



ОТ ПОЛЫХ - К ТОНКОСЛОЙНЫМ

Некоторые аспекты модернизации промышленных отстойников

Сепарация дисперсной фазы из жидкостей в гравитационных отстойниках является наиболее простым в аппаратном оформлении процессом. Однако при использовании в качестве отстойников полых емкостей эффективность процесса разделения ограничивается целым рядом факторов.

Известные экспериментальные исследования осаждения примесей в отстойниках показали, что поток в зоне выделения частиц не является ламинарным даже при низких значениях критерия Рейнольдса. Основными причинами этого являются:

- перепады температур в различных частях аппарата;
- неравномерность поля концентрации дисперсной фазы в различных его частях;
- неравномерность подвода сплошной фазы воды по поперечному сечению отстойника и отвода очищенной жидкости из него;
- наличие и работа устройств для отвода фаз;
- различные геометрические неоднородности в виде технологических перегородок, люков, распределителей фаз и так далее.

Так, неравномерность температурного поля и наличие в разделяемой смеси тяжелых примесей приводит к образованию в отстойнике зон с плотностью среды, отличающейся от средней ее плотности в объеме отстойника, что приводит к возникновению конвективных токов. Интенсивность конвективных токов и геометрия охватываемых ими зон находятся в прямой зависимости от неравномерности состава и температуры воды, размеров отстойника и усиливается при наличии источников подогрева в зоне выделения дисперсной фазы. Сосредоточенные отвод и сплошной подвод создают собственные устойчивые вихревые зоны. На эффект перемешивания от сосредоточенных подводов и отводов воды накладываются неблагоприятные эффекты конвективных потоков, гидродинамических неравномерностей и др. Все эти факторы приводят к перемешиванию в отстойниках и выравниванию концентрации дисперсной фазы по глубине слоя. Снижение эффективности выделения частиц будет тем значительней, чем меньше разность плотностей сплошной и дисперсной фаз.

В последнее время получают все большее распространение программные комплексы, специально разработанные для исследования гидродинамики и теплообмена в однофазных и многофазных ламинарных и турбулентных потоках на основе чис-

Эффективность очистки промышленных и бытовых сточных вод во многом зависит от того, насколько удачна конструкция отстойников. Сегодня ученые предлагают различные конструкции этих аппаратов, однако, в любом случае, речь идет о тонкослойных отстойниках, которые в ходе исследований доказали свое неоспоримое преимущество.

ленного решения уравнений переноса. Одним из наиболее совершенных программных продуктов данного класса является «ANSYS FLUENT 6.3», который был использован авторами при проведении расчетов структуры потоков сплошной фазы в промышленных отстойниках. В результате были выработаны рекомендации по выбору рациональной геометрии и технологических режимов работы аппаратов.

Решался получаемый на расчетной сетке дискретный аналог дифференциальных уравнений переноса субстанции, которые в стационарном случае имеют обобщенный вид:

$$(1) \operatorname{div}(u\rho F - \mu \operatorname{grad} F) = S,$$

где ρ - плотность; F - любой вид субстанции, например, импульс единицы массы, массовая доля компонентов смеси, удельная кинетическая энергия турбулентности и т.д.; u - вектор скорости; μ - коэффициент переноса субстанции F ; S - источник субстанции F , например, градиент давления $S = -\operatorname{grad}(p)$ выступает как источник импульса.

В том случае, когда рассматривается перенос осредненных по времени характеристик турбулентного потока, необходимо ввести дополнительные уравнения, связывающие μ со скоростью, плотностью, F и другими свойствами потока. В данной работе использована модифицированная K - ϵ модель турбулентности Чена и Кима (Chen, Kim), которая по сравнению со стандартной K - ϵ моделью турбулентности является более приемлемой для описания отрывных течений с циркуляционными зонами. Уравнения (1) дополняются уравнением неразрывности

$$(2) \operatorname{div}(u) = 0.$$

К данным уравнениям задавались соответствующие конструкции отстойника краевые условия.

