

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ

В.Г. Чебан, канд. техн. наук, доцент;

С.С. Антоненко*, канд. техн. наук, доцент,

Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск;

*Сумский государственный университет, г. Сумы

Предложена принципиально новая гидравлическая схема установки ультрафильтрации, обеспечивающей последовательную регенерацию как минимум одного модуля с одновременным разделением воды на фильтрат и концентрат в остальных модулях. Установка обеспечивает непрерывную подачу фильтрата потребителю и повышает надежность и долговечность работы оборудования.

Ключевые слова: мембрана, ультрафильтрация, регенерация.

Наведено принципову нову гідралічну схему установки ультрафільтрації, що забезпечує послідовну регенерацію як мінімум одного модуля з одночасним розділенням води на фільтрат та концентрат в інших модулях. Установка забезпечує неперервну подачу фільтрату споживачу і підвищує надійність та довговічність роботи устаткування.

Ключові слова: мембрана, ультрафільтрація, регенерація.

ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом все заметнее становится роль промышленных, коммунальных и ливневых стоков в работе крупных промышленных, энергетических и коммунальных предприятий, а степень их использования все более отражается на эффективности работы этих и других предприятий [1-3]. Основными причинами этого являются общемировая тенденция ухудшения качества воды в водозаборах и несостоятельность существующих традиционных технологий водоподготовки [4] самостоятельно и на должном уровне справиться с новыми техногенными загрязнениями. На помощь им пришли мембранные технологии очистки воды, способные получать как техническую, так и питьевую воду наивысшего на данном этапе качества. К ним относятся технологии ультрафильтрации, нанофильтрации и обратного осмоса [5], основанные на мембранном разделении очищаемой воды на фильтрат и концентрат.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Общеизвестно, что осуществление технологий мембранного разделения воды таких стоков в выносных мембранных аппаратах невозможно без предварительной ее подготовки до необходимого физического и химического состояния [6,7], осуществляемой в настоящее время традиционными технологиями [4]. Обычно это делается в комплексах водоподготовки, состоящих из систем предподготовки и мембранного разделения воды. Так как ультрафильтрация может являться как конечным этапом очистки воды, так и своего рода предподготовкой для нанофильтрации и обратного осмоса, то для простоты изложения вопроса рассмотрению подлежит комплекс водоподготовки в составе системы предподготовки и установки ультрафильтрации, причем основное внимание уделяется одноблочной установке ультрафильтрации.

Как правило, традиционные системы предподготовки работают в режиме непрерывной подачи потребителю очищенной воды относительно

постоянного объема, для чего они зачастую оснащены резервным оборудованием. Таким потребителем в рассматриваемом комплексе водоподготовки является установка ультрафильтрации, состоящая из одного или нескольких параллельно соединенных между собой мембранных блоков, обеспечивающих доочистку воды от загрязнений до нужного состояния, причем, в противоречие вышесказанному, работающих в режиме циклического потребления поставляемой им подготовленной воды. Такое противоречие значительно снижает эффективность работы системы предподготовки и свидетельствует о недостаточно раскрытых возможностях установки ультрафильтрации, особенно одноблочной, требует комплексного согласования совместной работы оборудования, ограничивает возможности использования более эффективного оборудования в системе предподготовки, например, работающего в непрерывном режиме.

Для сглаживания этого противоречия, как правило, прибегают к многоблочной структуре установки ультрафильтрации, при проектировании которой рекомендуется достаточный резерв числа модулей и их производительности в каждом блоке на момент останова одного из них на регенерацию или химическую очистку. Например, производительность мембранного модуля принимается примерно в 1,5 раза меньше максимально возможной. Но это не решает всех проблем, связанных с циклической одновременной регенерацией модулей в каждом блоке, ярко выраженных в одноблочной установке. Так, циклическая регенерация блока связана с необходимостью циклического отключения и последующего через довольно короткий промежуток времени (1–120 с) включения технологического насоса или же привода задвижки, установленной до или после него. Это, в свою очередь, требует организации работы этого насоса в режиме холостого хода или под напором с его защитой в случае циклической работы привода задвижки, при которых работу насоса трудно считать оптимальной или эффективной. Особенно это актуально при коротких циклах фильтрации воды и регенерации модулей, довольно часто имеющих место в установках ультрафильтрации воды современного качества. Одновременная же регенерация всех мембранных модулей обратной промывкой фильтратом в таких установках требует значительного его расхода, в преобладающем большинстве случаев в 2–3 раза превышающего производительность установки по фильтрату. Это, в свою очередь, резко повышает мощность насоса обратной промывки, условия работы которого намного хуже, чем у упоминаемого выше технологического насоса, и значительно увеличивает установленную мощность установки. В случае же применения химических растворов с дозировкой их в промывочный фильтрат в ходе регенерации модулей требуется наличие дозаторов высокой производительности и, следовательно, с более мощными насосами. Причем при одинаковой погрешности дозирования потери химических растворов такими дозаторами значительно выше, чем у малопродуктивных. В одноблочных установках ультрафильтрации происходит одновременно одинаковое и постепенно повышающееся загрязнение всех ее мембранных модулей до максимального значения. Последующая приостановка цикла фильтрации воды, вызванная необходимостью регенерации модулей установки, и значительные затраты фильтрата на их совместную регенерацию резко повышают колебания получения потребительской части фильтрата, что с целью его выдачи постоянным количеством потребителю требует наличия накопительной емкости значительных размеров [8].

