

Н. Д. Минченков (магистрант), С. К. Чуракова (д.т.н., проф.)

РАЗРАБОТКА УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПОЛЫХ ГАЗО-ЖИДКОСТНЫХ СЕПАРАТОРОВ

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
кафедра нефтехимии и химической технологии
450064, г. Уфа, ул. Космонавтов 1; e-mail: nminch02@mail.ru

N. D. Minchenkov, S. K. Churakova

DEVELOPMENT OF AN IMPROVED CALCULATION METHOD FOR HOLLOW HORIZONTAL GAS-LIQUID SEPARATORS

Ufa State Petroleum Technological University
1, Kosmonavtov Str., 450064, Ufa, Russia; e-mail: nminch02@mail.ru

Разделение газо-жидкостных систем под действием силы тяжести осуществляется в гравитационных сепараторах, которые при достаточно высокой эффективности конструктивно проще, а также создают меньший перепад давления по сравнению с циклонными сепараторами. Отечественные и зарубежные методики расчета горизонтальных полых газо-жидкостных сепараторов характеризуются применимостью к определенным режимам осаждения, излишним упрощением применяемых моделей и сложностью при автоматизации расчетов. В настоящей работе на основании теории осаждения и описании геометрии круглого сечения горизонтального газо-жидкостного сепаратора разработана методика, в которой процесс осаждения капли описывается универсальным критериальным уравнением, а также учитывается степень заполнения аппарата жидкостью, влияющая на высоту осаждения капли. Представленная методика позволяет определить произведение длины сепарационной зоны на радиус сепаратора, и на основании этого подобрать типовой аппарат. Использование этой универсальной методики повышает надежность проектирования аппаратов и их последующей работы.

Ключевые слова: газо-жидкостные сепараторы; горизонтальные сепараторы; двухфазные сепараторы; диаметр капель; дисперсные системы; обобщенное критериальное уравнение осаждения; осаждение; полые сепараторы; режим осаждения.

Процессы разделения дисперсных систем широко распространены в различных областях промышленности, в частности, в нефтегазодобыче и нефтегазопереработке¹. Необходимость качественного и количественного разделения фаз объясня-

Separation of gas-liquid systems under the influence of gravity is carried out in gravity separators, which, with sufficiently high efficiency, are structurally simpler and also create a lower pressure drop compared to cyclone separators. There are various domestic and foreign methods for calculating horizontal hollow gas-liquid separators. They have such disadvantages as: applicability only to certain deposition modes; excessive simplification of the applied models; difficulty in automating these calculations, etc. The identification of these shortcomings made it possible, based on the theory of deposition and the description of the geometry of the circular section of a horizontal gas-liquid separator, to develop a methodology in which the process of droplet deposition is described by a universal criterion equation, and the degree of filling of the apparatus with liquid, affecting the height of droplet deposition, is also taken into account. The obtained technique makes it possible to determine the product of the length of the separation zone by the separator radius, and based on this, select a typical device. The development of a new universal technique increases the reliability of the design of devices and their subsequent operation.

Key words: deposition; deposition mode; dispersed systems; droplet diameter; gas-liquid separators; generalized criterion equation of deposition; hollow separators; horizontal separators; two-phase separators.

ется необходимостью организации их отдельного движения по заранее заданной модели, необходимостью получения продуктов с определенным компонентным составом, негативным воздействием дисперсной фазы на технологическое оборудование, в котором движется дисперсионная среда, и т.д.

Дата поступления 18.12.24

Дисперсные системы классифицируются по агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды ², по кинетическим свойствам дисперсной фазы и по степени дисперсности. В нефтегазодобыче большое значение имеет разделение газожидкостных дисперсных систем – в частности отделение капель жидкости от потока газа. Разделение подобных систем также является важным этапом многих процессов химической технологии в силу широкой распространенности процессов, проходящих с участием пара и жидкости. В связи с этим представляет интерес изучение и анализ методов расчета оборудования, предназначенного для разделения газо-жидкостных дисперсных систем.