В результате компьютерных расчетов по всему объему рассматриваемых аппаратов получены поля следующих искомых функций: давления p , трех компонент вектора скорости u , удельной кинетической энергии турбулентности K и ее диссипации ϵ . Визуализация рассчитанного векторного поля скорости представлена на рисунке 1. Видна сильная неравномерность поля скорости и наличие зон циркуля-

ции в различных областях аппарата. Наличие циркуляционных зон приводит к тому, что картина течения может существенно отличаться в различных сечениях. Обратные течения могут существенно снижать эффективность работы гравитационных отстойников.

Проведенный численный анализ структуры потока в аппарате рассматриваемой конструкции выявил необходимость его реконструкции с целью повышения однородности поля скорости.

Для поиска путей модернизации промышленных аппаратов с целью выравнивания профиля скорости был проведен численный эксперимент, в рамках которого исследовалась структура потоков с различными узлами ввода и вывода сплошной фазы. Результаты эксперимента приведены на рисунке 2.

Наиболее эффективным способом выравнивания поля скорости является ввод потока в направлении, противоположном основному направлению движения среды в аппарате. Схема такого аппарата представлена на рисунке 2 (в верхней части).

Рекомендованный способ ввода потока позволяет сформировать однородное поле скорости в основном объеме аппарата, расположенном правее за входной трубой. При этом существующая зона циркуляции возникает лишь слева от входной трубы. В других сечениях векторное поле скорости имеет вполне аналогичный вид, демонстрирующий достаточно однородное распределение и относительно малый размер циркуляционных зон.

Таким образом, проведенные исследования выявили крайнюю неоднородность поля скорости в аппаратах старой конструкции (рисунк 1), и подтвердили то, что рациональным техническим решением проблемы является модернизация аппаратов путем изменения способа ввода исходного потока (рисунк 2). При этом жидкость, вводимая в направлении, противоположном основному направлению движения в аппарате, отражаясь от крышки, формирует достаточно однородные профили скорости в основном объеме.

Фактором, существенно ограничивающим эффективность процесса



осаждения в полых отстойниках, являющейся большей высотой зоны осаждения. Для ее уменьшения в полых отстойниках устанавливают горизонтальные или наклонные перегородки, пластины, гранулы или трубы, которые повышают эффективность процесса. В полученных таким образом тонкослойных отстойниках процесс отстаивания происходит в объеме, разделенном на параллельные слои или каналы.

Идея отстаивания в тонком слое стала известной благодаря работам Хазена и затем экспериментально подтверждена Р. Кэмпом, Н. Фишерстормом, В. Радцигом и И. Добряковым. Первые осадочные бассейны, снабженные тонкослойными элементами, появились лишь в 50-х годах прошлого века. В 1952 году К. Гомеля доказывает на практике неоспоримое преимущество тонкослойных отстойников, в 1954-м Алоппо подтверждает это и, начиная с 1955 года, в США и Японии они стали внедряться. Уже к 1970 году в США эксплуатировалось с тонкослойными отстойниками свыше 50 крупных объектов на водопроводных и канализационных станциях производительностью до 240 тыс. м³/сут. В Японии широкое распространение получили тонкослойные отстойники с гофрированными радиальными блоками из полимерных материалов системы УПО производительностью до 110 тыс. м³/сут. В 1960-х годах в Европе стали применять тонкослойные отстойники при очистке промышленных и бытовых сточных вод, а также питьевой воды.

Тонкослойные отстойники также рекомендуют для механической очистки производственных сточных вод нефтяной, угольной и других отраслей промышленности. В табл. 1 приведены данные Р. Verbenni по эффективности выделения нефтепродуктов в гравитационном отстойнике, оборудованном сепарирующими пластинами с зазором 100 мм и пустотелом горизонтальном отстойнике.

Преимущества тонкослойных отстойников очевидны.

Тонкослойные отстойники могут быть классифицированы по следующим признакам:

- по конструкции наклонных блоков (трубчатые и полочные), устанавливаемых под углом 45-60° (крутонаклонные);
- по режиму работы (циклического и непрерывного действия);
- по наклону полок или труб относительно движения сточной воды (с продольным прямым, обратным или комбинированным наклоном и поперечным наклоном).

Трубчатые секции имеют прямоугольное (квадратное), шестиугольное или круглое поперечное сечение, могут работать с более высокими скоростями по сравнению с полочным, монтируются из отдельных труб или блоков, изготавливаемых индустриально.