Циклическое потребление системой ультрафильтрации предварительно очищенной воды вызвано необходимостью циклической приостановки

процесса ее фильтрации во всех мембранных модулях, обеспечивающей всем им последующую одновременную регенерацию как минимум одним из известных гидродинамических способов. Поэтому очевидно, что работа одноблочной системы ультрафильтрации в режиме непрерывной фильтрации возможна в случаях одновременного проведения в каждом модуле процессов фильтрации и регенерации или традиционного наличия резервного блока мембранных модулей, или последовательной регенерации как минимум одного модуля блока во время фильтрации воды в других его модулях. Безусловно, самым оптимальным является первый случай, который становится возможным, например, за счет использования физических методов регенерации мембранных модулей, при реализации которых в ходе фильтрации оказывается воздействие на мембрану модуля электрическим, магнитным или ультразвуковым полями. Однако, учитывая сообщение авторов работы [9], что "физические методы очистки пока надо рассматривать как гипотетические и они не вышли за рамки лабораторных исследований", и с осознанием того, что столь серьезные разработки могут быть признаны эффективными и надежными в работе пока в довольно далекой перспективе, то на данном этапе следует сосредоточить свое внимание на повышении эффективности использования существующих, хорошо зарекомендовавших себя гидродинамических способов регенерации мембранных модулей путем усовершенствования конструкции систем ультрафильтрации.

В этом плане заслуживают внимания результаты работы [10], свидетельствующие о том, что после незначительной реконструкции установки ультрафильтрации можно осуществлять непрерывную фильтрацию воды в большей части ее модулей и одновременную регенерацию как минимум одного из них. Но, к сожалению, такая идея могла быть и не реализованной вообще или в широком масштабе по причине несовершенства предложенной гидравлической схемы подсистемы ультрафильтрации. Так, предусмотренная схемой подача части концентрата в подводящий коллектор модульного блока в противоток подачи очищаемой воды в него же является не рациональной, или ошибочной, и не может обеспечить достаточную эффективность работы подсистемы ультрафильтрации. Не рационально выбрано и место размещения циркуляционного насоса части концентрата. Сказанное становится более понятным после сравнения упоминаемой схемы с гидравлической схемой, предложенной в работе [11]. И если в ней на выходах фильтрата всех мембранных модулей предусмотреть отсечные краны, как это сделано в работе [10], и отказаться от обратной промывки фильтратом, то идея одновременного проведения процессов фильтрации и регенерации промывкой напорного канала модуля сильной струей очищаемой воды в одном мембранном блоке, предложенная авторами работы [10], является вполне реальной без каких либо издержек. И все же, такая реконструкция установки ультрафильтрации обеспечивает регенерацию модулей только одним и не самым эффективным из всех известных гидродинамическим способом, что сдерживает возможности ее использования.

Целью работы являются определение перспективных направлений повышения эффективности работы системы ультрафильтрации и разработка технических решений, обеспечивающих непрерывную подачу фильтрата потребителю, с возможностью одновременной регенерации как минимум одного мембранного модуля одним или двумя известными гидродинамическими способами.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для выяснения возможности усовершенствования одноблочной системы ультрафильтрации были проведены теоретические и патентные

исследования, результатом анализа которых является предлагаемая система непрерывной ультрафильтрации, гидравлическая схема которой представлена на рис. 1 и 2. Она содержит ряд мембранных модулей 1 с настроечными при аттестации дросселями 2 каждый, объединенных в секции 3 с одинаковым их количеством.

