the dairy products.