Полочные секции имеют сечение в виде прямоугольника и монтируются из плоских или волокнистых пластин, удобны в эксплуатации и менее материалоемки, чем трубчатые.

Тонкослойные отстойники циклического действия характеризуются небольшим наклоном блоков; накапливающийся в них осадок удаляется промывкой обратным током осветленной воды и другими способами.

Отстойники непрерывного действия отличаются значительным наклоном блоков, обеспечивающим постоянное удаление выделяющихся загрязнений в зону накопления, в связи с чем не требуется их частая промывка.

В отстойниках с продольным наклоном блоков вода движется: сверху вниз - при прямом наклоне, снизу вверх - при обратном наклоне и попеременно - при комбинированном расположении блоков.

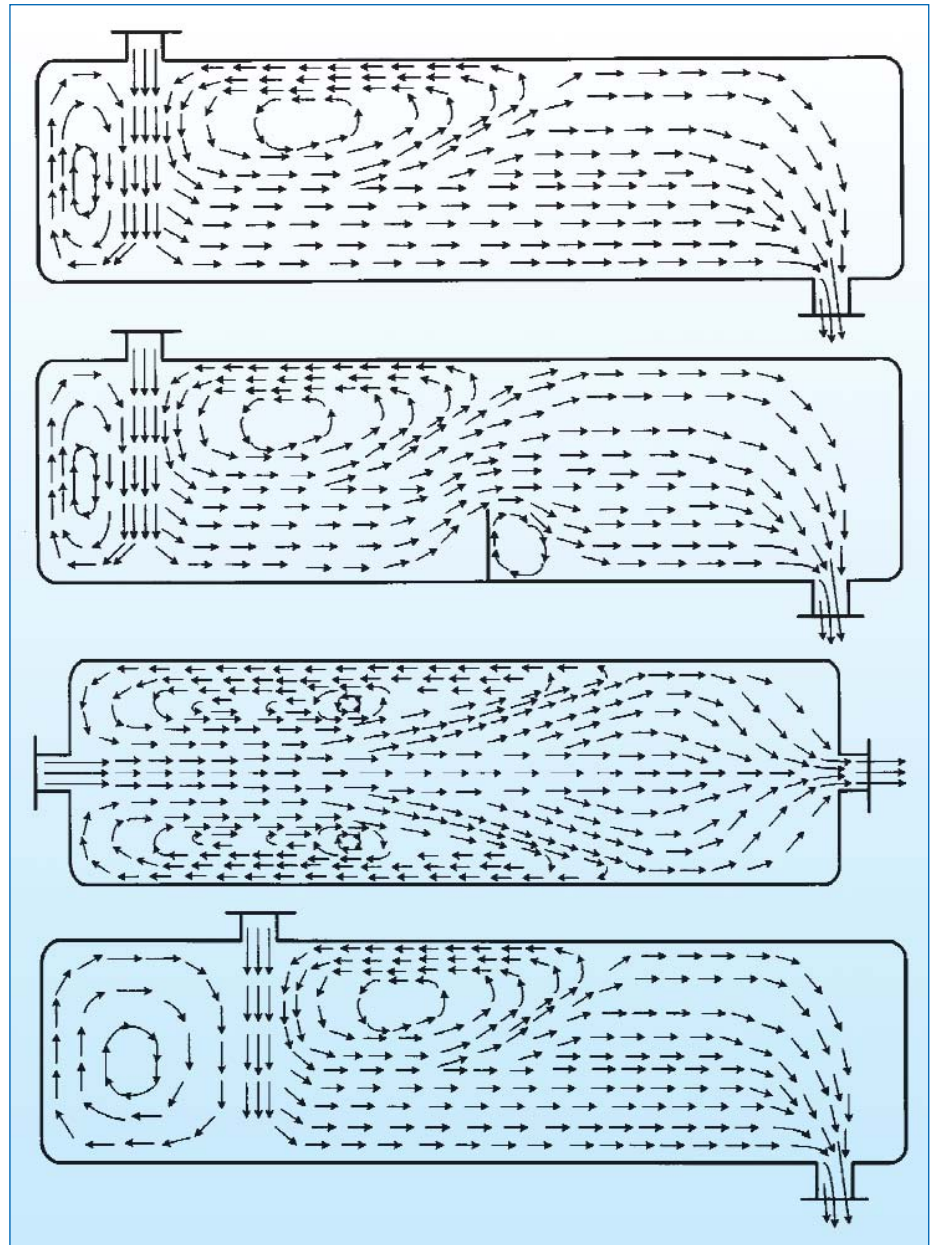
В отстойниках с поперечным наклоном блоков вода движется горизонтально, а блоки наклонены в плоскости, перпендикулярной направлению движения сточной воды.