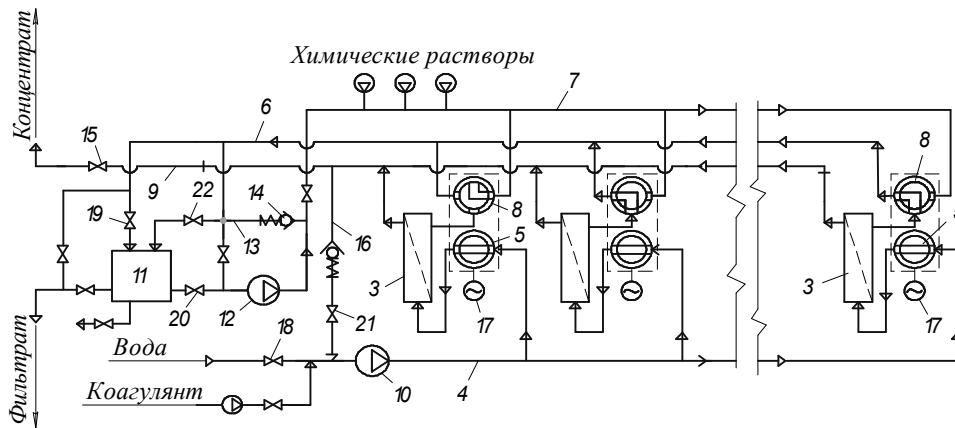


Рисунок 1 – Гидравлическая схема системы непрерывной ультрафильтрации

На рис. 2 а показаны секции 3 с двумя модулями 1 типа DIZZER 5000 компании Inge AG, которые содержат в корпусе по одной мембране, в других же случаях не исключено наличие в корпусах модулей нескольких мембран, соединенных между собой как параллельно, так и последовательно, но одинаково в каждом из них.

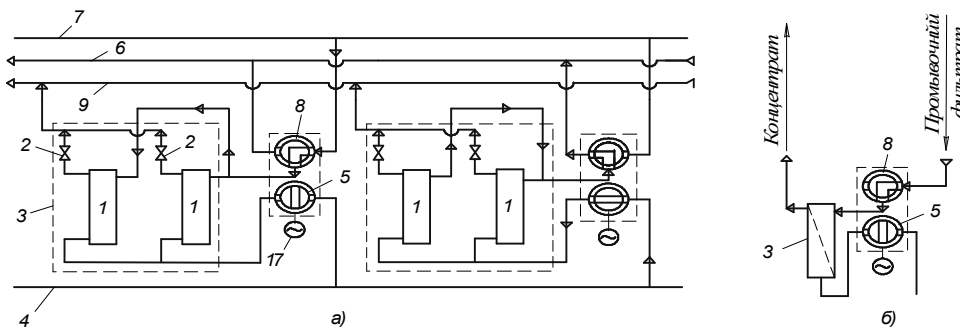


Рисунок 2 – Узлы гидравлической системы:
а – гидравлическая схема соединения модулей в секции;
б – положение клапанов секций при обратной промывке

Секции 3, в свою очередь, параллельно соединены с линией воды 4 посредством отсечных клапанов 5 с линиями 6 и 7 потребительского и промывного фильтратов соответственно посредством распределительных клапанов 8 и с линией концентрата 9. При этом линия воды 4 оборудована на входе технологическим насосом 10, линия потребительского фильтрата 6 – накопительной емкостью 11, линия промывочного фильтрата 7 – насосом обратной промывки 12 и циркуляционным трубопроводом 13 с распределительным или перепускным клапаном 14 и соединена с емкостью 11, линия концентрата 9 – дросселем 15 на выходе и циркуляционным трубопроводом 16. Для уменьшения количества приводов клапаны 5 и 8 каждой секции целесообразно выполнить в виде одного распределительно-отсечного клапана с общим электрическим приводом 17. Все электрические приводы оборудования и соответствующая

контрольно-измерительная аппаратура системы (не показана) электрически соединены с пультом автоматического управления (не показан), а оборудование, подлежащее замене без остановки работы системы, дополнительно оборудовано соответствующей запорной арматурой (не показана).

