

## 5 Исследование обратноосмотического процесса опреснения и стерилизации воды при использовании микроветроагрегатов

При создании опреснительных ветроагрегатов чаще всего используется принцип электродиализа, обеспечивающий удаление из опресняемой воды ионов растворенных солей за счет потребления электрической энергии; Обратный осмос по сравнению с электродиализом обладает рядом преимуществ:

- Имеет на порядок меньшую энергоемкость. Экономичность процесса обратного осмоса подтверждается сравнением затрат энергии на опреснение 1 м<sup>3</sup> морской воды, где методом дистилляции затрачивается 230,4 МДж электроэнергии, а при применении обратного осмоса — 13,3 МДж;
- Может использовать непосредственно механическую энергию ветродвигателя без промежуточного преобразования в электрическую;
- Одновременно с опреснением обеспечивает стерилизацию воды.

Обратный осмос является наименее энергоемким способом опреснения минерализованной воды, где ее фильтрация происходит под давлением 1-10 МПа через полупроницаемые мембраны. При этом вода очищается от всех типов механических примесей, в том числе и от микроорганизмов (стерилизация питьевой воды).

По энергетическим и технологическим характеристикам процесс обратноосмотического опреснения удачно сочетается с ветроэнергетикой. Для использования энергии ветра целесообразно изыскивать буферные технологические процессы, допускающие потребление переменной мощности, перерывы в работе и накопление готового продукта или энергии на периоды затишья. К буферным технологиям в полной мере относятся подъем воды и помол зерна, которые именно поэтому стали классическими областями применения ветроэнергетики.

Обратный осмос является новой буферной технологией для ветроэнергетики. Серийные обратноосмотические аппараты могут фильтровать воду в широком диапазоне давления  $P$  (возможно изменение давления примерно в два раза, т.е. от максимально допустимого  $P_m$  до  $\cong 0,5 P_m$ ) без существенного изменения качества очистки воды. При этом потребляемая гидравлическая мощность  $PQ$  меняется почти на

порядок, так как с ростом перепада давления  $P$  на фильтрующих полупроницаемых мембранах резко увеличивается расход  $Q$  исходной минерализованной воды, проходящей через обратноосмотический аппарат.

При сильном ветре избыток исходной минерализованной воды под давлением используется для промывания мембран, что повышает эксплуатационный ресурс пленки.

Рассмотрим пример обратноосмотического способа опреснения воды. Ресурс пленки  $q$ , имеющий размерность метра, определяется количеством воды, которое может быть пропущено через пленку за время ее эксплуатации, и соответствует объему пресной воды  $v$ , отнесенному к площади пленки  $s$ , т.е.  $q = v/s$ . Пользуясь параметром  $q$ , можно оценить стоимость пленки, отнесенной к единице объема опресненной воды  $c$  к ее ресурсу  $q$ . При ресурсе пленки 100 м и стоимости одного квадратного метра пленки 10 рублей (в ценах 1980 г.) величина  $F = c/q \cong 0,1$  рубля/м<sup>3</sup>.

Другим параметром, характеризующим обратноосмотический процесс опреснения минерализованной воды, является массовая скорость воды  $U$ , пропускаемой через пленку. Если 1 м<sup>2</sup> пленки обеспечивает прохождение через нее в сутки 100 литров воды, то массовая скорость  $U = p/s = 10^{-6}$  м/с, где  $p$  - расход воды.

Здесь легко усматривается связь между величинами  $U$  и  $q$ . Оценочные расчеты показывают, что полный временной ресурс пленки  $\tau$ , при  $q = 100$  м и  $U = 10^{-6}$  м/с, будет равен  $\tau = q/U = 10^8$  с. Следовательно, столб минерализованной воды длиной в 100 м проходит через пленку в течение трех лет.

Обратноосмотические опреснительные ветроагрегаты до сих пор создавались только на базе серийных электроветроагрегатов с промежуточным электроприводом по схеме ветродвигатель — повышающий редуктор — электрогенератор — электродвигатель — понижающий редуктор — гидронасос — обратноосмотический аппарат. Однако, на многих промежуточных преобразованиях в электроприводах и редукторе, при характерной для ветроагрегатов относительно малой мощности, теряется до 95% первоначальной механической энергии, снимаемой с вала ветродвигателя.

