



УДК 628.334.5.336.43

Адельшин А.А. – кандидат технических наук, доцент

Адельшин А.Б. – доктор технических наук, профессор

E-mail: a566pm@rambler.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Гришин Б.М. – доктор технических наук, профессор

E-mail: bgrishin@rambler.ru

Кощев А.М. – доктор химических наук, профессор

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Адрес организации: 440028, Россия, г. Пенза, ул. Германа Титова, д. 28

Теоретические исследования процесса обработки нефтесодержащих сточных вод в трубчатых сливных камерах гидроциклонов¹

Аннотация

Исследованиями созданы установки очистки нефтепромысловых (нефтесодержащих) сточных вод (НСВ) по технологическим схемам: гидроциклон – цилиндрические камеры на сливах гидроциклона – контактная масса – отстойник – коалесцирующий фильтр – отстойник (БГКО).

В закрученных потоках гидроциклона и камер сливов происходит разрушение бронирующих оболочек, коалесценция и уменьшение полидисперсности капель нефти при действии факторов в определенной последовательности, величиной и продолжительности времени.

В статье на основании теоретического анализа уравнения баланса энергии и геометрии внешней границы закрученного потока на сливе гидроциклона получены формулы для определения потерь напора в потоке НСВ и нахождения размеров камер слива, позволяющие подобрать оптимальные условия для осуществления процесса интенсивной коалесценции нефтяных капель и повысить эффект последующей очистки НСВ отстаиванием.

Ключевые слова: нефтепромысловая сточная вода, гидроциклон, камеры сливные, закрученный поток, отстойник, инверсирующая контактная масса, коалесценция, очистка воды, потеря напора, гидродинамическая обработка, фильтр.

Исследованиями создана технология очистки нефтепромысловых сточных вод (НСВ) для утилизации их в системах заводнения нефтяных пластов. Технология предусматривает предварительное разрушение бронирующих оболочек на каплях нефти, укрупнение и уменьшение полидисперсности капель нефти гидродинамической обработкой исходной НСВ в закрученных потоках [1-4].

Технология реализована в установках очистки НСВ по схеме: «гидроциклон – цилиндрические камеры на верхнем и нижнем сливах гидроциклона – подвижная инверсирующая контактная масса – отстойник – коалесцирующий фильтр – отстойник (установки типа БГКО)». При этом различные схемы «гидроциклон – камеры сливов» в сущности образуют гидродинамический центробежный каплеобразователь (аппарат ГКС), который конструктивно скомпонован в единый блок с отстойниками установки БГКО. В составе установки БГКО гидроциклон служит для получения закрученного потока в камерах сливов и предварительной гидродинамической обработки НСВ, и в целом ГКС для разрушения стабилизированных частиц примесей, бронирующих оболочек нефтяных капель и их коалесценции и уменьшению полидисперсности капель нефти. С целью увеличения времени гидродинамической обработки НСВ в объеме закрученного потока в составе аппарата ГКС предусмотрены цилиндрические камеры определенных диаметра и длины на сливах гидроциклона [1, 2].

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

После гидроциклона в камерах сливов его осуществляется гидродинамическая обработка НСВ последовательно во всех областях турбулентного закрученного потока – в зонах: расширения закрученной струи, стабильного закрученного течения, затухания закрученного течения, переходного и осевого потенциального течения, циркуляционных и тороидальных. В сливных камерах НСВ подвергается наиболее универсальной комплексной обработке по наиболее полному количеству и качеству различных видов воздействия на частицы нефти в НСВ, что способствует интенсификации эффективной коалесценции и образованию наиболее монодисперсной системы капель нефти [1-4].

В общем случае закрученный поток имеет следующие особенности по сравнению с осевым прямоточным потоком: большой угол расширения и меньшую дальность; обладает повышенной эжекционной способностью; у его основания возникает приосевой обратный ток, способствующий увеличению времени пребывания жидкости в объеме аппарата.

