

УДК 622.276

**АППАРАТЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ, ГАЗА И ВОДЫ,
ОСНОВАННЫЕ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ТОНКОСЛОЙНОГО РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ**

Бакиев А.В., Гайсин А.З.¹

*Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа
e-mail: ¹aidar234@mail.ru*

Хазиев Н.Н.

ООО НПО «Технап», г. Уфа

Бакиев Т.А.

Инженерно-технический центр ООО «Газпром трансгаз Уфа», г. Уфа

***Аннотация.** В статье излагаются результаты теоретических и экспериментальных исследований гидродинамических процессов в отстойных аппаратах. Проанализированы существующие способы подготовки нефти, газа и воды. В качестве примера приведены расчеты по определению конструктивных параметров установки для очистки воды по патенту РФ. Обосновано преимущество тонкослойного режима движения жидкости для фазоразделения.*

***Ключевые слова:** гидродинамические процессы, продукция скважин, фазоразделение, тонкослойный режим движения жидкости, отстойные аппараты*

При предварительном сбросе воды из продукции скважин необходимо использовать высокоэффективные отстойные аппараты, которые должны иметь высокую пропускную способность, совмещать процессы сепарации нефтяного газа и обезвоживания, работать без дополнительного подогрева продукции, обеспечить более четкое разделение нефти и воды и обеспечить качество воды для закачки в пласт [1].

Повышение пропускной способности любого аппарата является актуальной экономической задачей. Это позволяет снизить эксплуатационные затраты и энергозатраты, уменьшается площадь территории для размещения, повышается качество получаемой продукции и т.д.

Для решения этой задачи основным направлением считалось улучшение гидродинамики внутри аппарата для более полного использования полезного объема аппарата.

В аппаратах для подготовки нефти, газа и воды в основном происходят процессы отстоя.

При расчете процесса отстоя обычно пользуются известным законом Стокса [1]:

$$v = d^2 \cdot (\rho_g - \rho_n) \cdot \frac{g}{18 \cdot \mu_n},$$

где v – скорость осаждения капель;

d – диаметр капель;

ρ_g – плотность воды;

ρ_n – плотность нефти;

μ_n – вязкость нефти.

Естественно, эта же формула может быть использована для определения скорости всплытия капель нефти, пузырьков газа, скорости осаждения механической примеси.

Данная формула справедлива для одиночных капель, а в других случаях следует учитывать отличительные обстоятельства процесса отстоя [2].

Так что нижний предел применения закона Стокса соответствует переходу от суспензии к коллоидным растворам, когда размеры частиц дисперсной фазы достигают величины 0,1 - 0,5 микрон и броуновское движение препятствует осаждению частиц.

Верхний предел применения закона Стокса зависит не только от размеров частиц, но и от их плотности, а также физических свойств жидкости, в которой они осаждаются. Этот предел, так же как и при осаждении пыли в газообразной среде, характеризуется числовым значением критерия Рейнольдса $Re \approx 2$.

Для случая, когда сопротивление среды пропорционально квадрату скорости и $Re > 2$, скорость осаждения частиц вычисляют по формуле

$$v = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot d \cdot (\rho_B - \rho_H)}{3 \cdot \rho_H \cdot \zeta}}, \text{ м/с.}$$

При $500 > Re > 2$ коэффициент сопротивления $\zeta = 18,5 / Re^{0,6}$, а при $150000 > Re > 500$ коэффициент сопротивления $\zeta = 0,44$.

Все-таки, вычисление скорости осаждения по приведенным выше формулам дает результаты, близкие к истинным значениям, только в тех случаях, когда отдельные взвешенные частицы осаждаются независимо друг от друга, т.е. при условии свободного их падения, что наблюдается только в разведенных суспензиях.

Таким образом, на практике, расчет технологических параметров отстойников (определение пропускной способности и т.д.) производится с учетом экспериментальных данных.