Исходное положение оборудования системы показано на рис. 1, при котором осуществляется регенерация мембранных модулей 1 первой от технологического насоса 10 секции 3 и фильтрация воды во всех модулях остальных секций. Для осуществления системой этих функций ее пульт управления при постоянно открытых дросселях 2 и 15 включает в работу технологический насос 10 и открывает заслонку 18 линии воды 4. Затем сразу или с некоторой задержкой включает в работу электроприводы 17 клапанов 5 и 8 всех секций 3 системы. В результате клапаны 5 и 8 первой секции занимают положение, представленное на рис. 1, при котором клапан 8 временно закрыт как для выхода из нее потребительского фильтрата, так и для подачи в нее промывочного фильтрата, а клапан 5 открыт для подачи в нее исходной воды из линии 4. Клапаны же 5 и 8 всех остальных секций выставляются в положение, представленное на рис. 1, при котором все они в сравнении с первой секцией через их временно открытые для фильтрата клапаны 8 и постоянно открытую при работе системы заслонку 19 соединяются с линией потребительского фильтрата 6 и емкостью 11.

Предусмотренное исходное положение системы (рис. 1) является обязательным в случае начала работы системы со всеми очищенными секциями, например, после монтажа или химической очистки всех модулей одновременно с остановкой фильтрации воды. В такое же положение при нормальной работе системы пульт управления возвращает ее после завершения регенерации модулей последней секции. В остальных, не предвиденных случаях остановки системы восстановление ее работы обязательно начинается с секции, по вине которой имела место вынужденная остановка ее работы.

Технологическим насосом 10 вода под давлением подается в линию 4, откуда через открытые клапаны 5 поступает во все секции 3 системы и их модули 1, где движется вдоль напорных каналов половолоконных мембран. Так как клапан 8 первой секции закрыт для выхода фильтрата с двух ее модулей 1, то в них осуществляется промывка каналов водной струей. В модулях же всех остальных секций вода разделяется на фильтрат и концентрат. При этом фильтрат через открытые для него клапаны 8 оставляет секции, в которых происходит фильтрация, и по линии 6 при открытой ее заслонке 19 поступает в накопительную емкость 11. Концентрат же в смеси с промывочной водой из первой секции через открытые дроссели 2 модулей и по линии 9 при ее открытом дросселе 15 оставляет систему. При этом в первой секции осуществляется первый способ регенерации ее модулей – способ промывки в прямом направлении очищаемой водой при закрытом выходе фильтрата. Осуществляемая регенерация напорных каналов мембран струей очищаемой воды является предварительной и более эффективна при использовании в ходе фильтрации коагулянтов, так как после такой фильтрации и следующей за ней регенерации модулей улучшаются условия осуществления второго способа регенерации модулей – способа обратной промывки фильтратом со снижением его потерь.

Перед окончанием регенерации модулей 1 первой секции 3 способом промывки в прямом направлении пульт управления открывает задвижку 20 и включает в работу насос обратной промывки 12. Далее открываются перепускной клапан 14 и задвижка 22 и начинается временная циркуляция фильтрата через емкость 11, что обеспечивает нормальный запуск насоса 12 при закрытых клапанах 8 всех секций 3. После

достижения насосом 12 стабильного режима работы, пульт управления для окончания предварительной регенерации модулей 1 первой секции 3 включает в работу ее привод 17. Клапаны 5 и 8 занимают положение, представленное на рис. 2 а и 2 б, при котором клапан 5 закрыт для подачи воды в секцию, а клапан 8 открыт для подачи в нее промывочного фильтрата. В остальных секциях 3 системы продолжают процесс фильтрации воды и постепенное загрязнение модулей. В результате работы насоса 12 фильтрат из емкости 11 в виде промывочного фильтрата подается по линии 7 к клапанам 8 всех секций. И после упоминаемого выше открытия клапана 8 первой секции промывочный фильтрат под повышенным давлением попадает в ее модули 1, и, как следствие, начинается осуществление второго способа регенерации мембран, а именно – способа обратной промывки фильтратом. Как правило, такая промывка осуществляется со скоростью, значительно большей, чем скорость фильтрации, и очищает как поверхность мембран, так и их поры. После окончания регенерации модулей первой секции завершающим вторым способом пульт управления включает ее привод 17, который поворачивает одновременно пробки клапанов 5 и 8 на 90 град. в том же направлении, и они занимают положение, при котором в первой секции начинается фильтрация воды. Одновременно или с некоторым опозданием пульт управления включает электропривод 17 обязательно следующей за ранее регенерируемой секцией, в данном случае – второй, который поворотом пробок ее клапанов 5 и 8 на 180 град. приводит их в положение, представленное на рис. 2 а слева. После этого во второй секции 3 системы осуществляется предварительная регенерация ее модулей первым способом, затем – завершающим вторым, как описано выше для первой секции, а у всех других секциях, в том числе и в первой, осуществляется фильтрация воды. Для повышения конверсии системы посредством циркуляционного трубопровода 16, дроссельных клапанов 15 и 21 и насоса 10 осуществляется рециркуляция части концентрата.

