

# ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДООЧИСТКА В ЭНЕРГЕТИКЕ

Часть 2 (Начало в №3/2011)

**Приведен обзор работ, посвященных проблемам водоподготовки и водоочистки на тепловых электростанциях и промышленных предприятиях.**

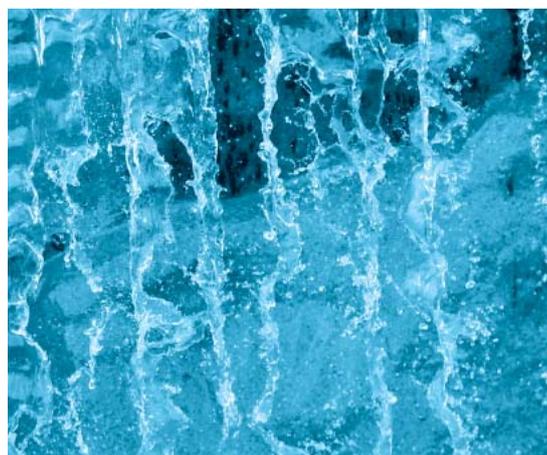
**Отстаивание** – наиболее простой и распространенный способ выделения из сточных вод грубо дисперсных примесей, которые под действием гравитационной силы оседают на дне отстойника или всплывают на его поверхность [40, 43]. Широкому внедрению метода отстаивания способствует и самопроизвольное разделение воды и нефтепродуктов, и высокая эффективность разделения. Отстаиванием можно выделить взвешенные частицы определенной гидравлической крупности с плотностью, большей или меньшей плотности воды. Продолжительность отстаивания в этом случае составляет 1,5–2 ч.

Отстаивание нефтесодержащих стоков производится в отстойниках специальной конструкции, называемых нефтеловушками. Распространенным недостатком применяемых в большинстве случаев нефтеловушек является их относительно низкая эффективность, не превышающая 40–60 %, вызванная, главным образом, высокой степенью дисперсности частиц. Как правило, в нефтеловушках задерживаются лишь плавающие примеси (пленка) и весьма крупные частицы [41].

Более эффективными являются тонкослойные отстойники, эффективность очистки которых на 10–15 % превышает эффективность нефтеловушек [39, 43–45]. Рабочий объем тонкослойных отстойников разделен наклонными пластинами на отдельные зоны отстаивания – ярусы, что обеспечивает более эффективное отстаивание частиц в тонком слое в стесненных условиях. В этом случае практически исключено влияние на процесс отстаивания плотностных и конвекционных потоков, а равномерное распределение рабочего потока, обеспеченное в начале сооружения, сохраняется по всей длине последнего. Тонкослойные отстойники имеют значитель-

**А.Г. Лаптев\***,  
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Технологии воды и топлива, Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ)

**Е.С. Сергеева**,  
кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры Технологии воды и топлива, Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ)



но (в 4–6 раз) меньшие объемы и занимают меньшие площади.

Эффективность работы тонкослойного отстойника в значительной степени зависит от конструкции его отдельных узлов – устройства подвода, распределения и отвода очищаемой жидкости. Для равномерного распределения исходной жидкости по сечению тонкослойного блока особое значение имеет конструкция распределительного устройства. Существует большое многообразие распределителей, что является свидетельством сложности самой проблемы.

Наиболее часто применяемыми на практике конструктивными схемами тонкослойных отстойников являются отстойники с перекрестным и прямоточно-противоточным движением фаз. Применение последней схемы наиболее оправдано в случаях, когда выделяемая дисперсная фаза имеет склонность накапливаться на поверхности сепарационных пластин. В этом случае движение потока сплошной фазы в направлении уклона пластин способствует сползанию или всплытию выделенной дисперсной фазы в зону ее накопления. В тех случаях, когда дисперсная фаза не склонна к налипанию или адгезии на поверхности пластин,

\* Адрес для корреспонденции: [info@ingehim.ru](mailto:info@ingehim.ru)

применение перекрестной схемы движения фаз более рационально. При этом существенно облегчается сепарация фаз за счет исключения повторного контакта фаз на выходе из сепарационной зоны, имеющего место при прямоточно-противоточной схеме движения фаз.