В связи с этим представляет интерес создание модульного опреснительного ветроагрегата на обратном осмосе с прямой гидropередачей, без промежуточных преобразований энергии. Схема ветроагрегата показана на 4. Ветроагрегаты-модули, каждый из которых через

шатунно-кривошипную передачу агрегатирован со своим плунжерным гидронасосом, нагнетают исходную минерализованную воду в общий обратноосмотический опреснительный аппарат.

Гидронасос разработан для ветроопреснительной установки, однако, заложенные в его конструкцию решения позволяют его эффективно применить и для других отраслей. При малой единичной мощности гидронасос обладает энергетическим к.п.д. близким к 90%, и успешно может быть использован в процессе суммирования мощности отдельных микромодульных ветродвигателей.

Высокий к.п.д. насоса достигнут благодаря применению оригинального уплотнения плунжера с сокращенной контактной поверхностью и проникновению за счет вязкости водяной смазки на всю глубину поверхности скольжения.

Клапаны насоса содержат свободно плавающие в осевом и поперечном направлении мембраны. Течение жидкости образует гидродинамическую потенциальную яму, стабилизирующую мембрану в поперечном направлении. В пределах ошибки измерений объемный к.п.д. насоса близок к 90%.

Наряду с высоким энергетическим к.п.д. конструктивное выполнение насоса обеспечивает технологичность изготовления и надежность его эксплуатации.

В экспериментах использовался серийный обратноосмотический аппарат с мембранами в виде полых волокон (производство НПО г. Мытищи), работающий при перепаде давления на мембранах 1-2 МПа, где основная часть обратноосмотического разделительного элемента — фильтрующие мембраны — находятся внутри стального корпуса в полости высокого давления и отделены перегородкой от полости низкого давления. В полость высокого давления насосами ветродвигателей нагнетается минерализованная вода, которая, проходя через фильтрующие мембраны в виде полых волокон диаметром 0,5 мм, выходит из концов мембран, расположенных в полости низкого давления. Очищенная от солей и примесей вода из полости низкого давления поступает к потребителю. Из полости высокого давления раствор с повышенной концентрацией солей удаляется при открытом дросселе.

Существенно, что целесообразность модульного принципа конструирования агрегатов имеет место не только для ветродвигателей, но и для механически агрегируемых с ними гидронасосов. Увеличение частоты вращения ветротурбины  $\omega$ , связанное с уменьшением их диа-

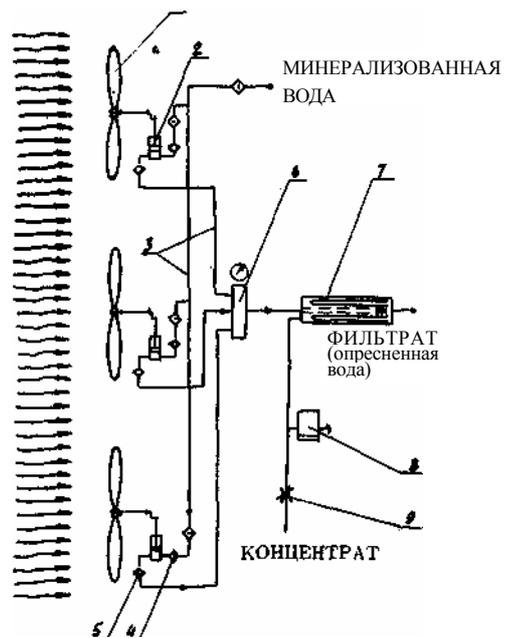


Рис. 4. Схема модульного ветроопреснительного ветроагрегата,  
 1 - ветродвигатель;  
 2 - насос;  
 3 - магистрали;  
 4 - клапан;  
 5 - клапан;  
 6 - манометры;  
 7 - разделительный элемент;  
 8 - слив концентрата;  
 9 - дроссель.

