

УДК. 621.187.1

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНЫХ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПРИ ОБРАБОТКЕ ПРОДУВОЧНЫХ ВОД ОБОРОТНЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ

В.А. Кишневский, Е.В. Кишневский, О.М. Малиновский, И.Д. Шуляк
Одесский национальный политехнический университет «ОНПУ», г.Одесса
Email: twf61@yandex.ru

В статье проанализированы возможные гибридные схемы водоподготовки с установкой обратного осмоса (УОО) для очистки теплоносителей в энергетике. Рассмотрена возможность применения принципа Internally staged design (ISD) в гибридной схеме водоподготовки. Проведен сравнительный анализ использования гибридных схем для обработки продувочных вод оборотных систем охлаждения (ОСО) и полной утилизации отработанных регенерационных растворов ионитных фильтров и концентрата УОО.

Ключевые слова: фильтрат, концентрат, пермеат, селективность, добавочная вода, ингибирование, циркуляционная вода.

Введение

Установки обратного осмоса (УОО) получают все большее распространение для подготовки добавочной воды на ТЭС и АЭС Украины. При обработке исходной воды с суммарной концентрацией анионов сильных кислот ($\Sigma АСК$) ≥ 5 мг-экв/дм³ применение ионообменных технологий становится экономически нецелесообразным [1]. Для очистки такого класса вод безальтернативным является метод обратного осмоса. Остается актуальным вопрос выбора технологической схемы включения УОО в системы обработки воды на ТЭС и АЭС и методов их регулирования с учетом состава исходной воды и заданного качества фильтрата и сбросных вод.

Безвозвратные потери воды в оборудованных градирнями оборотных системах охлаждения (ОСО) ТЭС и АЭС определяются удельными величинами выпара P_1 , капельного уноса P_2 и продувкой P_3 . Величина P_1 зависит от параметров поступающего в конденсатор пара и не может быть изменена по условиям процесса теплообмена в системе конденсатор-градирня. Величина P_2 снижается до $5 \cdot 10^{-4}$ установкой современных каплеуловителей. Что же касается P_3 , то ее величина в основном зависит от солесодержания добавочной воды в ОСО и коэффициента упаривания циркуляционной воды K_u . Значение K_u при известковании добавочной воды может изменяться от 3,5 до 6,5 при дозировании в циркуляционную воду только ингибитора отложений Асумер-1000 и до 7-7,5 с дозированием Асумер-1000 и минеральной кислоты. Очевидно, что при $P_3 > 0,02$ продувочные воды оказывают значительное химическое и тепловое воздействие на окружающую среду. Поэтому вопросы утилизации P_3 чрезвычайно актуальны для крупных энергоемких объектов [2].

Учитывая значительные количества добавочной воды для оборотных систем охлаждения, более экономично, на наш взгляд, ограничиться известкованием и фильтрацией добавочной воды, а также дозированием в циркуляционную воду современных ингибиторов отложений с целью повышения K_u до 7. В дальнейшем продувочная вода с повышенным солесодержанием подлежит обработке на гибридных водоподготовительных установках с целью подготовки сверхчистой воды для подпитки парогенераторов.

Известкованная вода с $pH = 9,8 - 10,3$ пересыщена по $CaCO_3$. В циркуляционной воде за счет насыщения CO_2 в градирне величина pH снижается до 8,3, что предотвращает выпадение $CaCO_3$ в осадок при $K_u = 1,2-3,5$.

В [3] показана целесообразность использования гибридных схем водоподготовки (УОО и ионный обмен), где УОО принимает на себя основную «солевую нагрузку» (96 - 98 %). Финишная очистка осуществляется на ионообменных фильтрах (2-4%). Такая схема

обеспечивает необходимое качество фильтрата, повышает продолжительность фильтроцикла ионообменных фильтров, снижает затраты на реагенты и количество агрессивных стоков.