Так, например, в инженерно-внедренческом центре «Инжехим» (г. Казань) изготавливаются сепарационные блоки, которые применяются для выделения из нефти воды, отделения нефти и твердых взвешенных частиц от сбросовых вод, обезвоживания углеводородов, разрушения водно-углеводородных эмульсий и т.д. [43-45].

Повышение эффективности происходит за счет использования нескольких эффектов. Оригинальная перекрестная ориентация сепарационных пластин эффективно секционирует объем отстойника, препятствуя образованию циркуляционных токов. Это создает благоприятные гидродинамические условия для разделения фаз. Ввиду малого расстояния между пластинами (минимальный зазор 7,5 мм, максимальный – 60 мм), резко уменьшается высота всплытия или осаждения капель и частиц, что позволяет эффективно сепарировать капли и частицы размером 20 мкм и менее.

Забиванию межпластинчатого пространства препятствует крутой угол наклона пластин, а также их специальная гибкая конструкция сепарационных блоков (рис. 2). На рис. 3 показано расположение сепарирующих блоков в промышленном отстойнике, внедренном на одном из предприятий нефтехимического профиля.



Рис. 2. Сепарационный блок «Инжехим».

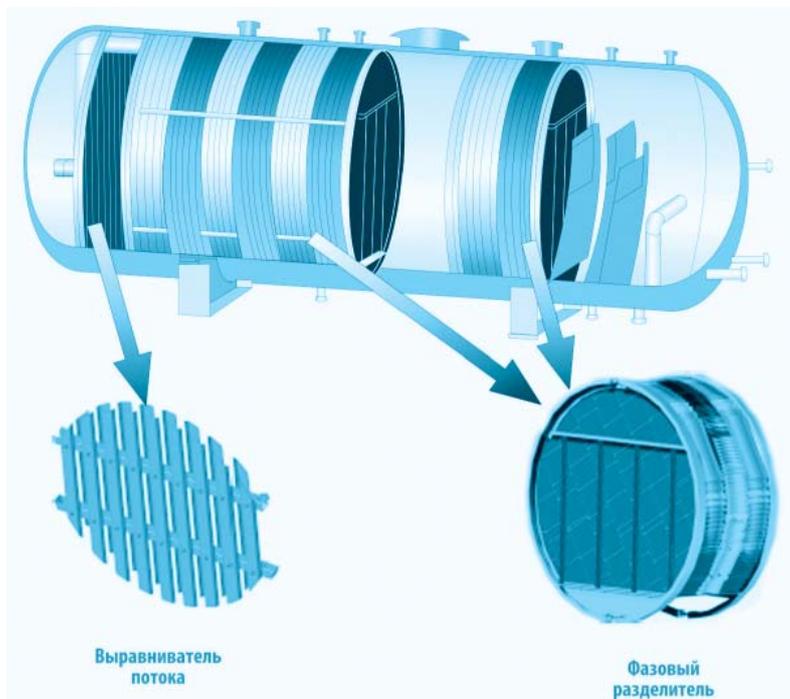


Рис. 3. Общий вид тонкослойного отстойника.

Такие сепарационные блоки внедрены и успешно эксплуатируются в отстойниках на предприятиях химической, нефтехимической и газовой отраслей промышленности [42-45].

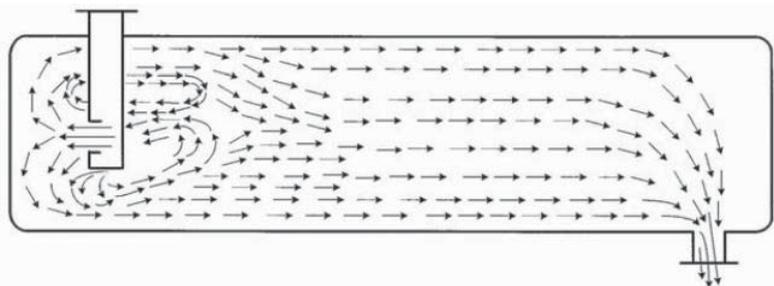
Важное значение имеет способ и место ввода исходной среды в отстойник. В работах [43, 55, 56] численно исследовано и показано влияние подачи очищаемой жидкости в отстойник. Наиболее рациональный способ ввода потока показан на рис. 4.

Для изготовления тонкослойных элементов может использоваться стекло, оцинкованное железо, полиэтиленовая пленка, полиэтиленовые профилированные листы, полипропилен, винипласт, полихлорвиниловый и полистирольный пластик, армированная полихлорвиниловая пленка и др. материалы [39, 43].

