

Секция 2. Процессы и аппараты технологической и санитарной очистки пылегазовых смесей

РАЗРАБОТКА ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОГО ВИХРЕВОГО ПЫЛЕГАЗОРАЗДЕЛИТЕЛЯ

Алексеев В.В., Филимонов А.Н.

Казанский национальный исследовательский технологический университет.

E-mail: valexeevtt@mail.ru

В настоящее время для разделения пылегазовых систем нашли применение высокопроизводительные противоточные циклоны [1-4]. Циклоны – это устройства для отделения твердых частиц от газа; центробежные пылеуловители, конструктивные элементы которых обеспечивают вращательно-поступательное движение газового потока. Принцип действия циклонов основан на использовании центробежной силы, возникающей при вращательно-поступательном движении газового потока. Циклоны могут применяться для очистки газов от нескольких сотен до сотен тысяч кубометров в час [2, 4]. В работе показано возможное повышение эффективности пылеулавливания противоточных циклонов за счет выбора оптимальных конструктивных параметров и режимов движения очищаемой пылегазовой смеси. На кафедре машин и аппаратов химических производств КНИТУ разработан вихревой пылегазоразделитель (ВПГР), который лишен недостатков, присущих противоточным циклонам [6, 7]. Высокая эффективность пылеулавливания в таком аппарате достигается за счет раздельной организации движения, закрученного нисходящего очищаемого потока в винтовом канале и очищенного восходящего – в выхлопной (выходной) трубе. Сепарация пыли осуществляется последовательно во входной зоне и двух зонах винтового канала. Окончательное разделение пыли происходит в бункере (сборнике пыли).

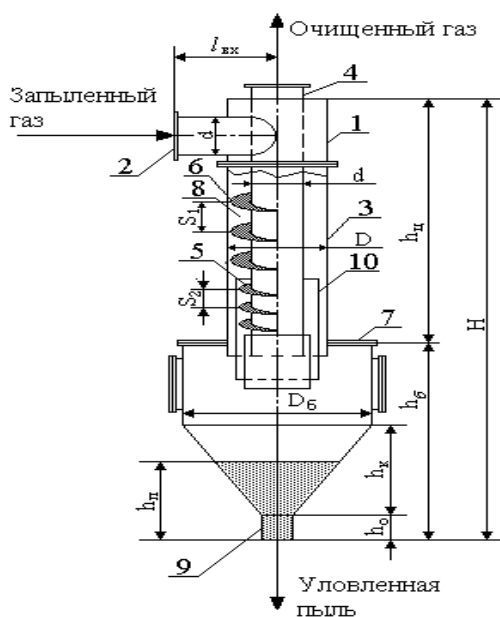


Рисунок. Вихревой пылегазоразделитель

Принцип работы аппарата основан на сухом центробежном улавливании пыли. Запыленный газ по тангенциальному патрубку 2 поступает в приемную камеру 1, в которой организуется предварительное пылеулавливание. Совершая вращательно-поступательное движение, поток газа безударно входит в спирально-винтовой канал 8, в котором осуществляется основное пылеулавливание. Под действием центробежной силы частицы пыли осаждаются на стенке корпуса 3, а под действием

собственной силы тяжести и осевой составляющей скорости потока движутся по стенке корпуса в виде кольцевого слоя в направлении пылесборника 7. Для обеспечения безударного входа в спирально-винтовой канал, аэродинамическая структура потока входной зоны должна быть согласована с аэродинамической структурой потока спирально-винтового канала. Главным параметром согласования является начальный угол закрутки спирально-винтового канала. Шаг S_1 спирально-винтового канала выбирается из условия создания большей центробежной силы, чем во входной зоне пылеулавливания, что позволит улавливать в этой зоне более мелкие частицы пыли.

Для разделения концентрированного пылегазового потока от очищенного во второй зоне пылеулавливания применяется цилиндрическая вставка 10. Очистка пылегазового потока во второй зоне происходит за счет большей центробежной силы, чем центробежная сила, создаваемая в предыдущей зоне. Это достигается за счет выбора параметра шага S_2 . Процесс разделения менее концентрированного пылегазового потока в этой зоне осуществляется аналогично процессу центробежного пылеулавливания предыдущей зоны. Окончательное отделение пыли от газа осуществляется в пылесбор-

нике 7 за счет инерционно-центробежных сил. Пыль осаждается в бункере, а очищенный газ, изменяя направление движения на противоположное, восходящим потоком движется в выхлопной трубе 4, и удаляется из аппарата через раскручивающее устройство (на рисунке не показано).