Методики расчета

Ниже рассмотрены возможные гибридные схемы для переработки продувочных вод оборотной системы охлаждения конденсаторов паровых турбин в сверхчистую воду для подпитки парогенераторов. Расчет обратноосмотической части схемы производился с помощью программы ROSA [4], ионный обмен и предочистка рассчитывались по методикам, изложенным в [1], [5]. Исходной водой для всех схем служит продувочная вода ОСО после фильтрации на двухслойных механических фильтрах. Результаты расчета состава исходной воды и воды по этапам обработки приведены в таблице 1. Графически схемы а), б), в) и г) представлены на рис. 1.

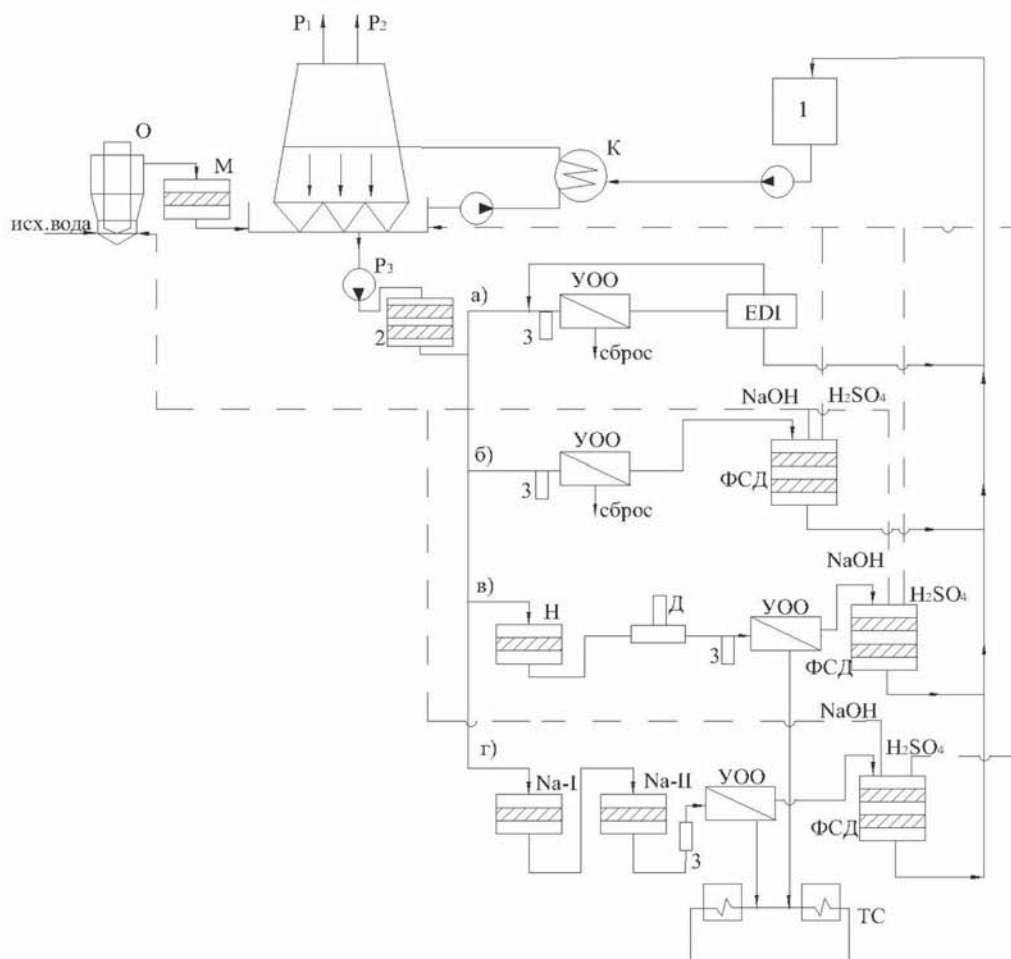


Рис. 1. Принципиальные схемы обработки продувочных вод ОСО:

1 - бак запаса обессоленной воды, 2 - двухслойный механический фильтр, 3 – микрофильтр, О – осветлитель, М - однослойный механический фильтр, К - конденсатор, УОО - установка обратного осмоса, EDI - установка электродеионизации (ЭДИ), ФСД - фильтр смешанного действия
Д - декарбонизатор, Na-I, Na-II – натрий-катионитовые фильтры 1-й и 2-й ступени, ТС - тепловая сеть.