Известно, что интенсивность закрутки оказывает существенное влияние на инертные и реагирующие течения, на поле течения, расширение струи, процессы перемешивания, затухания скорости в струе, на размеры, форму и структуру закручивающегося потока в трубопроводах сливов-обвязки. Закрученное движение может сохраниться на относительно больших расстояниях в трубопроводах слива гидроциклона со значительно превышающими потерями напора по сравнению с потенциальным осевым течением [5, 6].

Применение расположенных в горизонтальной плоскости трубчатых сливных камер, коаксиально соединенных со сливными патрубками гидроциклонов, позволяет более полно использовать энергию закрученных потоков на выходе из центробежного аппарата гидроциклона в составе ГКС и интенсифицировать процесс коалесценции нефтяных капель в НСВ [2, 3].

Интенсивность закрутки потока НСВ на выходе из гидроциклона в сливную камеру характеризуется параметром закрутки θ . Для случая вращения потока с постоянной циркуляцией:

$$v_{ок} \cdot r = \text{const}, \quad (1)$$

где $v_{ок}$ – окружная скорость потока, м/с; r – радиус закрученной струи. В работах [2, 4] определена расчетная начальная интенсивность на входном участке камеры слива:

$$\theta = \frac{\omega \cdot d_n^2}{2d \cdot v_{ос}}, \quad (2)$$

где θ – угловая скорость потока, c^{-1} ; $v_{ок}$ – средняя осевая скорость закрученной струи, м/с; d_n – диаметр сливного патрубка гидроциклона, м; d – диаметр закрученной струи в камере, м, $d_n < d < d_0$ – диаметр камеры слива, м.

При $d = d_n$ параметр закрутки:

$$\theta_n = \frac{\omega \cdot d_n}{2d \cdot v_n} = \frac{v_{ок,н}}{v_{ос,н}} = \text{ctg} \alpha_n, \quad (3)$$

где $v_{ок,н}$ и $v_{ос,н}$ – соответственно окружная и средняя осевая скорости закрученной струи на выходе из сливного патрубка гидроциклона, м/с (рис.); α_n – угол закрутки на сливе гидроциклона, град.

Наибольшая интенсивность турбулентного режима движения потока имеет место на участке длиной l_k от слива гидроциклона (сечение 1-1, рис.) до сечения 2-2, где диаметр закрученной струи становится равным диаметру камеры слива, $d = d_0$. В сечении 2-2 окружная скорость на внешней границе закрученной струи $v_{ок,к} = 0$ вследствие касания с твердой стенкой камеры слива.

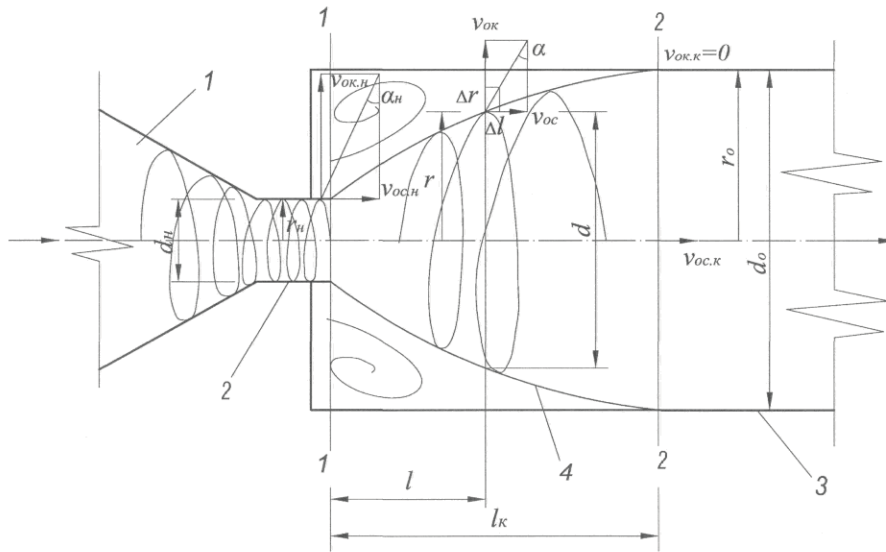


Рис. Расчетная схема входного участка камеры слива
1 – гидроциклон; 2 – сливной патрубок гидроциклона; 3 – трубчатая камера слива;
4 – внешняя граница закрученной струи НСВ