Материалы и методы

Разнообразие способов разделения дисперсных систем, отличающихся природой движущей силы процесса, обуславливает разнообразие вариантов их аппаратного оформления. Несмотря на известные достоинства циклонов ³, в которых разделение происходит под действием центробежной силы, а также коалесцирующих ^{4, 5} и каплеотбойных устройств ⁶, полые гравитационные сепараторы остаются наиболее распространенным типом устройств для отделения капель жидкости от потока газа по причине наименьших затрат на изготовление данных аппаратов и их достаточно высокой эффективности, позволяющей отделять до 95% жидкости, содержащейся в исходном двухфазном потоке ⁷.

Согласно международному стандарту ⁸, полые гравитационные сепараторы классифицируются по расположению корпуса и способу организации ввода и вывода фаз. Горизонтальные сепараторы, в которых исходный поток поступает в один конец, а очищенный газ выводится с другого конца, являются очень распространенным вариантом исполнения данного типа аппаратов.

Отечественные и зарубежные методики расчета основных геометрических размеров данных сепараторов допускают неточности модели, что снижает адекватность расчетов и создает риски при сооружении реальных аппаратов.

В ⁸ условие эффективного осаждения частиц дисперсной фазы выражается формулой (1), которая представляет собой неравенство времени осаждения и времени пребывания потока в аппарате:

$$\frac{H_{oc}}{w_{oc}} \leq \frac{L}{w}, \quad (1)$$

где H_{oc} – высота осаждения, м;
 L – длина сепарационной зоны, м;
 w – горизонтальная скорость потока, м/с;
 w_{oc} – скорость осаждения частицы, м/с.

Скорость осаждения предлагается определять по формуле (2):

$$w_{oc} = 1.15 \cdot \sqrt{\frac{gd(\rho_{ж} - \rho_{г})}{\rho_{г} \cdot C}}, \quad (2)$$

где C – коэффициент сопротивления, обозначаемый в русскоязычной литературе как ζ и определяемый в данном международном стандарте по графику зависимости коэффициента сопротивления от произведения $C \cdot Re^2$;

$\rho_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м³;
 $\rho_{г}$ – плотность сплошной среды (газа), кг/м³;
 d – диаметр капель жидкости, м.

Произведение C на квадрат критерия Рейнольдса вычисляется в данном стандарте по формуле (3):

$$C Re^2 = \frac{0.13 \cdot 10^8 \cdot \rho_{г} \cdot d^3 \cdot (\rho_{ж} - \rho_{г})}{\mu^2}, \quad (3)$$

где μ – динамическая вязкость газа, мПа·с.

Данная методика имеет несколько существенных недостатков. Во-первых, нарушена сама логика расчета: найдя значение произведения $C \cdot Re^2$, и определив по графику зависящий от него коэффициент C , можно выразить критерий Рейнольдса из произведения $C \cdot Re^2$ и рассчитать скорость осаждения через формулу данного критерия. В этом случае теряется смысл использования формулы (2). Во-вторых, известны различные критериальные уравнения, связывающие критерий Рейнольдса для осаждающейся частицы с критерием Архимеда, например универсальное критериальное уравнение для всех режимов осаждения (4):

$$Re = \frac{Ar}{18 + 0.575 \sqrt{Ar}}. \quad (4)$$

Фактически коэффициенты данного критериального уравнения несколько отличаются для различных режимов осаждения ⁹, чем зачастую пренебрегают в технических расчетах. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления для всех режимов осаждения также может быть описана аппроксимационными выражениями. В работах ^{10, 11} приводятся полиномиальные формулы для расчета коэффициента гидравлического сопротивления при различных режимах осаждения, содержащие в себе три слагаемых, каждое из которых соответственно описывает ламинарный, переходный и турбулентный автомодельный режим.

В свою очередь, способ расчета коэффициента сопротивления, изложенный в международном стандарте ⁸ и связанный с определением данной величины по графику, исключает возможность

реализации простого автоматизированного расчета и закладывает в данный расчет субъективную погрешность.

Советскими и российскими научно-исследовательскими и проектными организациями также разработаны методики для расчета полых газожидкостных сепараторов.

В инструктивных указаниях Гипрокаучука №11 от 23 марта 1964 года ¹² были представлены методики по расчету гравитационных полых горизонтальных и вертикальных сепараторов, а также сепараторов с каплеотбойной насадкой. Допустимая скорость газа в полном сепараторе по этой методике определяется по формуле

$$w = A_1 \cdot \sqrt{\frac{\rho_{ж} - \rho_{г}}{\rho_{г}}}, \quad (5)$$

где A_1 – коэффициент, определяемый конструкцией аппарата и требуемой степенью сепарации. Значения коэффициента A_1 задаются в табличном виде для грубой, средней и четкой степеней сепарации в вертикальном сепараторе с высотой зоны осаждения 0.6 м и горизонтальном сепараторе с длиной зоны осаждения 3 м.