Если концентрация нефтепродуктов незначительна и, соответственно, размер частиц нефтепродуктов мал, применять отстаивание, как метод разделения, нецелесообразно, поскольку продолжительность разделения таких суспензий или эмульсий увеличивается до нескольких суток, что экономически не выгодно.

Гораздо более интенсивно этот же процесс разделения происходит при коагуляции или флотации сточных вод.

Коагуляционная и электрокоагуляционная очистка заключается в укрупнении эмульгированных частиц нефтепродуктов химическим или электрохимическим путём. В промышленных масштабах этот вид очистки



**Рис. 4.** Ввод среды через длинный патрубок в направлении, противоположном основному направлению движения среды в аппарате.

применяется редко, хотя и позволяет достигать высокую степень очистки эмульгированных нефтепродуктов. Химическая коагуляция позволяет снизить содержание нефтепродуктов до остаточной концентрации в воде 15–20 мг/л, а электрокоагуляция – до 2,5–3 мг/л.

Наиболее часто для удаления из сточных вод диспергированных, взвешенных и коллоидных нефтепродуктов, которые самопроизвольно плохо отстаиваются, применяют флотацию.

*Флотационная очистка* заключается в образовании комплексов «частица – пузырек воздуха», называемых  $\sigma$ -комплексами, с последующим их выделением из воды [40, 46-48].

При выборе метода удаления нефтепродуктов целесообразно учитывать влажность уловленных нефтепродуктов, т.к. от этого в существенной мере зависят дальнейшие пути утилизации нефтяного шлама. Достоинствами флотации является возможность получения шлама более низкой влажности – 90-95 % (для отстойников эта величина составляет 97-99 %), а также непрерывность процесса, широкий диапазон применения, высокая пропускная способность (150 – 900 м<sup>3</sup>/сут), небольшие капитальные и эксплуатационные затраты, простая аппаратура, селективность выделения примесей, более высокая по сравнению с отстаиванием скорость процесса. При флотационной очистке воды остаточная концентрация нефтепродуктов достигает 5-9 мг/л. Основным недостатком этого процесса является его малая эффективность. Для повышения эффекта флотации в воду вводят реагенты – коагулянты, флокулянты и ПАВ [49]. Неизбежное образование флотошамов рождает новую, отдельную экологическую проблему их утилизации.

Метод *фильтрации* относится к глубоким методам очистки сточных вод и приобретает все большее значение в связи с повышением требований к качеству очищенной воды. Фильтрация сточных вод, загрязненных нефтепродуктами, обычно используется

на заключительных стадиях очистки, и на этом основании его часто относят к методам доочистки.

Процесс фильтрации сопровождается образованием осадка на поверхности фильтрующей перегородки или закупоркой пор фильтрующей перегородки, что является существенной эксплуатационной проблемой механических фильтров. Наиболее распространен метод промывки фильтров водой, но в этом случае происходит вторичное загрязнение промывочной воды нефтепродуктами. Лучшие результаты по регенерации насыпных фильтров достигаются не отмывкой водой, а подачей горячего водяного пара давлением 0,03-0,04 МПа через верхнее распределительное устройство, т.к. в этом случае действуют не только давление  $P$  и температура  $T$ , но и сила гравитации. Пар разогревает уловленные нефтепродукты, существенно снижая их вязкость, и под давлением они вытесняются из фильтрующего слоя. Пар при этом конденсируется. Длительность регенерации зависит от вида нефтепродуктов и степени загрязнения фильтра и обычно не превышает 2-3 ч. [39, 50].

К физико-химическим методам очистки сточных вод относятся также методы, связанные с наложением электрического поля – электрофлотация и электронейтрализация. Эти методы в той или иной мере применимы на практике. Они обладают рядом существенных преимуществ перед реагентными методами – не увеличивается солевой состав сточных вод, образуется меньшее количество осадка, упрощается технологическая схема очистки, обеспечивается возможность полной автоматизации производственных установок, требуются незначительные производственные площади [40].

При *электрофлотации* сточные воды при пропускании через них постоянного электрического тока насыщаются пузырьками водорода, образующегося на катоде, и кислорода, образующегося на аноде. Поднимаясь вверх, эти пузырьки флотируют взвешенные частицы.