На объектах добычи нефти в основном используют горизонтальные цилиндрические отстойники, работающие под избыточным давлением, при полном заполнении жидкостью. Наиболее широко распространены отстойные аппараты с распределительной системой подаваемой жидкости в виде перфорированной трубы, размещенной вдоль длины в нижней внутренней части отстойника. Для отво-

да жидкости после отстоя, в таких аппаратах перфорированная труба размещается в верхней части отстойника. При этом заполнение отстойника жидкостью для отстоя и отвода очищенной жидкости происходят одновременно в одной и той же области отстойника. Такое выполнение отстойника является не оптимальным и не позволяет достигать проектной производительности отстойника при обеспечении необходимого качества продукции после отстоя. Многие специалисты указывали на эти недостатки отстойников и предлагали различные варианты выполнения отстойников [3].

Одним из перспективных направлений модернизации отстойников является реализация способа отстоя в тонком слое жидкости.

Такой способ отстоя был реализован в отстойнике ОГН-П с использованием изобретения по патенту РФ № 2077918 [4]. Позднее разработаны более совершенные отстойники такого же типа с использованием изобретений по патенту РФ № 2296607 [5] и № 2359733 [6].

Способ отстоя в тонком слое жидкости эффективно может быть использован в аппаратах для очистки сточных вод. Такой аппарат нами разработан и запатентован (патентом РФ № 102609) [7]. Предложенное техническое решение позволяет повысить надежность технологического процесса очистки воды и эффективности работы аппарата с наименьшими затратами.

Общий вид предлагаемого устройства для очистки воды приведен на рис. 1.

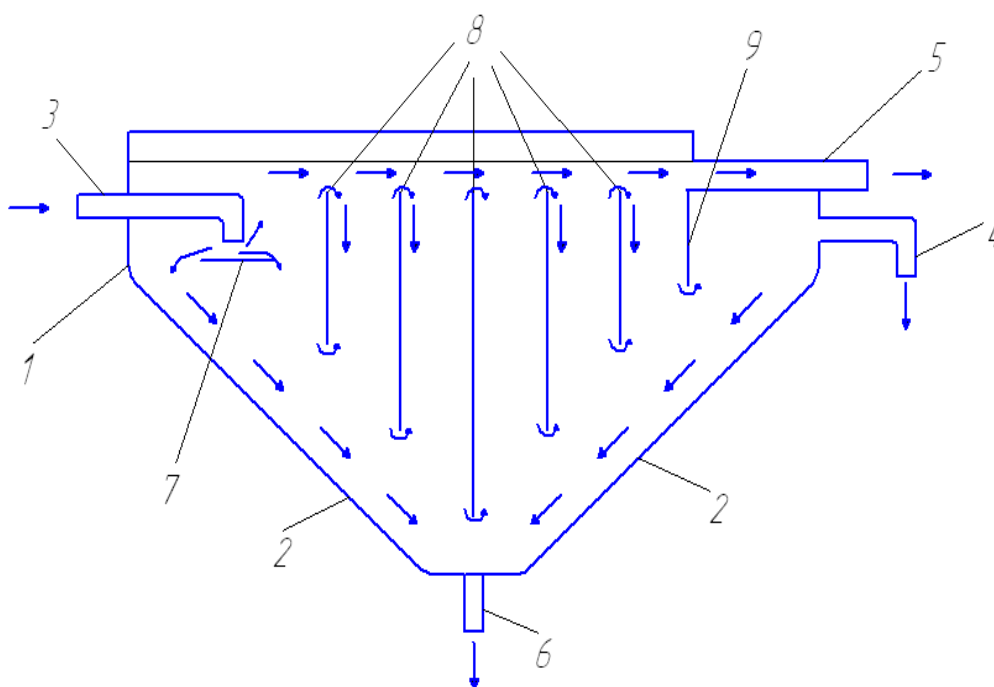


Рис. 1. Схема устройства для очистки сточных вод

Устройство для очистки воды состоит из корпуса 1, наклонных боковых стенок 2, патрубка 3 для ввода загрязненной воды, патрубка 5 для отвода плавающих загрязнений, отбойника 7 на входе патрубка 3 в корпус 1, вертикальных перегородок 8, перегородки 9 разделяющей плавающие загрязнения от очищенной воды.