метра  $D$ , обеспечивает снижение суммарного активного объема гидронасосов  $\Sigma V_{\text{н}}$ . При одинаковом давлении в гидросистеме максимальные напряжения в корпусах геометрически подобных гидронасосов также одинаковы. Поэтому модульное построение ветроагрегатов обеспечивает снижение материалоемкости гидронасосов, приходящейся на единицу их мощности. Кроме того, вследствие снижения суммарного объема  $\Sigma V_{\text{н}}$  и случайного разброса фаз независимых ветромодулей, модульное построение ветроагрегатов упрощает решение проблемы гашения вредных пульсаций давления в гидросистеме обратноосмотического аппарата, связанное с неравномерностью подачи нагнетаемой гидронасосами воды (пульсации ведут к усталостному трещинообразованию в мембранах).

В природных условиях был испытан трехмодульный обратноосмотический опреснительный ветроагрегат с многолопастными ветротурбинами диаметром 1,5 метра. Кривая производительности ветроагрегата по фильтрату опресненной минерализованной воды приведена на рис. 5. Существенно, что ветроагрегат позволяет использовать низкоскоростной ветер. При  $v \cong 1,5$  м/с зарегистрирована производительность ветроагрегата  $\cong 120$  л/сут, опресненной воды (фото 3).

Создание модульного ветроагрегата с гидropередачей и реализация гидравлического суммирования мощности имеют принципиальное значение не только для задач опреснения воды, но и для других областей применения ветроэнергетики. В частности, гидropередача позволяет реализовать агрегатирование группы ветродвигателей с микрогидростанцией (микроГЭС) для выработки и подачи электроэнергии в сеть. При этом наиболее удачно решаются такие принципиальные проблемы ветроэнергетики как редукция частоты вращения и сглаживание колебаний мощности.

Успешные испытания модульного опреснительного ветроагрегата на обратном осмосе показали возможность гидравлического суммирования мощности ветротурбин диаметром  $\cong 1,5$  м. При этом энергетический к.п.д. гидронасосов, агрегатированных с ветротурбинами мощностью  $\cong 10$  кВт, близок к 90%.

Экономическая эффективность опреснительных ветроагрегатов на обратном осмосе видна из того, что стоимость опресненной воды, определяемая ресурсом обратноосмотического аппарата, составляет  $\cong 10$  коп/м<sup>3</sup>, в то время как стоимость 1 м<sup>3</sup> привозной питьевой воды в пустынных районах достигает единиц рублей (в ценах 1980 г.).



Фото 3. Трехмодульный обратноосмотический опреснительный ветро-агрегат

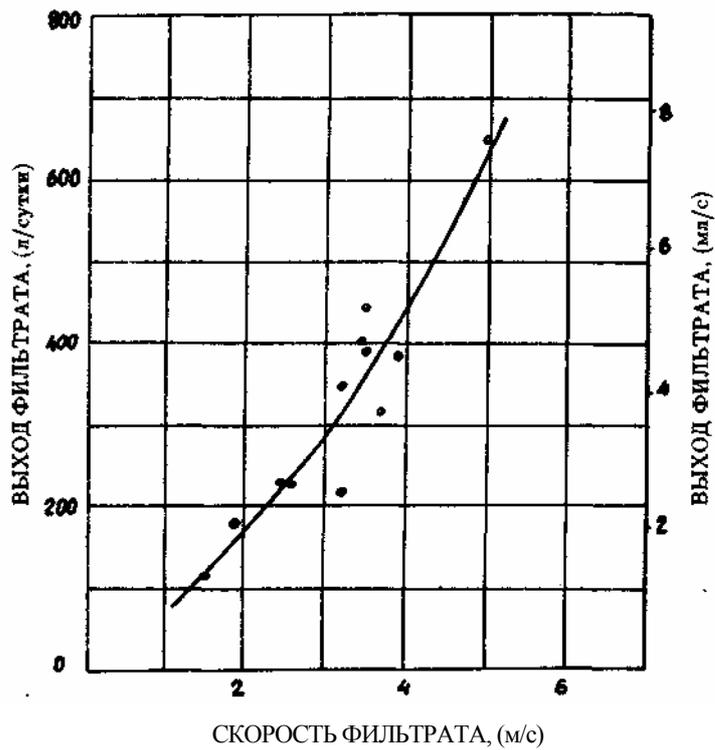


Рис. 5. Производительность ветроагрегата по фильтрату.