Наибольшая производительность аппарата будет достигаться при равенстве времени осаждения и времени пребывания. Из этого можно выразить линейную скорость газа:

$$w = \frac{L}{H_{ос}} w_{ос}. \quad (6)$$

Скорость осаждения сферической частицы (капли) в сплошной среде определяется по выражению:

$$w_{ос} = \sqrt{\frac{4gd(\rho_{ж} - \rho_{г})}{3\zeta\rho_{г}}}. \quad (7)$$

Приравнявая линейные скорости потока в сепараторе по формулам (5) и (6) и подставляя в формулу (6) выражение (7) для скорости осаждения, можно выразить коэффициент A_1 :

$$A_1 = \frac{L}{H_{ос}} \sqrt{\frac{4gd}{3\zeta}}. \quad (8)$$

Из формулы следует, что этот коэффициент зависит от длины зоны осаждения, высоты осаждения (которая зависит от диаметра и степени заполнения объема сепаратора жидкостью), диаметра капель жидкости и коэффициента гидравлического сопротивления, который в свою очередь зависит от режима осаждения, то есть, от самой скорости. Формула, аналогичная (5), приводится в ¹⁰, где рассматривается конструирование и расчет полых сепараторов и сепараторов с внутренними устройствами, и где коэффициент A_1 , обозначенный K и рассчитываемый для каплеотбой-

ных пластин, называется коэффициентом Соудерса-Брауна. Отмечается, что данный коэффициент определяется экспериментально для каждого устройства и зависит от его геометрии, что и следует из полученных выражений. В ¹³ говорится о применении этой формулы при расчетах различных видов сепараторов и указывается, что данный коэффициент зависит от уровня жидкости, вязкости газа и жидкости, давления газа и поверхностного натяжения жидкости. Это согласуется с выводами, полученными при составлении неравенства времени осаждения и времени пребывания газа в сепараторе и выведении формулы (8). Действительно, уровень жидкости в данной формуле косвенно заложен в высоте осаждения, вязкость и давление газа влияют на коэффициент гидравлического сопротивления, зависящий от критерия Рейнольдса, а поверхностное натяжение сказывается на диаметре образующихся капель.

В статье ¹⁴ также приводится формула для коэффициента Соудерса-Брауна, однако в ней отсутствует множитель, равный отношению длины зоны осаждения к высоте осаждения.

В работе ¹⁵ отмечается, что метод расчета максимальной скорости движения газа в сепараторе с использованием коэффициента Соудерса-Брауна применим для области осаждения, соответствующей развитому турбулентному режиму, что накладывает ограничения на применимость данной методики и делает ее менее универсальной. Из выражения для коэффициента A_1 понятно также, что он является непрерывной величиной, и представление его значений в табличном виде и в ограниченном количестве вариантов изначально закладывает большее или меньшее отклонение от реальности для каждого отдельного случая. В инструктивных указаниях Гипрокаучука задаются значения коэффициентов A_1 для разных степеней очистки в горизонтальном сепараторе с длиной зоны осаждения 3 м. Это значит, что основная задача проектирования сепаратора – определение его длины и диаметра, не решается, поскольку в данной методике предполагается изначально установление длины аппарата в 3 м, а диаметр, который должен быть рассчитан, предопределяется заданием численного значения коэффициента Соудерса-Брауна, в котором он косвенно фигурирует в виде высоты осаждения. Также в указанной методике ничего не сказано про степень заполнения аппарата жидкостью, от которой зависит высота осаждения, и про минимальный диаметр капель, которые могут быть уловлены в данном сепараторе, что делает определение размеров аппарата по данной методике малообоснованным. Качественная, но не количественная характеристика

тика степени сепарации также создает значительную неопределенность при проектировании.

В некоторых отечественных методиках отмечается, что степень заполнения сепаратора жидкостью при расчетах принимается равной 0.5. Это делает расчет удобным, поскольку в этом случае высота осаждения равна радиусу аппарата, однако это же ограничивает область применения данной методики, поскольку не всегда уровень жидкости в горизонтальном сепараторе поддерживается на таком значении.