Таблица 1. Состав воды по этапам обработки.

| Показатель | Ед. изм. | Исх. вода | О+М | Ку=7 +М2 | Схема а) | | | Схема б) | | | Схема в) | | | | Схема г) | | | | |
|-------------------------------|------------------------|-----------|---------|-------------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|-------|
| | | | | | УОО | ЕДИ | Конц. | УОО | ФСД | Конц. | Н+ | Д | УОО | ФСД | Конц. | Na+ | УОО | ФСД | Конц. |
| Ca ²⁺ | мг-экв/лм ³ | 3,4 | 0,49 | 3,4 | 1,0E-03 | 0 | 16,5 | 0 | 18 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0 | 0 | 0,25 | 0,02 | 0 | 0 | 0,1 |
| Mg ²⁺ | мг-экв/лм ³ | 1,5 | 0,41 | 2,9 | 8,0E-04 | 0 | 13,8 | 8,3E-03 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Na ⁺ | мг-экв/лм ³ | 3,1 | 3,1 | 21,7 | 5,0E-02 | 5,0E-04 | 104,2 | 1,7E-01 | 113,3 | 24 | 24 | 24 | 3,4E-02 | 5,0E-04 | 120 | 29,98 | 4,1E-02 | 5,0E-04 | 128 |
| H ⁺ | мг-экв/лм ³ | 0 | 0 | 0 | 1,0E-03 | 0 | 0 | 1,0E-03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Σ Кг | мг-экв/лм ³ | 8 | 4 | 28 | 5,1E-02 | 5,0E-04 | 134,5 | 1,9E-01 | 146,3 | 24 | 24 | 24 | 3,4E-02 | 5,0E-04 | 120 | 30 | 4,1E-02 | 5,0E-04 | 128 |
| ОН ⁻ | мг-экв/лм ³ | 0 | 0,2 | 0 | 0,0E+00 | 0 | 1,0E-06 | 0 | 1,0E-06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| HCO ₃ ⁻ | мг-экв/лм ³ | 5,6 | 0,42 | 4,9 | 2,2E-02 | 0 | 22,9 | 5,6E-02 | 24,9 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0 | 0 | 6,5 | 4,9 | 2,2E-02 | 0 | 23 |
| CO ₃ ²⁻ | мг-экв/лм ³ | 0 | 0,28 | 0 | 0,0E+00 | 0 | 1,8 | 0,0E+00 | 2 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0 | 0 | 0 | 2,5 | 0 | 0 | 1,8 |
| Cl ⁻ | мг-экв/лм ³ | 0,85 | 0,85 | 6 | 2,5E-02 | 5,0E-04 | 33,9 | 6,7E-02 | 36,7 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 2,5E-02 | 5,0E-04 | 35 | 7,0 | 2,6E-02 | 5,0E-04 | 28 |
| SO ₄ ²⁻ | мг-экв/лм ³ | 1,55 | 2,25 | 17 | 7,9E-03 | 0 | 75,9 | 7,0E-02 | 82,7 | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 9,8E-03 | 0 | 79 | 15,7 | 9,6E-03 | 0 | 75 |
| Σ Ап | мг-экв/лм ³ | 8 | 4 | 28 | 5,5E-02 | 5,0E-04 | 134,5 | 1,9E-01 | 146,3 | 24 | 24 | 24 | 3,4E-02 | 5,0E-04 | 120 | 30 | 4,9E-02 | 5,0E-04 | 128 |
| CO ₂ | мг-экв/лм ³ | 0,28 | 0 | 0,51 | 2,4 | 0 | 0,2 | 3,04 | 0,23 | 8,42 | 8,42 | 8,42 | 0,011 | 0 | 0,05 | 3,9 | 0,04 | 0 | 0,199 |
| pH | мг-экв/лм ³ | 7,8 | 10,3 | 8,3 | 6,0 | 7 | 8,1 | 6,3 | 7 | 6 | 6 | 6 | 6,0 | 7 | 8,1 | 8,3 | 5,9 | 7 | 8,11 |
| СС | мг/лм ³ | 604 | 262 | 1935 | 3,8 | 2,9E-02 | 9190 | 13 | 2,9E-02 | 1609 | 1609 | 1609 | 2,1 | 2,9E-02 | 8160 | 2071 | 3,7 | 2,9E-02 | 8967 |
| μ | моль/лм ³ | 1,1E-02 | 5,6E-03 | 4,0E-02 | 5,8E-05 | 5,0E-07 | 0,19 | 2,4E-04 | 5,0E-07 | 3,2E-02 | 3,2E-02 | 3,2E-02 | 3,9E-05 | 5,0E-07 | 0,16 | 3,8E-02 | 5,4E-05 | 5,0E-07 | 0,17 |
| f | | 0,89 | 0,92 | 0,82 | 0,99 | 1,00 | 0,70 | 0,98 | 1,00 | 0,84 | 0,84 | 0,84 | 0,99 | 1,00 | 0,72 | 0,83 | 0,99 | 1,00 | 0,71 |
| f ^{**} | | 0,64 | 0,72 | 0,46 | 0,97 | 1,00 | 0,24 | 0,93 | 1,00 | 0,49 | 0,49 | 0,49 | 0,97 | 1,00 | 0,26 | 0,47 | 0,97 | 1,00 | 0,26 |
| g | мгСм/см | 690 | 441 | 2260 | 6,4 | 3,2E-01 | 8176 | 22,6 | 6,3E-02 | 2125 | 2125 | 2125 | 4,3 | 8,4E+03 | 8041 | 2538 | 5,7 | 6,3E-02 | 8416 |
| ГДП | мг/лм ³ | 25 | 2 | 0,5 | - | - | 2,3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Q | м3/ч | 415 | 405 | 195 | 154 | 131 | 23 | 158 | 154 | 192 | 192 | 192 | 154 | 149 | 38 | 191 | 151 | 146 | 40 |