Очистка стоков от нефтепродуктов методом электронейтрализации представляет собой очистку от взвешенных веществ форсированным отстаиванием. Принцип действия основан на разрушении поверхностного заряда частиц в переменном электрическом поле промышленной частоты с последующей флокуляцией и флотацией частиц.

Обзор существующих методов очистки нефтесодержащих сточных вод ТЭС и промышленных предприятий свидетельствует о том, что, несмотря на широкий выбор методов очистки, позволяющих адаптировать их

выбор в соответствии с составом и характером примесей, конечная цель – охрана природных водоёмов, пока не достигнута.

Наиболее перспективным методом очистки сточных вод от нефтепродуктов может являться метод сорбции, характеризующийся высокой степенью очистки, эксплуатационной надёжностью и относительной простотой аппаратного оформления. Это безинерционный равновесный процесс, что позволяет успешно использовать его как в условиях нормальной эксплуатации, так и при аварийных ситуациях. Для реализации данного метода применяется целый ряд сорбентов в порошковой форме или в виде гранул как природного, так и искусственного происхождения минеральной и органической структуры. В сложившихся макроэкономических условиях целесообразно использовать в качестве сорбентов природные материалы и отходы производств промышленных предприятий, т.к. такие сорбенты относительно дешевы и многие обладают достаточно высокими сорбционными свойствами по отношению к углеводородам [51].

Для сорбционной очистки воды, в частности, для доочистки сточных вод от нефтепродуктов, может быть использовано множество материалов природного и искусственного происхождения. Чаще других для этой цели используют гранулированный активированный уголь (ГАУ). Исходным сырьем для его получения служат практически любые углеродсодержащие материалы – уголь, торф, древесина и др. Процесс получения высокоактивных активированных углей весьма сложен и длителен, требует затрат большого количества сырья, энергии, использования специального оборудования и высококвалифицированного труда. Поэтому стоимость таких углей достаточно высока как в нашей стране, так и за рубежом. Для снижения

**Ключевые слова:**

жесткость воды,  
умягчение,  
нефтепродукты,  
отстаивание,  
сорбционная очистка

эксплуатационных затрат его подвергают регенерации, приводящей к вторичному загрязнению воды, что в сложившихся макроэкологических условиях нельзя назвать целесообразным. Кроме того, эффективность их использования для очистки нефтесодержащих сточных вод снижается за счет образования на внешней поверхности частиц масляной пленки, изолирующей пористую структуру ГАУ и препятствующую процессу сорбции [52]. В настоящее время актуальной стала проблема поиска сорбентов, лишенных этого недостатка. Проблему сорбционной очистки сточных вод от нефтепродуктов можно решить практически с минимальными экономическими затратами, используя взамен активированного угля торф.

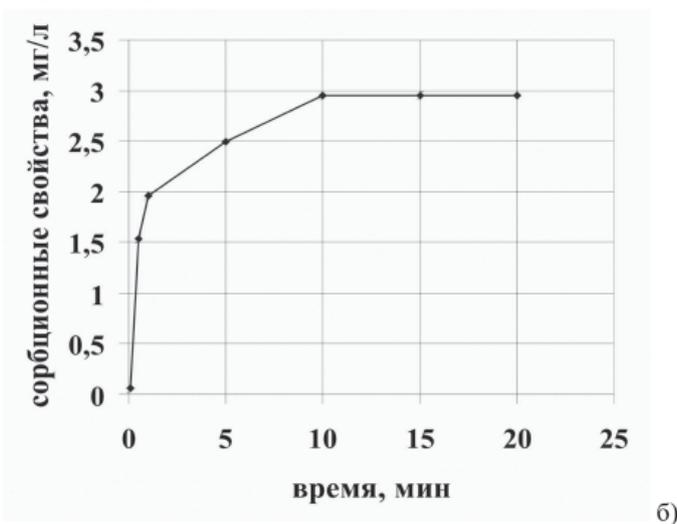
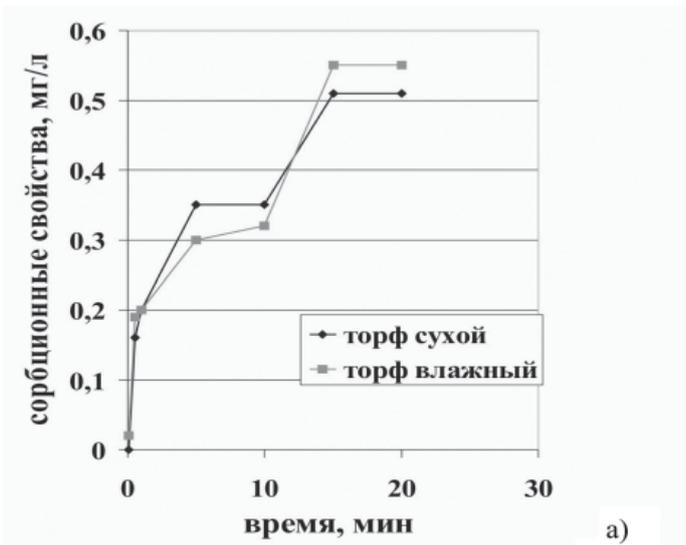
К достоинствам торфяных сорбентов относится и возможность утилизации отработанного материала путем сжигания, что позволяет ликвидировать вторичное загрязнение воды, неизбежное при регенерации сорбционного материала, и решить проблему поиска доступного и недорогого вида топлива [53].