Предлагаемое устройство работает следующим образом.

По мере заполнения корпуса 1 устройства загрязненной водой и достижения уровня верхних кромок вертикальных перегородок вода начинает вытекать через патрубок 4 для отвода очищенной воды и движение воды в корпусе 1 устройства организуется поверх верхних кромок вертикальных перегородок 8. При этом в среде между перегородками движение успокаивается и происходит всплывание легких загрязнений и оседание тяжелых загрязнений. Наиболее интенсивное очищение воды происходит в верхнем слое воды, который образуется выше верхних кромок вертикальных перегородок. Этот слой имеет небольшую толщину, поэтому отстой в этом слое происходит за короткое время, чем обуславливается повышенная пропускная способность устройства очищаемой воды при эффективном процессе очистки воды.

Всплывшие легкие загрязнения образуют слой толщиной, обуславливаемой размещением патрубка 5 для отвода этих загрязнений. При достижении уровня патрубка 5 легкие загрязнения автоматически отводятся через патрубок 5 и утилизируются в соответствии с предусмотренной дальнейшей технологией работы объекта.

Очищенная вода забирается с определенного уровня удаленного от верхнего слоя с контактом слоя легких загрязнений и слоя нижнего осадка.

Такой забор очищенной воды обеспечивается размещением нижней кромки перегородки 9 на необходимой высоте, которая определяется с учетом конкретных условий применения устройства.

Отвод осаждающихся загрязнений осуществляется через патрубок 6. Отвод осадка самотеком осуществляется до момента образования неподвижного осадка.

Отвод очищенной воды организуется в непрерывном режиме при непрерывной подаче загрязненной воды.

Установка для очистки воды основана на принципе отстоя в тонком горизонтальном слое, который создается размещением вертикальных перегородок в корпусе аппарата.

Принцип отстоя такого аппарата можно сравнить со схемой работы водослива (рис. 2) [8].

Водосливом называется безнапорное отверстие – вырез, сделанный в гребне стенке, через который протекает вода.

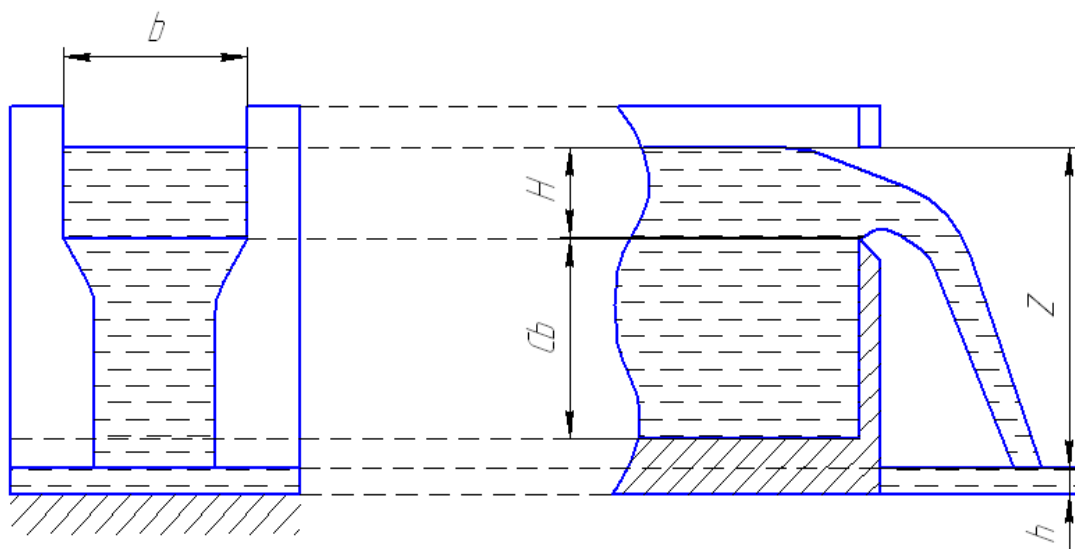


Рис. 2. Схема истечения через водослив с тонкой стенкой

Основные расчетные формулы для прямоугольного водослива.