Результаты и их обсуждение

Обзор различных методик по расчету горизонтальных полых газо-жидкостных сепараторов показывает, что данным методикам присущи такие недостатки, как ограниченность области применения по причине использования зависимостей, справедливых лишь при определенном режиме осаждения или определенном уровне жидкости в аппарате, а также нарушение логики расчета, заключающееся в том, что параметры, которые должны быть вычислены, косвенно задаются на начальном этапе расчета в виде обобщенных коэффициентов, адекватное определение которых является весьма непростой задачей. В связи с этим была разработана методика расчета горизонтальных газо-жидкостных сепараторов, в которой устранены указанные недостатки.

Описание работы сепаратора при всех режимах осаждения становится возможным благодаря использованию обобщенного критериального уравнения (4), связывающего критерий Рейнольдса при осаждении частицы (капли) с критерием Архимеда. Из данного уравнения может быть выражена скорость осаждения:

$$w_{oc} = \frac{\mu}{d \cdot \rho_z} \cdot \frac{Ar}{18 + 0.575\sqrt{Ar}}. \quad (9)$$

Из этого уравнения следует, что для расчета скорости осаждения необходимо иметь данные о плотностях жидкости и газа, вязкости газа и наименьшем диаметре капель жидкости, которые должны быть уловлены в данном сепараторе. Форма капель в первом приближении принимается сферической. Зная составы пара и жидкости, а также параметры технологического процесса, определить плотности и вязкости сред можно в пакетах прикладных программ с заложенными базами данных свойств веществ, таких как Aspen HYSYS.

Для установления влияния уровня жидкости в сепараторе на процесс осаждения необходимо рассмотреть геометрию круглого сечения аппарата (рис. 1).

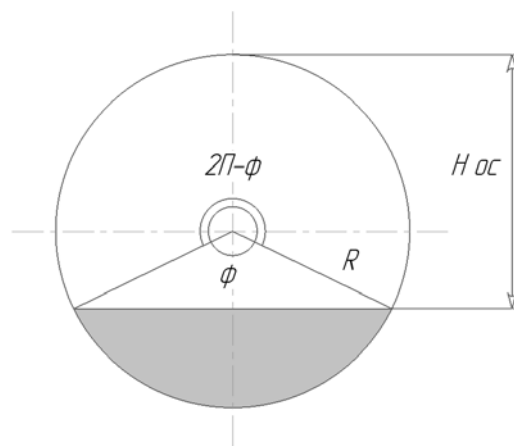


Рис. 1. Сечение горизонтального полого сепаратора

Как правило, степень заполнения двухфазного газо-жидкостного сепаратора жидкостью не превышает половины его объема. Пусть степень заполнения сепаратора жидкостью равна x . В случае горизонтального цилиндрического сепаратора, пренебрегая сферичностью днищ, можем приближенно считать, что степень заполнения объема сепаратора равна доле площади закрашенного сегмента круга.

В этом случае площадь круга складывается из площади сектора с углом $2\pi - \varphi$, площади равнобедренного треугольника с углом φ и сегмента, площадь которого равна произведению площади круга на степень заполнения. При группировке слагаемых и сокращении получается:

$$x\pi = \frac{\varphi}{2} - \frac{\sin \varphi}{2}. \quad (10)$$

Когда известна степень заполнения x , угол φ может быть найден численными методами решения нелинейных уравнений. В этом случае высота осаждения составит:

$$H_{oc} = R + R \cdot \cos \frac{\varphi}{2} = R \cdot \left(1 + \cos \frac{\varphi}{2}\right). \quad (11)$$

В том случае, если по каким-то причинам степень заполнения оказывается больше 0.5, формулы для расчета высоты осаждения могут быть получены из аналогичной модели.

Таким образом, методика расчета горизонтального газо-жидкостного сепаратора, для которого задан массовый часовой расход газа G , сводится к следующему:

1. Определяется критерий Архимеда для частиц наименьшего диаметра, которые должны быть уловлены:

$$Ar = \frac{gd^3 \rho_z (\rho_{ж} - \rho_z)}{\mu^2}. \quad (12)$$

2. Рассчитывается скорость осаждения по универсальному критериальному уравнению (9).