Выбор типа тонкослойного отстойника определяется, в первую очередь, характером загрязнений, содержащихся в очищаемой воде.

Отстойники циклического действия (с обратным наклоном блоков) целесообразно применять при осветлении сточной воды от грубодисперсных примесей, концентрация и гидравлическая крупность которых имеют невысокие значения.

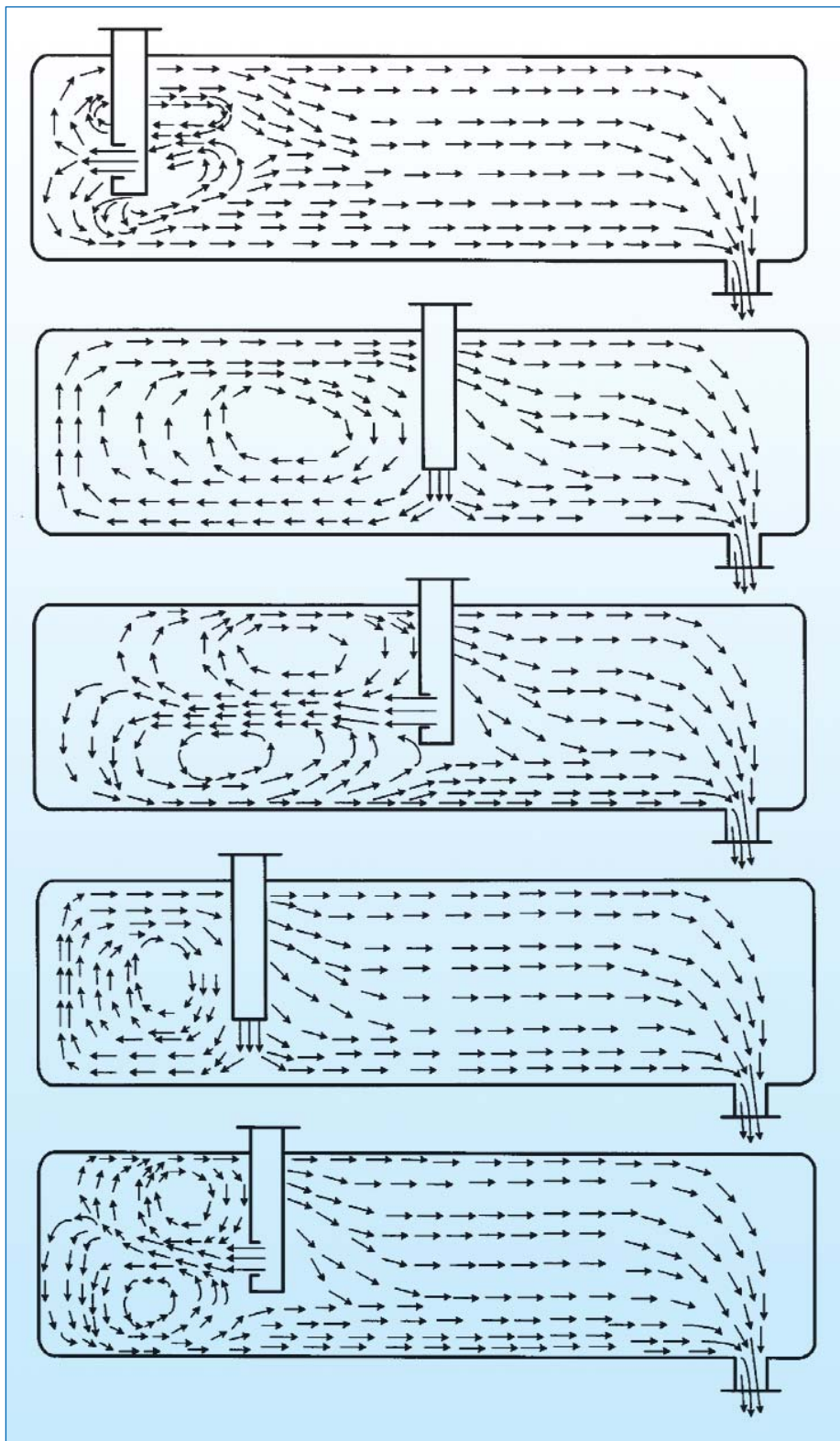
Отстойники непрерывного действия с прямым наклоном блоков эффективны при очистке сточных вод, загрязненных преимущественно всплывающими примесями (например, нефтью и нефтепродуктами) и сравнительно небольшим количеством тяжелых оседающих частиц (например, песка).