Уравнение баланса удельной энергии потока НСВ для сечений 1-1 и 2-2 при расположении осей гидроциклона и камеры слива в горизонтальной плоскости запишется следующим образом:

$$\frac{p_H}{\rho g} = \frac{v_{ос.н}^2 + v_{ок.н}^2}{2g} = \frac{p_K}{\rho} + \frac{v_{ос.к}^2}{2g} \left(\lambda \frac{l_K}{d_0} + \xi \right) \frac{v_K^2}{2g}, \quad (4)$$

где p_H и p_K – соответственно давления в сечениях 1-1 и 2-2, Па; ρ – плотность НСВ, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; $v_{ос.к}$ – средняя осевая скорость в сечении 2-2, м/с; λ – коэффициент гидравлического трения, зависящий от числа Рейнольдса, $\lambda = f(Re)$; ξ – коэффициент местных сопротивлений, учитывающий расширение струи и наличие возвратных потоков.

Местные потери напора $h_m = \frac{v_{ос.к}^2}{2g}$, в уравнении (4) вносят значительно больший

вклад в турбулизацию потока НСВ по сравнению с потерями по длине $h_{дл} = \lambda \frac{l_K}{d_0} \cdot \frac{v_{ос.к}^2}{2g}$

вследствие скачков диссипации энергии при возникновении обратных токов жидкости в различных точках расширяющейся закрученной струи. Высокие значения диссипации энергии, в свою очередь, способствуют интенсивному укрупнению капель нефти в НСВ и улучшению последующей очистки стоков отстаиванием.

Принимая $\Delta p = p_H - p_K$ с учетом соотношений $v_{ос.к}^2 = v_{ок.н}^2 \frac{d_H^4}{d_0^4}$ и $v_{ос.н}^2 = \theta_H \cdot v_{ос.к}^2$ (см.

формулу (3), получим выражение для определения местных потерь энергии на участке сливной камеры длиной l_K :

$$h_{i=} = \frac{\Delta d}{\rho g} + \frac{v_{ос.н}^2}{2g} \left(1 - \frac{d_H^4}{d_0^4} \right) + \frac{(\theta_H \cdot v_{ос.к})}{2g} + \lambda \frac{l_K}{d_0} \cdot \frac{v_{ос.н}^2}{2g} \frac{d_H^4}{d_0^4}, \quad (5)$$

Принимая во внимание, что второй член в правой части уравнения (5) представляет собой потери напора на внезапное расширение струи $h_{в.р.}$, в окончательном виде получим:

$$h_m = \frac{\Delta p}{\rho g} + h_{в.р.} + \frac{v_{ос.н}^2}{2g} \left(\theta_H^2 + \lambda \frac{l_K}{d_0} \cdot \frac{d_H^4}{d_0^4} \right), \quad (6)$$

Так как увеличение длины камеры слива до значений более, чем (1,3ч4,5) l_k нецелесообразно из-за отсутствия после сечения 2-2 (рис.) закрученного турбулизованного потока с высоким уровнем диссипации энергии, то нахождение величины l_k расчетным путем является весьма важной задачей.

Определение величины l_k связано с нахождением геометрии внешней границы закрученной струи на участке между сечениями 1-1 и 2-2. Тангенс угла наклона внешней границы струи в произвольном расчетном сечении (рис.) равен:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta l}{\Delta r} \approx \frac{dl}{dr}, \quad (7)$$

где r – радиус струи, м, $r = 0,5$.

Отношение $\frac{dl}{dr}$, в свою очередь, определяется соотношением осевой и окружной скоростей в данном сечении $\frac{v_{oc}}{v_{ок}}$.

В общем случае величина окружной скорости в любом расчетном сечении закрученной струи может быть найдена из выражения:

$$v_{ок} = v_{ок.н} \left(\frac{r_o - r}{r_o - r_n} \right)^n, \quad (8)$$

где r_n и r_o – соответственно радиусы сливного патрубка гидроциклона и камеры слива, м, $r_n = 0,5 d_n$, $r_o = 0,5 d_o$; n – показатель степени, $0 < n < 1$.