Таким образом, за промежуток времени, отведенный на фильтрацию воды, проходят регенерацию в одиночку и обязательно последовательно все секции 3 системы, а ультрафильтрация воды проводится в режиме непрерывного получения фильтрата. При этом, когда переход от окончания регенерации вторым способом одной секции до ее начала этим же способом в другой занимает незначительный промежуток времени, то насос 12 обратной промывки работает непрерывно, без частых включений и отключений, за счет циркуляции фильтрата, что улучшает условия его работы. Очевидно, что лучшие условия работы насоса 12 обратной промывки будут достигнуты в том случае, когда завершение регенерации модулей в одной секции совпадает с началом ее в следующей, что возможно при регенерации только вторым способом. Но важнее при этом есть то, что насос 12 осуществляет регенерацию не всех модулей системы одновременно, а только той части, которая имеется в одной секции. А это значит, что его мощность намного меньше, чем в системах, работающих в режиме очистки всех модулей одновременно. И при значительных производительностях системы ультрафильтрации и минимально возможном количестве модулей 1 в одной секции 3 снижение мощности насоса 12 обратной промывки может быть десятикратным.

Кроме того, непрерывная фильтрация воды в одноблочной системе ультрафильтрации обеспечивает постоянное ее потребление из системы предподготовки, что исключает необходимость включения или отключения заслонки 18 линии воды 4 и работы ее технологического насоса 10 в режимах холостого хода или под нагрузкой. Очевидно, что это улучшает условия работы как этого оборудования, так и

оборудования системы предподготовки, повышает срок его эксплуатации, исключает потребность в согласовании его работы.

Все сказанное становится более обозримым, если оно представлено в сравнении с уже известными высокопроизводительными установками ультрафильтрации, работающими в конкретных условиях. Более подробные данные об одной из них изложены в работе [12], называемой далее аналогом, в котором регенерация осуществляется промывкой фильтратом с расходом, в 3 раза превышающим производительность по фильтрату через каждые примерно 18 минут. В этом случае производительность предлагаемой одноблочной системы ультрафильтрации по фильтрату должна составлять 90 м³/час при производительности одного модуля 1-го типа DIZZER 5000 не менее 3 м³/час и продолжительности цикла фильтрации исходной воды, равной 18 минутам. Далее, с целью демонстрации возможностей предложенной системы, предусматриваем регенерацию модулей двумя вышеописанными способами, при этом продолжительность цикла регенерации модулей первым способом с закрытым выходом фильтрата равна 0,4 минуты, а цикла последующего за ним второго способа – 0,6 минуты с расходом фильтрата, в 2 раза превышающим производительность по фильтрату. При этих условиях получение 90 м³/час потребительского фильтрата обеспечивает 15 секций 3 с двумя модулями 1 в каждой. Для непрерывности его получения нужны еще дополнительные три секции 3, две из которых обеспечивают непрерывное получение так называемого промывочного фильтрата, а одна – постоянно находится на регенерации ее модулей. Тогда в общем система состоит из 18 секций. При этом производительность одной секции 3 по фильтрату составляет 6 м³/час, а для ее регенерации нужно 12 м³/час промывочного фильтрата, общее же количество модулей 1 в предлагаемой системе составляет 36 штук.

В аналоге один блок содержит 32 модуля типа DIZZER 5000. Традиционно непрерывное получение фильтрата постоянного объема в одноблочной системе можно достичь за счет наличия такого же резервного блока, что в сравнении с предложенной системой требует дополнительных 28 модулей. Если же предложенную одноблочную систему приблизить к условиям одного блока аналога, в котором регенерация осуществляется только обратной промывкой фильтратом в течение 0,6 минуты с расходом фильтрата, в 3 раза превышающим производительность по фильтрату, т.е. как и в аналоге, тогда предложенная система будет содержать 19 секций по два модуля в каждой, а общее их количество составит 38 штук. В этом случае для непрерывной фильтрации в блоке аналога с резервированием будет на 26 модулей больше. Если даже признать, что в аналоге производительностью 270 м³/час на все три блока будет только один резервный, то они будут содержать на 26 и 32 модуля больше соответственно, чем одна предложенная система ультрафильтрации с той же производительностью. Это свидетельствует о том, что при непрерывной ультрафильтрации в каждом блоке с получением относительно постоянного объема фильтрата отпадает необходимость в многоблочной структуре установок ультрафильтрации, что также резко упрощает их систему управления. Оговариваемые сравнения правомочны потому, что и в предложенной системе ультрафильтрации, и в блоке аналога резерв по производительности модулей одинаков (3 м³/час вместо 4,5 м³/час).