Основными параметрами водослива являются: геометрический напор H , ширина водослива b , высота стенки водослива $Cв$, скорость истечения воды через водослив v , расход воды через водослив Q , ω – сечение движущегося слоя воды перед водосливом.

Имеем следующие формулы:

$$Q = \omega \cdot v;$$

$$\omega \approx b \cdot H;$$

$$v \approx \sqrt{2 \cdot g \cdot H};$$

$$Q \approx b \cdot H \sqrt{2 \cdot g \cdot H};$$

$$Q = m \cdot b \cdot H \sqrt{2 \cdot g \cdot H},$$

где m – коэффициент расхода водослива.

Чугаевым Р.Р. предлагается использовать расчетную формулу для определения коэффициента расхода водослива

$$m = 0,4 + 0,05 \frac{H}{Cв}$$

при условиях, когда $Cв \geq 0,5H$ и $H \geq 0,1$ м.

В нашем случае в аппарате для очистки воды $Cв$ значительно больше, чем H , поэтому вторым составляющим в этой формуле можно пренебречь. Тогда имеем $m = 0,4$ и

$$Q = 0,4 \cdot b \cdot H \sqrt{2 \cdot g \cdot H}.$$

Эта формула показывает зависимость расхода воды от напора воды H перед перегородкой (стенкой водослива).

В случае очистки воды в числе основных показателей, наряду с расходом воды (пропускной способностью очищенной воды) следует включить показатель качества очищенной воды. Естественно, этот показатель может иметь разное значение в зависимости от назначения объекта. В любом случае качество воды может быть отрегулировано путем изменения расхода воды.

Кроме того, в установке для очистки воды качество очищенной воды может быть повышено путем увеличения пути движения воды в тонком горизонтальном слое, увеличение числа перегородок в аппарате, что обеспечивает многократность процесса водослива на пути движения загрязненной воды в аппарате.

При этом вертикальные перегородки внутри аппарата (как стенки водослива) должны устанавливаться в основном с учетом их монтажа и условий обслуживания при эксплуатации. Например, расстояние между вертикальными перегородками может быть 0,5 - 1 м с учетом возможности нахождения между перегородок монтажника или мастера при техническом обслуживании в период эксплуатации.

При таком размещении перегородок на участке длиной 2,5 м получаются пять перегородок, что обеспечивает тонкослойный режим течения очищаемой воды на этом участке и можно считать, что имеем пятиступенчатый водослив, где достигается гравитационное отделение загрязнений в виде плавающих и оседающих частиц, что способствует повышению качества очищенной воды.

Из приведенной формулы по определению расхода воды через водослив видно, что расход зависит от напора жидкости H и ширины водослива b . Напор жидкости H это есть величина высоты слоя жидкости, т.е. тонкого слоя жидкости выше перегородок. Расход воды растет с увеличением величины H , но при этом может ухудшиться качество очищенной нефти. Но имеется возможность увеличить расход воды (пропускную способность) через установку для очистки воды при тонком (малом) слое воды выше перегородок, т.е. для достижения высокого качества очищенной воды, путем увеличения ширины b движущегося тонкого слоя воды.

Таким образом, с учетом этих особенностей установки для очистки воды, имеется возможность выбора оптимальных конструктивных параметров такой установки для очистки загрязненных сточных вод.

Пример расчета конструктивных параметров установки для очистки сточных вод:

1. Определить конструктивные параметры установки для очистки сточных вод $Q = 10 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,0028 \text{ м}^3/\text{с}$. Необходимо задаваться шириной корпуса установки b . Примем, что $b = 1 \text{ м}$.