Осевая скорость в произвольном расчетном сечении:

$$v_{oc} = v_{ок.н} \frac{r_n^2}{r^2}. \quad (9)$$

С учетом соотношений (8) и (9) тангенс угла наклона внешней границы закрученной струи будет равен:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_{ок}}{v_{oc}} = \frac{v_{ок.н}}{v_{ок.н}} \cdot \frac{r_o^2}{r^2} \left(\frac{r_o - r}{r_o - r_n} \right)^{-n} = \frac{1}{\theta_n} \cdot \frac{r_o^2}{r^2} \left(\frac{r_o - r}{r_o - r_n} \right)^{-n}. \quad (10)$$

Разделяя переменные в формуле (7) и интегрируя в пределах от 0 до l_k и от r_n до r_o с учетом (10), получим:

$$l_k = \int_{r_n}^{r_o} \operatorname{tg} \alpha \cdot dr = \frac{(r_o - r_n)^n \cdot r_n^2}{\theta_n} \int_{r_n}^{r_o} \frac{(r_o - r)^{-n}}{r^2} \cdot dr. \quad (11)$$

Выражение $\int_{r_n}^{r_o} \frac{(r_o - r)^{-n} \cdot r_n^2}{r^2} \cdot dr$ является несобственным интегралом, поэтому его интегрирование возможно при фиксированных значениях n .

В результате интегрирования уравнения (11) при $n=0$ получим следующее выражение для нахождения расчетной длины участка камеры слива с наиболее интенсивной турбулизацией потока НСВ:

$$l_k = \frac{r_n^2}{\theta_n} \int_{r_n}^{r_o} \frac{(r_o - r)^0}{r} \cdot dr = \frac{r_n^2}{\theta_n} \left(\frac{-1}{r_o} + \frac{1}{r_n} \right). \quad (12)$$

При $n=1/3$ выражение для определения l_k запишется в виде:

$$l_k = \frac{(r_o - r_n)^{1/3} \cdot r_n^2}{\theta_n} \int_{r_n}^{r_o} \frac{1}{r^2 \sqrt[3]{r_o - r}} dr = \frac{(r_o - r_n)^{1/3} \cdot r_n^2}{\theta_n} \cdot \frac{-1}{18} \cdot \frac{\left(-6 \ln \left(-r_o^{1/3} \right) + 2 \ln(r_o) - \sqrt{3} \cdot \pi \right)}{r_o^{4/3}} +$$

$$\frac{1}{6} \cdot \left[\frac{6(r_o - r_n)^{2/3} \cdot r_o^{4/3} - 2 \ln \left[(r_o - r_n)^{1/3} \left| -r_o^{1/3} \right| \right] \cdot r_o \cdot r_n + \ln \left[(r_o - r_n)^{2/3} + (r_o - r_n)^{1/3} \cdot r_o^{1/3} - r_o^{2/3} \right] \cdot r_o \cdot r_n}{r_o^{7/3} r_n} \right] -$$

$$\frac{1}{6} \cdot \left[\frac{-2\sqrt{3} \cdot \arctg \left[\frac{1}{3} \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{2 \cdot (r_o - r_n)^{1/3} + r_o^{1/3}}{r_o^{1/3}} \right] \cdot r_o \cdot r_n}{r_o^{7/3} r_n} \right].$$

При известных величинах l_k и r_o находится значение объема сливной камеры, используемое для расчетов по определению диссипации энергии, а также оценивается величина местных потерь напора по формуле (6) при экспериментально определяемых Δp , $v_{ос-н}$ и θ_n .

Выводы

На основании теоретического анализа уравнения баланса энергии и геометрии внешней границы закрученной струи на сливе гидроциклона получены формулы для определения потерь напора в потоке НСВ и нахождения размеров камеры слива, позволяющие подобрать оптимальные условия для осуществления процесса интенсивной коалесценции нефтяных капель и повысить эффект последующей очистки стоков отстаиванием.