3. Для выполнения условия максимальной производительности сепаратора время прохождения газа через свободное сечение сепаратора приравнивается к времени осаждения капель жидкости:

$$\frac{L \cdot 3600 \cdot \rho_z \cdot (1-x) \cdot \pi R^2}{G} = \frac{R \cdot \left(1 + \cos \frac{\varphi(x)}{2}\right)}{w_{oc}}, \quad (13)$$

где φ определяется из функции неявного вида:

$$\varphi(x): \quad x\pi = \frac{\varphi}{2} - \frac{\sin \varphi}{2}. \quad (14)$$

При сокращении получается:

$$L \cdot R = \frac{G \cdot \left(1 + \cos \frac{\varphi(x)}{2}\right)}{3600 \cdot \rho_z \cdot (1-x) \cdot \pi \cdot w_{oc}}, \quad (15)$$

Произведение радиуса цилиндра на его длину пропорционально площади цилиндрической поверхности, равной $2\pi LR$, а также площади поверхности зеркала жидкости, равной $2LR \sin(\varphi/2)$. При этом площадь поверхности жидкости является той площадью, на которую оседают капли из газовой фазы. В этом прослеживается аналогия с расчетом отстойников, действие которых основано на тех же законах и подчиняется тем же принципам, для которых производительность и площадь поверхности осаждения линейно связаны.

4. Задавшись определенным отношением длины к диаметру, можно определить длину и диаметр горизонтального цилиндрического полого сепаратора.

Литература

1. Воробьева С.В. Разделение высококонцентрированных дисперсных систем в технологиях регенерации нефтешламов, обезвоживания осадков и обращения с отходами // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2004. – №2(44). – С.96-102.
2. Артемьева И.Л., Рябченко Н.В. Модель онтологии дисперсных систем и их классов // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – №2(14). – С.112-119.
3. Ильичев В. В. Выбор устройств для улавливания пыли в зависимости от условий их функционирования // Вестник НГИЭИ. – 2014. – №10(41). – С.73-81.
4. Патент №2652217 С2 РФ. Коалесцирующий фильтр / Де Вульф, Э. Бултинк, Д. Воутерс, К. Горис // Оpubл. 25.04.2018.
5. Патент №2456086 С2 РФ. Центробежное коалесцирующее устройство / В.А. Крюков, Е.С. Шаньгин, А.В. Шеметов // Оpubл. 20.07.2012.

Целесообразно также закладывать некоторый запас по длине на случай запланированного увеличения производительности или внепланового скачка подачи загрязненного газа. После определения длины и диаметра по каталогам типовых конструкций сепараторов подбирается вариант с ближайшими подходящими размерами. В целом при проектировании данных аппаратов стоит учитывать, что общая площадь поверхности горизонтального цилиндрического сепаратора складывается из площади цилиндрической обечайки и площадей двух сферических днищ. Площадь обечайки равна $2\pi LR$, при этом произведение LR , при котором будет обеспечиваться заданное качество очистки, находится по формуле (15) и отвечает множеству конструкций. Следовательно, различие капитальных затрат на сооружение корпусов двух горизонтальных цилиндрических сепараторов с одинаковой площадью цилиндрической обечайки определяется площадью сферических днищ, которая зависит от диаметра. Это означает, что для минимизации затрат металла на постройку аппарата целесообразно выбирать конструкцию с меньшим диаметром, которая при этом обеспечивает заданное качество очистки.

Таким образом, разработанная и изложенная данной работе методика исключает недостатки, обнаруженные в других методиках. Учет влияния физических свойств газа и жидкости, диаметра капель, а также геометрии самого аппарата на процесс осаждения делает предлагаемую методику более надежной и повышает ее адекватность реальному процессу, что положительно сказывается на проектировании и последующей работе горизонтальных газо-жидкостных сепараторов.

References

1. Vorob'eva S.V. *Razdelenie vysokokontsentririrovannykh dispersnykh sistem v tekhnologiyakh regeneratsii nefteshlamov, obezvozhivaniya osadkov i obrashcheniya s otkhodami* [Separation of highly concentrated dispersed systems in technologies of oil sludge regeneration, sludge dewatering and waste management]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Neft' i gaz* [News of higher educational institutions. Oil and gas], 2004, no.2(44), pp.96-102.
2. Artem'eva I.L. *Model' ontologii dispersnykh sistem i ikh klassov* [Model of ontology of disperse systems and their classes]. *Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii* [Educational resources and technologies], 2016, no.2(14), pp.112-119.
3. Il'ichev V.V. *Vybor ustroystv dlya ulavlivaniya pyli v zavisimosti ot usloviy ikh funktsionirovaniya* [Selection of dust collection devices depending on their operating conditions]. *Vestnik NGIEI* [Bulletin NGIEI], 2014, no.10(41), pp.73-81.
4. De Vul'f I., Bultink E., Vouters D., Goris K. *Koalest-siruiushchiy fil'tr* [Coalescing filter]. Patent RF, no.2652217, 2014.