Примечание: Са²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Н⁺, ОН⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻, Cl⁻, SO₄²⁻ - концентрации, соответственно, ионов кальция, магния, натрия, водорода, гидроксила, гидрокарбонат-иона, карбонат-иона, хлора, сульфат-иона; Σ Кг, Σ Ап - суммы концентраций соответственно катионов и анионов; CO₂ - концентрация свободной углекислоты; pH - водородный показатель; СС - солесодержание; μ - ионная сила раствора; f, f^{**} - коэффициент активности 1-но и 2-х валентных ионов; g - электропроводность; ГДП - концентрация грубодисперстных примесей; Q - расход

Результаты и их обсуждение

Схема а) двухстадийная УОО, ЭДИ.

Рассмотрена схема двухстадийного обратного осмоса. В качестве исходной использована осветленная на двухслойном механическом фильтре продувочная вода с солесодержанием $CC = 1892 \text{ мг/дм}^3$, температурой $t = 25^\circ\text{C}$ (расход $Q = 195 \text{ м}^3/\text{ч}$). Восстановление УОО (отношение расхода пермеата к расходу, поданному на установку) в данном случае составило 79%. Рассчитанное количество и состав примесей пермеата и концентрата приведены в табл.1. Качество пермеата УОО соответствует регламентированному составу исходной воды для электродеионизационной установки: $\text{pH} = 6-9$, жесткость $\text{Жо} \leq 0,5 \text{ мг/дм}^3$, $\text{CO}_2 \leq 5 \text{ мг/дм}^3$, $\text{а} \leq 20 \text{ мкСм/см}$ [6]. Выбран модуль EDI-210 фирмы DOW, выход пермеата составляет 85% (или $131 \text{ м}^3/\text{ч}$). Концентрат EDI в количестве 15% (или $23 \text{ м}^3/\text{ч}$) направляют на рециркуляцию (на вход УОО). По результатам расчета конструктивно УОО включает 16 цилиндрических элементов (МЭ) на первой стадии и 8 цилиндрических элементов (МЭ) на второй стадии. При расчете использовались мембраны SW30HRLE-440i фирмы DOW [7]. Качество концентрата УОО по величине жесткости не позволяет использовать его в циклах станций.

Схема б) двухстадийная УОО с применением принципа ISD, ФСД с отдельной регенерацией.