По формуле для определения расхода

$$Q = 0,4 \cdot b \cdot H \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

найдем величину напора H ,

$$Q^2 = 0,16 \cdot b^2 \cdot H^2 \cdot 2 \cdot g \cdot H;$$

$$H^3 = \frac{Q^2}{0,16 \cdot b^2 \cdot 2g};$$

$$H = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{0,16 \cdot b^2 \cdot 2g}} = \sqrt[3]{\frac{0,0028^2}{0,16 \cdot 1^2 \cdot 2 \cdot 9,81}} = 0,0135 \text{ м.}$$

Т.е. расход Q обеспечивается ($Q = 10 \text{ м}^3/\text{ч}$) при $b = 1 \text{ м}$ и $H = 1,35 \text{ см}$ ($0,0135 \text{ м}$).

2. При $H = 0,02 \text{ м}$ находим расход Q

$Q = 0,4 \cdot 1 \cdot 0,02 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,02} = 0,008 \cdot \sqrt{0,3324} = 0,008 \cdot 0,626 = 0,005 \text{ м}^3/\text{с} = 18,04 \text{ м}^3/\text{ч}$,
получаем $Q = 18,04 \text{ м}^3/\text{ч}$ при $H = 0,02 \text{ м}$; $b = 1 \text{ м}$.

3. При $H = 0,05 \text{ м}$ и $b = 1 \text{ м}$ находим расход Q

$$Q = 0,4 \cdot 1 \cdot 0,05 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,05} = 0,02 \cdot 0,99 = 0,02 \text{ м}^3/\text{с} = 71,3 \text{ м}^3/\text{ч},$$

получаем расход $Q = 71,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ при $H = 0,05 \text{ м}$ и $b = 1 \text{ м}$.

4. При $H = 0,1 \text{ м}$ и $b = 1$ находим расход Q

$$Q = 0,4 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,1} = 0,04 \cdot 1,4 = 0,056 = 201,6 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Результаты расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты расчета расхода жидкости
в зависимости от ширины корпуса установки и напора

Расход Q , $\text{м}^3/\text{ч}$	Напор жидкости H , м			
	0,01	0,02	0,05	0,1
Q при $b = 1 \text{ м}$	6	18	71	202
Q при $b = 2 \text{ м}$	12	36	142	404

Рассматривая отстойники, основанные на способе отстоя в режиме течения в тонком слое необходимо отметить, что есть новые разработки [9] по очистке сточных вод, где используются тонкослойные модули для коалесценции мелких загрязняющих воду частиц. При этом тонкослойные модули представляют собой набор пластин с тонкими промежутками между собой. Такие модули размещаются в среде загрязненной воды, где между пластинами не может образоваться значительного течения загрязненной воды. В связи с этим следует отметить, что предлагаемый нами способ отстоя в тонком слое движения жидкости отличается по существу от тонкослойных модулей, используемые в отстойниках. Они отличаются по назначению и по влиянию на основной технологический процесс, в результате получается другой технологический и экономический эффект.

В отстойных аппаратах с перегородками создаются условия для движения всей жидкости только тонким слоем. Конструкция такого аппарата очень проста и не возникают сложности при эксплуатации. Толщина тонкого слоя зависит от конструктивных размеров и легко регулируется изменением расхода загрязненной воды, пропускаемой через аппарат. При этом достигается получение необходимого качества очищенной воды.

Необходимо отметить, что тонкослойный режим течения загрязненной воды организуется только в отстойных аппаратах системы очистки сточных вод. При необходимости предусматривают дополнительные блоки системы очистки вод, например, биохимические и другие блоки.