6. Лутошкин Г.С. Сбор и подготовка нефти, газа и воды. – М.: Недра, 1974. – 184 с.
7. Электронный ресурс <https://z-lib.gl/book/3020311/dbf758/liquidliquid-and-gasliquidliquid-separators-type-selection-and-design-rules.html?dsource=recommend> Дата обращения: 25.12.2024
8. Электронный ресурс <https://iteh-standards.uc.r.appspot.com/catalog/standards/iso/1958f2f9-7fd0-4907-9435-1b56e1c8e4da/iso-23251-2019> Дата обращения: 25.12.2024
9. Михалев М.А. Скорость свободного движения плохообтекаемых тел в жидкости // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – №2(28). – С.56-60.
10. Stewart M., Arnold K. Gas-liquid and Liquid-liquid Separators. – Gulf Professional Publishing, 2008. – 240 p.
11. Kondrat'ev A.S., Naumova E.A. Calculation of the velocity of free settling of solid particles in a Newtonian liquid // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2003. – V.37, №6. – Pp.606-612.
12. Электронный ресурс <https://m.eruditor.one/file/1766627/>. Дата обращения: 20.12.2024.
13. Электронный ресурс https://www.mcilvaine.com/Decision_Tree/subscriber/Tree/DescriptionTextLinks/Sulzer%20Gas_Liquid_Separation_Technology.pdf. Дата обращения: 26.12.2024
14. Svrcek W.Y., Monnery W.D. Design two-phase separators within the right limits // Chemical Engineering Progress. – 1993. – V.9. – Pp.53-60.
15. Bothamley M., Campbell J. M. Gas/Liquids Separators – Part 2 // Quantifying Separation Performance, Oil and Gas Facilities. – 2013. – V.2, №5. – Pp.35-47.
5. Kryukov V.A., Shan'gin E.S., Shemetov A.V. Tsentrobezhnoe koalestsiruiushchee ustroystvo [Centrifugal coalescing device]. Patent RF, no. 2456086, 2012.
6. Lutoshkin G.S. Sbor i podgotovka nefiti, gaza i vody [Collection and preparation of oil, gas and water] Moscow, «Nedra» Publ., 1974, 184 p.
7. <https://z-lib.gl/book/3020311/dbf758/liquidliquid-and-gasliquidliquid-separators-type-selection-and-design-rules.html?dsource=recommend>
8. <https://iteh-standards.uc.r.appspot.com/catalog/standards/iso/1958f2f9-7fd0-4907-9435-1b56e1c8e4da/iso-23251-2019>
9. Mikhalev M.A. *Skorost' svobodnogo dvizheniya plokhooobtekaemykh tel v zhidkosti* [Speed of free motion of poorly streamlined bodies in a liquid]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal* [Engineering and construction journal], 2012. no.2(28), pp.56-60.
10. Stewart M., Arnold K. [Gas-liquid and Liquid-liquid Separators]. Gulf Professional Publ., 2008. 240 p.
11. Kondrat'ev A.S. [Calculation of the velocity of free settling of solid particles in a Newtonian liquid]. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2003, vol.37, no.6, pp.606-612.
12. <https://m.eruditor.one/file/1766627/>
13. https://www.mcilvaine.com/Decision_Tree/subscriber/Tree/DescriptionTextLinks/Sulzer%20Gas_Liquid_Separation_Technology.pdf
14. Svrcek W.Y., Monnery W.D. [Design two-phase separators within the right limits]. *Chemical Engineering Progress*, 1993, vol.9, pp.53-60.
15. Bothamley M., Campbell J.M. [Gas/Liquids Separators – Part 2]. *Quantifying Separation Performance, Oil and Gas Facilities*, 2013, vol.2, no.5, pp.35-47.