При одинаковых по времени циклах фильтрации и обратной промывки фильтратом блока аналога и предложенной системы производительность насоса обратной промывки составляет 300 м³/час и 12 м³/час соответственно. То есть имеет место 25 кратное ее снижение, а при одинаковых расходах фильтрата на промывку – 16 кратное. Поэтому мощность и стоимость насоса обратной промывки будут значительно

ниже в предлагаемой системе ультрафильтрации, что с учетом наличия резервного насоса более ярко свидетельствует о снижении установочной мощности системы.

Обращает на себя внимание в предложенной системе увеличение числа приводов 17 распределительно-отсечных клапанов 5 и 8 до 18 штук. Анализ показал, что с учетом маломощности приводов этих клапанов и основного и резервного насосов обратной промывки их суммарная установленная мощность как минимум в 3 раза меньше установленной мощности таких же насосов в одноблочном аналоге.

К тому же в аналоге высокомогущный насос обратной промывки через каждые 18 или 6 минут (с учетом поочередной регенерации трех блоков в известной установке) включается и через 30–50 секунд отключается. Маломощный же насос обратной промывки в предложенной системе работает в стабильном режиме непрерывно. При этом наличие циркуляционного трубопровода 13 с перепускным клапаном 14 и задвижкой 22 не требует специальных мер для защиты насоса и его двигателя. Особенно это важно для насосов высокого давления, более привередливых к условиям работы.

Очевидно, что наличие трех блоков в аналоге похоже на наличие 18 секций в предложенной системе, но, как видно из вышесказанного, таким количеством блоков нельзя достичь оптимальных результатов. Даже если принять, что модульные блоки аналога поочередно регенерируются через каждые 6 минут с остановкой фильтрации в одном из них, то это дает снижение производительности насоса обратной промывки с 900 м³/час до 300 м³/час, т.е. в три раза. Но при этом во столько же раз возрастает количество его включений и отключений, что намного ухудшает условия работы насоса. Колебания же в потреблении воды из системы предподготовки и выдаче фильтрата могут составить до 30%, что компенсируется повышением производительности двух других блоков. И делается это за счет включения в работу запасных модулей с последующим их отключением или за счет саморегуляции рабочих модулей. Это яркий пример имеющих место невостробованной производительности и нестабильности цикла фильтрации в модулях и связанных с этим проблем. Частые запуски мощных насосов повышают энергозатраты и снижают срок их службы, а значительные колебания объема выдаваемого фильтрата требуют его аккумуляции. Имеющее место использование резервной производительности по фильтрату модулей блоков с целью избегания значительных колебаний его получения требует наличия многоступенчатых технологических насосов, мощность которых значительно выше, при этом установочная мощность значительно превышает мощность предлагаемой системы, даже с учетом наличия на три блока аналога одного резервного многоступенчатого технологического насоса.

Если учесть, что в аналоге при фильтрации используются коагулянты с подачей в исходную воду посредством дозаторов с электроприводами, то понятно, что в предложенной системе непрерывной ультрафильтрации они будут работать в более благоприятных условиях и с более высокой эффективностью. А при дозировании химических растворов, подаваемых в промывочный фильтрат, дозаторы так же будут значительно меньшей производительности и мощности, что снизит установленную мощность предлагаемой системы, и при одинаковой с высокопроизводительными дозаторами погрешности дозирования будет иметь место экономия растворов, а работать они будут непрерывно без частых включений и отключений.