Литература

1. Байков Н.М., Позднышев Г.Н., Мансуров Р.И. Сбор и промысловая подготовка нефти, газа и воды М.: Недра, 1981. 261 с.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Госиздат. хим. лит., 1960. 830 с.
3. Тронов В.П. Промысловая подготовка нефти. Казань: ФЭН, 2000. 416 с.
4. Патент № 2077918 РФ. МПК В01Д17/028. Аппарат для обезвоживания нефти / Н.Н. Хазиев, М.Г.Газизов, Р.Г.Вильданов, В.Ф. Голубев.; заявитель и патентообладатель Хазиев Н.Н. - № 94041531/25. заявл. 17.11.1994. Оpubл. 27.04.97 // Бюлл. № 12. С. 3.
5. Патент № 2296607 РФ. МПК В01D17/028. Отстойник/ Хазиев Н.Н., Хасанов И.Ю., Черных Ю.А., Сигаев К.Н.. заявитель и патентообладатель Хазиев Н.Н. - № 56041531/25. Заявл. 17.11.2006. Оpubл. 10.04.2007 // Бюлл. № 10.
6. Патент № 2359733 РФ. МПК В01D17/028. Аппарат многофункциональный для подготовки нефти / Хасанов И.Ю., Хазиев Н.Н. Заявитель и патентообладатель Хазиев Н.Н. - № 2008108858/15. Заявл. 06.03.2008. Оpubл. 10.03.2011 // Бюлл. № 7. С. 4.
7. Патент РФ на полезную модель № 102609, МПК С02F1/00. Устройство для очистки воды / Бакиев А.В., Хазиев Н.Н., Хасанов И.Ю., Гайсин А.З.; заявитель и патентообладатель ООО НПО «Технап» - № 2010142517/05 заявл. 18.11.2010 опубл. 10.03.2011 // Бюлл. № 7. С. 4.
8. Чугаев Р.Р. Гидравлика. Л.: Энергоиздат., 1982. 672 с.
9. Рекламные материалы ЗАО «Водоканалпроект» г. Уфа, 2010.

**OIL, GAS AND WATER PREPARATION BY USING DEVICES,
BASED ON USE LIQUID MOTION IN THIN LAYER**

A.V. Bakiev, A.Z. Gaisin¹

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

e-mail: ¹aidar234@mail.ru

N.N. Khaziev

«Technology oil mechanical engineering» LLC, Ufa, Russia

T.A. Bakiev

Engineering center of "Gazprom transgas Ufa" LLC, Ufa, Russia

Abstract. *In article results theoretical and experimental researches of hydrodynamic processes in settling devices are stated. Existing ways of oil, gas and water preparation are analyzed. For example the calculations to determine the design parameters of water treatment device under the patent of the Russian Federation are resulted. Advantage of liquid motion in a thin layer for separation of well production into oil, water and gas is proved.*

Keywords: *hydrodynamic processes, well productions, thin layer mode, settling devices*

References

1. Baikov N.M., Pozdnyshev G.N., Mansurov R.N. Sbor i promyslovaya podgotovka nefi, gaza i vody (Collection and field treatment of oil, gas and water). Moscow, Nedra, 1981. 261 p.
2. Kasatkin A.G. Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoi tekhnologii (Basic processes and apparatuses of chemical technology). Moscow, Gosizdat. khim. lit., 1960. 830 p.
3. Tronov V.P. Promyslovaya podgotovka nefi (Pre-treatment of oil at oil fields). Kazan, FEN, 2000. 416 p.
4. Patent № 2077918 of Russian Federation. IPC B01D17/028. Apparatus for dehydration of crude oil / Khaziev N.N., Gazizov M.G., Vil'danov R.G., Golubev V.F. Appl.: 17.11.1994. Publ.: 27.04.97.
5. Patent № 2296607 of Russian Federation. IPC B01D17/028. Settler / Khaziev N.N., Khasanov I.Yu., Chernykh Yu.A., Sigaev K.N. Appl.: 17.11.2006. Publ.: 10.04.2007.
6. Patent № 2359733 of Russian Federation. IPC B01D17/028. Multifunctional instrument for oil preparation / Khasanov I.Yu., Khaziev N.N. Appl.: 06.03.2008. Publ.: 10.03.2011.
7. Utility model patent № 102609 of Russian Federation, IPC C02F1/00. Water treatment device / Bakiev A.V., Khaziev N.N., Khasanov I.Yu., Gaisin A.Z. Appl.: 18.11.2010. Publ.: 10.03.2011.
8. Chugaev R.R. Gidravlika (Hydraulics). Leningrad, Energoizdat, 1982. 672 p.
9. Promotional materials of "Vodokanalproekt" CJSC. Ufa, 2010.