## Результаты и их обсуждение

**В** лабораторных условиях были проведены исследования по сравнительной оценке очистки низкоконцентрированных сточных вод от нефтепродуктов. Исследовались высушенные образцы торфа и образцы торфа водной влажности. Для сравнения сорбционных свойств торфа с известными сорбентами все эксперименты проводились в одинаковых условиях с активированным углем марки АГ-2 (ГОСТ 23998-80).

Для исследования сорбционной очистки использовались сточные воды с исходным содержанием нефтепродуктов 5,56 мг/л.





**Рис. 5.** Сорбционные свойства торфа и активированного угля по отношению к нефтепродуктам:  
 а) сорбционные свойства торфа из месторождения Сосновое РТ,  
 б) сорбционные свойства активированного угля.

Полученные результаты исследования представлены на рис. 5 [53, 54].

Как видно из экспериментальных данных, сорбционные свойства торфа как водной влажности, так и сухого проявляются при времени его контакта с водонефтяной эмульсией, начиная с 30 сек. Максимальное снижение содержания нефтепродуктов в сточной воде наблюдается при времени контакта торфа в течение 15-20 мин., что соответствует состоянию адсорбционного равновесия. Причем, у образцов торфа водной влажности нефтепоглощительная способность несколько ниже в начале эксперимента, чем у сухих образцов, однако к наступлению равновесия данные образцы показывают лучшие сорбционные свойства, чем сухие. Для сухих образцов торфа они составили 0,51 мг/л, а для влажных – 0,55 мг/л. Активированный уголь в проведенной серии экспериментов обнаружил лучшие результаты по сравнению с тор-

фом, содержание нефтепродуктов в этом варианте составило 2,95 мг/л, время равновесия наступило к 10 мин контакта с водонефтяной эмульсией. Однако этот факт не является препятствием для практического применения торфа, так как его доступность и низкая стоимость по сравнению с активированным углем позволяет отказаться от регенерации, являющейся фактически вторичным загрязнением водной среды, и утилизировать отработанный сорбент экологически чистым термическим методом [54]. Таким образом, проведенные эксперименты показали, что для снижения содержания нефтепродуктов в сточных водах может успешно применяться метод адсорбции, используя торф в качестве сорбента и устраняя возможность вторичного загрязнения водохранилищ. Кроме того, использование местных сырьевых ресурсов позволяет сформировать научно-техническую политику, позволяющую принципиально по-новому оценить роль и место таких ресурсов в устойчивом развитии регионов и разработать наукоемкие технологии получения широкого спектра комбинированных сорбентов.

## Заключение

**В** результате проведенного обзора работ можно сделать вывод о том, что в настоящее время проблемы водоподготовки и водоочистки на ТЭС и промышленных предприятиях остаются по-прежнему актуальными.

Наряду с традиционными методами подготовки воды на объектах энергетики для умягчения могут быть перспективными и электрохимические. Электролизная технология позволяет достигнуть требуемых показателей качества воды с минимальными затратами и значительным ресурсосбережением.

Для очистки воды от нефтепродуктов, появление которых в сточных водах ТЭС является неизбежным, применяется множество методов. В качестве наиболее простого может быть предложен метод тонкослойного отстаивания. Применение тонкослойных блоков позволяет выделить грубодиспергированные нефтепродукты. Для очистки сточных вод от нефтепродуктов с невысокой концентрацией может быть применен метод сорбции. Таким образом, использование таких методов как отстаивание и адсорбция позволяет очистить сточные воды ТЭС от нефтепродуктов до требуемых норм с невысокими затратами.