Кроме того, стабильный цикл непрерывного получения фильтрата в нужном объеме в одном блоке резко снижает возможность значительных его колебаний. В аналоге же такие колебания достигают почти 5% только

за счет приостановки процесса фильтрации на 40 секунд и при затратах фильтрата в это время на регенерацию одного блока через 18 минут. Известно также, что в аналоге и в других таких же установках имеет место допустимое снижение производительности по фильтрату на 10–15%, которое определяет степень максимально допустимого одновременного загрязнения в ходе цикла фильтрации всех модулей, что тоже требует создания запасов фильтрата для стабильной выдачи его потребителю или принятия мер по обеспечению относительного постоянства объема получаемого фильтрата. В предложенной системе столь значительные колебания производительности по фильтрату отсутствуют, так как общая загрязненность всех модулей при фильтрации постоянная и имеет приблизительно среднее значение аналога. С учетом значимости сказанного остановимся на нем более подробно. Для наглядности условно принимаем, что загрязненность модулей в ходе фильтрации носит линейный характер, за единицу которой принимаем 1 минуту продолжительности цикла фильтрации, а модули после монтажа и химической очистки достигают стабильной работы как минимум после первого цикла фильтрации, продолжительность которого из вышесказанного одинаковая в обоих случаях и составляет 18 минут. Тогда загрязненность модулей одного блока в аналоге от конца первой минуты цикла фильтрации до его окончания постепенно возрастает от 32 до 576 единиц. В предлагаемой же системе ультрафильтрации общая загрязненность модулей после первого цикла фильтрации составляет 306 единиц, является поминутно постоянной в ходе фильтрации и определяется суммой арифметического ряда чисел от 1 до 17 с учетом наличия двух модулей 1 в каждой из 18 секций 3. Это свидетельствует о том, что условия фильтрации в предложенной схеме постоянны и намного лучшие, чем в аналоге, и имеются предпосылки сокращения числа секций, например до 15 штук, за счет повышения проектируемой производительности одного модуля с 3 м³/час до 3,75 м³/час при максимально возможной 4,5 м³/час.

Наличие в предложенной системе возможности регенерации модулей тремя способами, а именно – способом промывки напорных каналов мембран струей исходной воды при закрытом выходе фильтрата, способом обратной промывки фильтратом и комбинированным способом с последовательным осуществлением первого и второго способов, расширяет вероятности использования системы ультрафильтрации. При этом комбинированный способ регенерации значительно снижает потери фильтрата на ее осуществление, а первый вообще исключает его затраты. Использование каждого из этих способов регенерации модулей определяется конкретными условиями с точки зрения экономической целесообразности.

Построение многоступенчатых установок мембранной фильтрации за принципом предложенной системы ультрафильтрации обеспечит независимость их ступеней одна от одной и повысит эффективность их работы и установки в целом, при этом последний блок или ступень с незначительным количеством модулей, по-видимому, целесообразно выполнять по схеме с резервным блоком. Возможно, при этом решатся и некоторые вопросы относительно выбора мембран для одной многоступенчатой установки и/или их унификации.

Известно, что в современных системах мембранной фильтрации воды осуществляется контроль качества фильтрата и состояния их модулей. Но при появлении проблем в этом вопросе имеются сложности в определении конкретного модуля, дающего сбой в работе, или для этого требуется значительное число информаторов. В предложенной же системе при наличии измерителя качества фильтрата по изменению значения давления насоса 12, который осуществляет последовательную промывку

каждой секции 3, становится очевидным, в какой из них имеют место порывы мембран или они непоправимо загрязнены.

Известно, что регенерация модулей любым из способов только отдалает потребность в их дальнейшей химической очистке, которая также требует приостановки в них фильтрации. И возможность ее проведение в одном блоке существующих многоблочных установок ультрафильтрации без остановки фильтрации в остальных из них является достаточным основанием для утверждения, что ее последовательное осуществление в каждой секции модулей предложенной системы ультрафильтрации вполне реальное. Но имеющие место высокие затраты фильтрата на химическую очистку и значительная ее продолжительность наряду с закупкой, доставкой и хранением химикатов, приготовлением растворов, наличием специальных участков с соответствующим оборудованием и персоналом, необходимостью нейтрализации сбрасываемых моющих растворов, потребностью дальнейшей переработки или захоронения их отходов и тому подобными проблемами и достигнутые успехи в производстве мембран уже на данном этапе вызывают сомнения в целесообразности применения в обозримом будущем химической очистки модулей вообще. По-видимому, при более значимом снижении стоимости мембран и расширении их возможностей потребность в химической очистке модулей отпадет, засоряемые до определенной степени мембраны будет целесообразнее заменять новыми, а непригодные сдавать потребителю как утильсырье.