■ Рис. 1. Поля скоростей в пустотельных отстойниках





■ **Рис. 2.** Поля скоростей в отстойниках с различным подводом фаз



■ **Таблица 1.** Выделение нефтепродуктов в отстойниках

Диаметр удаляемых частиц, мкм	Степень улавливания, %	
	Без пластин	С пластинами
>150	100	100
120-150	83	100
90-120	75	100
60-90	64	94
30-60	43	81
0-30	23	69

Напротив, отстойники с обратным наклоном блоков (непрерывного действия) целесообразно применять для очистки сточных вод, в загрязнении которых преобладают оседающие вещества.

Отстойники с комбинированным и поперечным наклоном блоков являются универсальными и пригодны для выделения как всплывающих, так и оседающих примесей.

Практически трубчатые и полочные отстойники по эффективности мало отличаются друг от друга. Близки и технологические показатели отстойников с комбинированным и поперечным наклоном секций. Поэтому та или иная конструкция для конкретных условий применяется на основании технико-экономического расчета.

Тонкослойные отстойники допускают различную компоновку отдельных элементов (распределительной и сборной зон, отстойных секций, осадочной части), что позволяет варьировать в широких пределах строительные размеры сооружений, в целом исходя из местных условий и наличия материалов для тонкослойных блоков.

Эффективность осветления воды в отстойниках с углами наклона 30° и 45° практически равнозначны, хотя в процентах эффект осветления суспензии в отстойнике с углом наклона 45° несколько выше. Так, при мутности воды 6000 мг/л и равной скорости движения потока в обоих отстойниках на отстойнике, установленном с углом наклона 30°, эффект осветления составлял немногим более 50%, тогда как при угле наклона 45° количество взвешенных веществ в осветленной воде оказалось равным 1700 мг/л, что соответствовало степени 70% очистки.

В случае разделения смесей с полидисперсным распределением частиц применение тонкослойного отстойника, по сравнению с объемным отстойником таких же размеров при заданной производительности, позволяет выделять частицы гораздо меньших размеров, т.е. существенно повышает эффективность разделения.

К другим не менее важным преимуществам тонкослойных отстойников по сравнению с другими конструкциями сепарационных аппаратов можно отнести простоту конструкции, отсутствие приводов и вращающихся частей, простота в эксплуатации и ремонте.

Применение тонкослойных отстойников по сравнению с полыми обеспечивает стабильность течения жидкости и препятствует возможности возникновения плотностных и температурных циркуляционных течений. В связи с малыми высотами слоев разделяемой смеси в тонкослойных отстойниках существенно уменьшается неблагоприятное влияние таких факторов, как наличие градиентов температуры и плотности. Поток в каналах между пластинами, гранулами или в



ИНЖЕНЕРНО - ВНЕДРЕНЧЕСКИЙ ЦЕНТР ООО «ИНЖЕХИМ» (инженерная химия)

Инженерно-внедренческий центр «Инжехим» (инженерная химия) в течение последних 17 лет активно сотрудничает с предприятиями нефтехимического комплекса, газо- и нефтеперерабатывающими заводами в области модернизации тепло- массо-обменного, реакторного и сепарационного технологического оборудования.

Основные направления деятельности ИВЦ «Инжехим»:

Реконструкция действующих промышленных ректификационных, абсорбционных и экстракционных установок, включающая в себя оптимизацию технологических режимов, внесение изменений в технологическую схему и аппаратурное оформление процессов.