В гибридной схеме с включением на финишном этапе обработки ионообменной технологии вопросы качества пермеата УОО перед фильтром смешанного действия (ФСД) не являются столь существенными ($\text{а} \leq 30 \text{ мкСм/см}$). В данном случае возможно применить принцип ISD.

При реализации принципа ISD на второй стадии установки в одном цилиндре устанавливают МЭ разных типов [8]. В настоящий момент имеется широкий спектр МЭ с различными свойствами. При выборе ISD необходимо знать полный спектр элементов, выпускаемых в мире. Среди наиболее надежных МЭ, хорошо зарекомендовавших себя на рынке Украины, можно рассмотреть два типа МЭ фирмы DOW: SW для морской воды (CC от 10 до 50 г/дм^3 , рабочее давление до $8,3 \text{ МПа}$), BW для солоноватой воды (CC от 1 до 10 г/дм^3 , рабочее давление от $1,5$ до $4,5 \text{ МПа}$) [6]. В рамках каждого из основных типов имеется широкий спектр МЭ: одни обеспечивают более высокое солезадержание (серия HR), другие – сниженное энергопотребление (серия LE), третьи – повышенную устойчивость к загрязнению (серия FR) и т.д. Результаты расчета приведены в таблице 1. Восстановление УОО возрастает до 81%, что выше, чем в схеме а). Солесодержание пермеата возрастает до 13 мг/дм^3 , что не является критичным для последующего направления на ФСД.

Основными солевыми стоками, которые образуются при работе схемы б), являются отработанные регенерационные растворы после ФСД и концентрат после УОО. Так как иониты, загруженные в ФСД, регенерируются реагентами с 20-кратным избытком, то регенерационные растворы кислоты и щелочи после отдельной регенерации ионитов целесообразно повторно использовать. Щелочные стоки с расходом $2,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ направляются в осветлитель для повышения pH , а кислые стоки с Н фильтров с расходом $1,7 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $\text{pH} = 4$ – на подкисление воды в ОСО. Качество концентрата УОО, также как и в схеме а), не позволяет использовать его в циклах станций.

Для снижения жесткости концентрата УОО, с целью его дальнейшего использования, необходимо проводить умягчение продувочных вод на ионообменных смолах путем Н-катионирования на слабокислотном катионите или 2-х ступенчатого натрий-катионирования. В качестве отклика на выбор указанных технологических процессов следует ожидать соответствие качества концентрата УОО нормам подпиточной воды для тепловых сетей по карбонатному индексу $\text{И}_к = 0,5-4,0 \text{ (мг-экв/дм}^3)^2$ [9] и улучшение режима эксплуатации УОО.

Схема в) Н-катионирование с «голодной» регенерацией, декарбонизатор, двухстадийная УОО, ФСД с отдельной регенерацией.

С целью умягчения продувочной воды со свойственным ей дефицитом жесткости ($J_0 < Щ_0$) целесообразна схема Н-катионирования на слабокислотном катионите с «голодной» регенерацией с последующей отгонкой CO_2 до $0,5 \text{ мг/дм}^3$ перед подачей на УОО. При использовании противоточной регенерации слабокислотного катионита IRC-86, коэффициент избытка подаваемой кислоты $K_{из} \approx 1,01-1,05$. Необходимое количество ионита составляет $25,8 \text{ м}^3$, рабочая обменная емкость - $1,12 \text{ г-экв/дм}^3$, диаметр фильтров - 3 м, высота загрузки - 1,21 м, регенерация - 1 раз в сутки.

Количество и состав продувочной воды, пермеата и концентрата приведены в табл.1. Как ранее и предполагалось, концентрат УОО в данном случае может быть использован для подпитки теплосетей.

Схема г) двухступенчатое Na-катионирование, двухстадийная УОО, ФСД с отдельной регенерацией.

По расчету на двух ступенях установлено по 3 фильтра диаметром 3,4 м - на первой и 2 м - на второй. Общий объем загрузки ионита марки Amberjet 1200Na составит 26 м^3 . Фильтрат Na-катионитовых фильтров характеризуется $J_0 = 20 \text{ мг-экв/дм}^3$, что обеспечивает соответствие качества концентрата УОО нормам подпиточной воды теплосети с учетом концентрирования в УОО. Составы пермеата и концентрата УОО при предварительном Na-катионировании приведены в табл.1.