ВЫВОДЫ

Циклический режим разделения воды на фильтрат и концентрат в каждом мембранном модуле системы ультрафильтрации оказывает негативное влияние не только на ее работу, но и на работу всего комплекса водоподготовки. Заключается оно в снижении производительности, значительных колебаниях объема получаемого фильтрата, требующих наличия довольно больших по объему промежуточных емкостей, необходимости согласования работы оборудования систем предподготовки и разделения и ухудшении условий его работы, наличие значительной установочной мощности. Избежать такого режима в одном модуле можно только в случае отсутствия потребности в его регенерации или при потребности в таковой параллельного ее проведения с процессом разделения. Известные же на данный момент физические способы регенерации модулей, осуществляющие одновременное ее проведение с процессом разделения в одном модуле, не нашли пока промышленного применения, а широко применяемые на данном этапе гидродинамические способы регенерации модулей требуют приостановки разделения воды в них с целью последующей регенерации. Поэтому для непрерывного получения фильтрата, причем достаточно постоянного объема, нужно иметь традиционный резервный блок, работа которого даже в паре с основным является недостаточно эффективной. Одним из вариантов повышения эффективности работы системы ультрафильтрации и комплекса водоподготовки в целом на данном этапе может быть предложенная в данной работе одноблочная система непрерывной ультрафильтрации. На разработанную систему ультрафильтрации подана заявка на получение патента Украины [13]. Эта система обеспечивает непрерывное разделение и параллельную ему регенерацию не в одном модуле, а в одном модульном блоке за счет последовательной регенерации как минимум одного из модулей блока и разделения воды на фильтрат и концентрат в остальных из них. Предложенная система обеспечивает непрерывное получение фильтрата, повышает надежность и долговечность работы оборудования как самой системы ультрафильтрации, так и системы

предподготовки воды, существенно снижает капитальные затраты и установочную мощность.

SUMMARY

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF ULTRAFILTRATION TECHNOLOGY AND THE IDENTIFICATION OF THE WAYS TO ENHANCE ITS EFFECTIVENESS

*V.G. Cheban, S.S. Antonenko**,
Donbas State Technical University, Alchevsk;
*Sumy State University, Sumy

Essentially new hydraulic circuit of installation of the ultrafiltration providing consecutive regeneration at least of one module with simultaneous division of water on a filtrate and a concentrate in other modules is offered. Installation provides continuous submission of a filtrate to the consumer and raises reliability and durability of work of the equipment.

Key words: *membrane, ultrafiltration, regeneration.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Громов С.А., Пантелеев А.А., Сидоров А.Р. "Современные технологии водоподготовки в промышленности и энергетике". www.mediana-filter.ru/water_prom_techology.html.
2. Громов С.А. Малосточная и экологически чистая технология получения воды для подпитки теплосетей / С.А. Громов, А.А. Пантелеев, Е.Б. Федосеев и др. // Энергетика. – 2005. - № 3.
3. Поль Е.К. "Технико-экономическое исследование процесса очистки воды методом обратного осмоса". www.masters.dnntu.edu.ua/202/feht/pol/diss/index.htm.
4. Nino Zina. - Методы фильтрации в системах водоподготовки // Сантехника. – 2005. - № 4.
5. "Требования к качеству воды, предназначенной для очистки на обратноосмотических системах", //hghd.yandex.net/yandbtm?url, www.sibai.ru.
6. "Промышленное применение мембранных процессов". www.membrane.msk.ru/books/?id_b=13.
7. Техэнергохим. Водоподготовка, очистка стоков. ОАО "Алчевский металлургический комбинат". www.techenergochim.com.ua/?go=katalog&id=47.
8. Кочаров Р.Г. Теоретические основы обратного осмоса: учебное пособие. – М.: РХТУ им. Менделеева, 2007. - 143 с. (Методы очистки мембран от загрязнений. www.membrane.msk.ru/books/?id_b=10).
9. Патент РФ № 2006490, МПК5 С02F9/00, БИ № 10, 2002, опубл. 10.04.2002.
10. Патент РФ № 2058278, МПК6 С02F9/00, опубл. 20.04.1996.
11. Громов С.А., Ковалев М.П., Сидоров А.Р. и др. "Использование ультрафильтрации для предподготовки питьевой воды обратноосмотических установок". www.mediana-filter.ru/publication.html.
12. Заявка на патент Украины №201001312 от 08.02.2010: Модульный блок мембранной установки.

Поступила в редакцию 24 марта 2010 г.