Список литературы

1. Адельшин А.Б. Интенсификация процессов гидродинамической очистки нефтесодержащих сточных вод. Дисс. в виде научного доклада на соискание ученой степени докт. техн. наук. – СПб., 1998. – 73 с.
2. Адельшин А.А. Моделирование процессов и разработка установок очистки нефтесодержащих сточных вод на основе использования закрученных потоков. Дис. канд. наук. – Пенза, 2009. – 181 с.
3. Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Урмитова Н.С. Гидродинамическая очистка нефтепромысловых сточных вод на основе применения закрученных потоков. Монография. – Казань: КГАСУ, 2011. – 246 с.
4. Адельшин А.Б., Адельшин А.А., Гришин Б.М., Камбург В.Г., Бикунова М.В. Исследование процессов очистки сточных вод нефтепромыслов с использованием закрученных потоков. // Известия КазГАСУ, 2010, № 1 (13). – С. 234-240.
5. Гунта А., Лилли Ф., Сайре Н. Закрученные потоки. – М.: Мир, 1987. – 588 с.
6. Жизняков В.В. Исследование гидродинамики закрученного потока в трубопроводах технологических аппаратов систем очистки воды: Дис. канд. техн. наук. – Горький, 1980. – 195 с.

Adelshin A.A. – candidate of technical sciences, associate professor

Adelshin A.B. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: a566pm@rambler.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Grishin B.M. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: bgrishin@rambler.ru

Koshcheev A.I. – doctor of chemical sciences, professor

Penza State University of Architecture and Construction

The organization address: 440028, Russia, Penza, Titov st., 28

Theoretical researches of the processing of oily wastewater in tubular drain cameras of hydrocyclones

Resume

Researches created technology of purification of the oil-field sewage (OFS), for their utilization in systems of flooding of oil layers. The technology provides preliminary destruction of reserving covers on oil drops, integration and reduction of polydispersion of drops of oil by hydrodynamic processing of initial OFS in the twirled streams.

As a part of the BGKO installation the hydrocyclone serves for receiving the twirled stream in cameras drains and preliminary hydrodynamic processing of OFS, and as a whole "a hydrocyclone – camera drains (HCD) – for destruction of the stabilized particles of the impurity, reserving covers of oil drops both to their coalescence and reduction of polydispersion of drops of oil.

After a hydrocyclone in camera drains it hydrodynamic processing of OFS consistently in all areas of the turbulent twirled stream is carried out.

On the basis of the theoretical analysis of the equation of balance of energy and geometry of external border of the twirled stream on hydroclone drain, formulas for definition of losses of a pressure in a stream of OFS and finding of the sizes of the camera, allowing to pick up optimum conditions for implementation of process of an intensive coalescence of oil drops and to increase effect of the subsequent cleaning of drains upholding are received.

Keywords: oil-field sewage, hydrocyclone, chamber drains, swirling streams, setting tank, the inverting contact weight, coalescence, water purification, loss of pressure, hydrodynamic processing, the filter.

References

1. Adelshin A.B. The intensification of processes of oilfield wastewater hydrodynamic purification / Doctor of technical sciences dissertation. – SPb., 1998. – 73 p.
2. Adelshin A.A. Modeling of processes and working out of installations of oilfield wastewater purification on the basis of swirling streams usage: Cand. tech. sci. dissertation. – Penza, 2009. – 181 p.
3. Adelshin A.A., Adelshin A.B. Urmitova N.S. Hydrodynamic purification of oilfield wastewater on the basis of swirling flows usage. Monography. – Kazan: KSUAE, 2011. – 245 p.
4. Adelshin A.B., Adelshin A.A., Grishin B.M., Kamburg V.G., Bikunova M.V. Investigations of oilfields waste water purification based on vortex flows. // News of the KSUAE, 2010, № 1 (13). – P. 234-240.
5. Gunta A. Swirling flows. – M.: World, 1987. – 588 p.
6. Jiznyakov V.V. research of hydrodynamic swirling flow in a pipelines of technological devices water cleaning systems. Cand. of tech. sc. diss.. – Gorky, 1980. – 195 p.