## Литература

40. Копылов А.С. Водоподготовка в энергетике /Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф // Учебное пособие для вузов. М.: Издательство МЭИ, 2003. 309 с.
41. Берне Ф. Водоочистка. Очистка сточных вод нефтепереработки./ Берне Ф., Кардонье Ж., пер. с фр.// Под ред. Роздина М.А., Хабаровой Е.Н. М.: Химия, 1997. 152 с.
42. Фарахов М.И. Энергосберегающие модернизации установок на предприятиях нефтегазохимического комплекса /Фарахов М.И., Лаптев А.Г., Минеев Н.Г. // Химическая техника, 2008. № 12. С. 4-7.
43. Лаптев А.Г. Гидромеханические процессы в нефтехимии и энергетике/ Лаптев А.Г., Фарахов М.И. //Пособие к расчету аппаратов Казань: Изд-во Казанского Университета, 2008. 720 с.
44. Лаптев А.Г. Разделение гетерогенных систем в насадочных аппаратах/ Лаптев А.Г., Фарахов М.И //Казань: КГЭУ, 2006. 344 с.
45. Фарахов М.И. Сепарация дисперсной фазы из жидких углеводородных смесей в нефтепереработке и энергосбережение / Фарахов М.И., Лаптев А.Г., Афанасьев И.П. // Казань: КГЭУ, 2005. 134 с.
46. Надеин А.Ф. Очистка воды и почвы от нефтезагрязнений. // Экология и промышленность России. 2001. Ноябрь. С. 35-39.
47. Гришин Б.М. Очистка нефтесодержащих сточных вод ТЭЦ методом безнапорной флотации /Гришин Б.М., Андреев С.Ю., Алексеева Т.В., Бикуннова М.В., Саранцев В.А. // Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, 2005. 122 с. Деп. В ВИНТИ 01.11.2005 №1410-В2005.
48. Алексеев Д.В. Комплексная очистка стоков промышленных предприятий методом струйной флотации /Алексеев Д.В., Николаев Н.А., Лаптев А.Г.// Казань: КГТУ, 2005. 156 с.
49. Яковлев С.В. Механическая очистка сточных вод /Яковлев С.В., Килищун В.И.// М.: Стройиздат, 1972. 102 с.
50. Гляденов С.Н. Фильтрующие материалы: практика применения /Гляденов С.Н., Прокуева С.С. // Экология и промышленность России. 2002. № 11. С. 24-30.
51. Балтрейнас П. Исследование поглощения нефтепродуктов биосорбентами/ Балтрейнас П., Вайшис В. // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2004. № 1. С. 37–39.
52. Косов В.И. Использование торфа для очистки вод, загрязнённых нефтемаслопродуктами / Косов В.И., Испирян С.Р. // Вода и экология. Проблемы и решения, 2001. № 4. С. 41–47.
53. Лаптев А.Г. Комплексное использование торфа в энергетике /Лаптев А.Г., Лаптедутьче Н.К., Сергеева Е.С. // Труды Академэнерго, 2007. № 4. С.28-31.
54. Лаптедутьче Н.К. Пути модернизации системы очистки сточных вод ТЭС от нефтепродуктов /Лаптедутьче Н.К., Сергеева Е.С. //Известия вузов. Проблемы энергетики, 2007. № 11-12. С. 99-104.
55. Фарахов М.И. Численное исследование структуры потока и модернизация гравитационных отстойников /Фарахов М.И., Лаптев А.Г. // Вода: химия и экология, 2008. № 2. С. 26-29.
56. Лаптев А.Г. Некоторые аспекты и модернизации промышленных отстойников /Лаптев А.Г., Фарахов М.И. // ВОДАmagazine, 2008. № 3. С. 36-40.



A.G. Laptev, E.S. Sergeeva

## WATER TREATMENT AND WASTEWATER PURIFICATION IN POWER SYSTEMS. Part 2. (Part 1 in №3/2011)

A critical review of water treatment and wastewater purification on thermal electric power stations and industrial plants has been made.

**Key words:** water hardness, softening, oil products, sedimentation, sorption purification