Модернизация действующего тепло- и массообменного оборудования с целью снижения энергозатрат, получения новой продукции, повышения качества получаемых продуктов и адаптации к изменению нагрузок и состава сырья. Увеличение производительности и разделяющей способности действующих ректификационных и абсорбционных колонн.

Поставка высокоэффективной регулярной и нерегулярной насадки, предназначенной для ректификационных и абсорбционных колонн, работающих под разрежением, при атмосферном и повышенном давлении. Вместе с насадками поставляется комплект внутренних устройств, включающий опорные и прижимные решетки, распределители и перераспределители жидкой и газовой фаз, каплеотбойники и каплеуловители и т.д.

Разработка и внедрение высокоэффективного сепарационного оборудования для разделения суспензий и эмульсий. Обезвоживание углеводородов и их выделение из водных стоков, отделение воды от нефти и нефти и взвешенных частиц от воды, разработка и изготовление гидроциклонов.

Разработка и изготовление статических смесителей, характерной особенностью которых является максимальное использование затрачиваемого на перемешивание перепада давления для усреднения концентраций перемешиваемых фаз в объеме смесителя. Статические смесители «Инжехим» применимы для эффективного перемешивания широкого класса суспензий и эмульсий.

Модернизация распределительных устройств химических реакторов.

Упорядоченная загрузка сыпучих катализаторов в реактора, обеспечивающая более плотный (на 10% и более) и равномерный слой катализатора.

Все новые технические решения проходят экспериментальную проверку в собственной исследовательской лаборатории пилотных установок на испытательных стендах промышленного масштаба.

ИВЦ «Инжехим» располагает современным производством для изготовления контактных устройств аппаратов, опорных и распределительных конструкций колонного оборудования, различного вида сепарационных аппаратов для разделения жидко-стных и газовых смесей.



Тел.: (843) 5702318
Тел./факс: (843) 5702328
420049, г. Казань,
ул. Шалапина, 14/83
Web: <http://www.ingehim.ru>.
E-mail: info@ingehim.ru.



трубах становится ламинарным после небольшого участка стабилизации в начале канала, что благоприятно сказывается на интенсивности процесса отстаивания.

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, 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.

Тонкослойные элементы (модули) по геометрии поперечного сечения можно разделить на пластинчатые и трубчатые. Последние имеют круглую, квадратную, шестиугольную и ромбовидную форму.

Для изготовления тонкослойных элементов используют стекло, оцинкованное железо, полиэтиленовую пленку, полиэтиленовые профилированные листы, полипропилен, винилпласт, полихлорвиниловый и полисти-

■ **Рис. 3.** Сепарационный блок «Инжехим»



рольный пластик, армированную полихлорвиниловую пленку и другие материалы.

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 так далее.

Для установки сепарационных блоков в имеющиеся на предприятиях емкости «Инжехим» проектирует и изготавливает специальные опорные и распределительные конструкции. Последние проектируются на основании анализа результатов компьютерного и физического моделирования данного отстойника.

Сепарационные блоки выполняются в виде закрепленных в специальной каркасной конструкции пакетов тонких металлических пластин из нержавеющей стали. Геометрия пластин и их специально организованная ориентация в объеме позволяют в десятки раз увеличить эффективность и производительность отстойников после модернизации.

Повышение эффективности достигается благодаря нескольким моментам. 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 (рисунок 3). На рисунке 4 показано расположение сепарирующих блоков в промышленном отстойнике, внедренном на одном из предприятий нефтехимического профиля.

Модернизируемые емкости обеспечиваются распределительными устройствами.

Технические характеристики сепарационных блоков

- Степень разделения - 98 % и выше.
- Исполнение - коррозионно-стойкое, из нержавеющей стали.
- Срок службы без ремонта: не менее 5 лет
- Размеры блоков 400x400x250 мм (проходят через люк 500 мм).
- Гидравлическое сопротивление - не более 10 Па/м

Сепарационные блоки внедрены и успешно эксплуатируются в отстойниках на предприятиях химической, нефтехимической и газовой отраслей промышленности.

Анатолий Лаптев, профессор, заведующий кафедрой «Технология воды и топлива» Института теплоэнергетики КГЭУ, Мансур Фарахов, доцент, директор ИВЦ «Инжехим»

■ **Рис. 4.** Расположение сепарирующих блоков