Величина кальциевой жесткости (J_{Ca}) в концентрате составит $0,25 \text{ мг-экв/дм}^3$, щелочность - $6,5 \text{ мг-экв/дм}^3$, а карбонатный индекс I_k , соответственно, примет значение 1,625, что не превышает норм качества добавочной воды для сетевых подогревателей.

Выводы

Проведенные расчеты дают основания сделать вывод, что использование гибридных установок водоподготовки с включением УОО на ТЭС и АЭС дает возможность в процессе подготовки воды значительно (в разы) сократить солевые сбросы в окружающую среду при практически безотходном использовании исходной природной воды.

Применение УОО в гибридных схемах повышает надежность, экономичность, гибкость, технологичность процесса подготовки воды.

ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ ВОДОПІДГОТОВЧИХ УСТАНОВОК ПРИ ОБРОБЦІ ПРОДУВНИХ ВОД ОБОРОТНИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ

В.О. Кишневський, Е.В. Кишневський, О.М. Малиновський, І.Д. Шуляк

Одеський Національний політехнічний університет «ОНПУ», м. Одеса

Email: twf61@yandex.ru

У статті проаналізовані можливі гібридні схеми водопідготовки з установкою зворотного осмосу (УЗО) для очищення теплоносіїв в енергетиці. Розглянута можливість застосування принципу Internally staged design (ISD) у гібридній схемі водопідготовки. Проведено порівняльний аналіз гібридних схем водопідготовки продувних вод оборотних систем охолодження (ЗСО) з повною утилізацією відпрацьованих регенераційних розчинів іонітових фільтрів та концентрату УЗО.

Ключові слова: фільтрат, концентрат, пермеат, селективність, додаткова вода, інгібування, циркуляційна вода.

HYBRID WATER-TREATMENT PLANTS APPLICATION AT CIRCULATING COOLING SYSTEMS BLOW-WATER PREPARING

V.Kishnevskiy, E. Kishnevskiy, O. Malinovskiy
Odessa national polytechnic university of «ONPU», Odessa
e-mail: twf61@yandex.ru

Probable hybrid schemes of water-treatment including reverse osmosis system (ROS) for cleaning heat-transmitter in energy are considered in the article. Internally staged design (ISD) principle (construction into the stage) application possibility is considered in the hybrid scheme of water treatment. The comparative analysis of the circulating cooling systems (CCS) blow-water treatment in hybrid schemes with complete utilization of exhaust cation filters regeneration solutions and ROS concentrate is conducted.

Keywords: filtrate, concentrate, permeate, salt rejection, additional water, inhibition, circulation water

Список литературы

1. Технологии подготовки воды в энергетике/ Кишнеvский В.А./Одесса, Феникс, 2008, 400стр.
2. Способ стабилизации температуры воды оборотных систем охлаждения крупных электростанций при известковании/ В.А.Кишнеvский, В.В. Чиченин // Труды Одесского Политехн. Университета.-2001.-вып.2. стр.69-71
3. Про проектування комплексних водопідготовчих установок./ Кишнеvський В.П. / Теплова енергетика. Нові виклики часу. Львів, НВФ «Українські технології», 2009, стр.595-609
4. Интернет ресурс <http://www.dow.com/liquidseps/design/rosa.htm>.
5. Системы обработки воды в энергетике./ Кишнеvський В.А., Одесса, «Астропринт», 2003, 160стр.
6. Electrodeionization DOW/ Form # 795-00006-0608XBBI, 2008
7. Product information catalog /Filmtec membranes/ Dow water solutions/Form # 609-00204-1108
8. Опыт применения принципа ISD для повышения производительности двухступенчатой обратноосмотической установки/ П.В.Стендер, В.Р.Поляков, П.В.Козлов, Т.П.Одиноких/ Вода и водоочистные технологии, научно-технические вестн /№1(1), 2010, стр.40-46.
9. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила, Київ, 2003. 598стр.