Геометрические параметры входной зоны пылеулавливания были рассчитаны по интегральному входному параметру крутки [8-10]:

$$\theta_{\text{вх}} = \bar{R}_{\text{вх}} / K_T, \quad (1)$$

где $\bar{R}_{\text{вх}} = 2R_{\text{вх}} / D = 1 - \bar{d}$ - относительный радиус входного момента количества движения; $K_T = F_{\text{вх}} / F_K$ - коэффициент крутки потока (относительная площадь входа); $F_{\text{вх}} = \pi \cdot d_1^2 / 4$ - площадь цилиндрического входного патрубка; $F_K = (\pi / 4) \cdot (D^2 - d^2)$ - площадь кольцевого канала; $\bar{d} = d / D$ - относительный диаметр выхлопной трубы (кольцевой параметр); D - диаметр аппарата, м; d_1 и d - внутренний и наружный диаметры входного патрубка и выхлопной трубы.

Скорости движения газа во входном патрубке $V_{\text{вх}}$ принимались от 15 до 25 м/с.

Геометрические параметры аппарата в винтовом закручивающем устройстве (ВЗУ) определялись по интегральному параметру крутки ВЗУ:

$$\theta_{\text{вх.в}} = \text{tg} \varphi_{\text{ср}} \cdot \left(1 + \bar{d}^2 \right) / \left(1 + \bar{d} \right), \quad (2)$$

где $\varphi_{\text{ср}}$ - средний угол закрутки потока в ВЗУ.

Приняв, что параметр крутки потока на входе $\theta_{\text{вх}}$ численно равен параметру крутки ВЗУ $\theta_{\text{вх.в}}$, был определен средний угол закрутки $\varphi_{\text{ср}}$:

$$\varphi_{\text{ср}} = \arctg \left[\theta_{\text{вх}} \cdot \left(1 + \bar{d} \right) / \left(1 + \bar{d}^2 \right) \right], \quad (3)$$

Шаг однозаходного ВЗУ S был определен по выражению:

$$S = (\pi \cdot d_{\text{ср}}) / \text{tg} \varphi_{\text{ср}}, \quad (4)$$

где $d_{\text{ср}} = (D + d) / 2$ - средний диаметр канала ВЗУ.

Скорость движения газа в винтовом закручивающем устройстве $V_{\text{в}}$, м/с определялась по выражению:

$$V_{\text{в}} = V_{\text{вх}} \cdot F_{\text{вх}} / F_{\text{в}}, \quad (5)$$

где $F_{\text{в}} = S \cdot \sin \varphi_{\text{ср}} \cdot (D - d) / 2$ - площадь поперечного сечения канала ВЗУ, м².

Тангенциальная ($V_{\varphi\text{в}}$) и осевая ($V_{\text{хв}}$) составляющие скорости движения газа в канале ВЗУ, м/с определялись по выражениям:

$$V_{\varphi\text{в}} = V_{\text{в}} \cdot \sin \varphi_{\text{ср}}, \quad (6)$$

$$V_{\text{хв}} = V_{\text{в}} \cdot \cos \varphi_{\text{ср}}. \quad (7)$$

Уравнения (2) - (7) были использованы для расчета конструктивных и режимных параметров в основной и дополнительной зонах пылеулавливания, организованных винтовыми закручивающими устройствами.

Для сравнительной характеристики ВПГР с аппаратами подобного типа в качестве модельной была принята система: воздух, содержащий пыль, выделяющуюся при сушке калийного удобрения в трубе-сушилке, дисперсный состав пыли приведен в табл. 1.

Плотность частиц пыли $\rho = 2050 \text{ кг/м}^3$. Исходная концентрация пыли в воздухе на входе в аппарат $C_{\text{н}} = 0,14 \text{ кг/м}^3$.

Табл. 1. Дисперсный (массовый) состав исследованной пыли в мкм

Мкм	≤0,8	1,6	2,5	4	6,3	10	16	25	≥ 40
% масс.	7,3	3,7	5	8	9	11	14	16	27

При расчете d_{min} и η в сравниваемых аппаратах принята одинаковая тангенциальная составляющая скорости движения потока в зоне сепарации, равная 15 м/с.

На кафедре машин и аппаратов химических производств разработан опытно-промышленный ВПГР (диаметр $D = 0,62$ м, диаметр входного патрубка равен диаметру выхлопной трубы $d = 0,219$ м, диаметр пылесборника (бункера) $D_6 = 0,92$ м), предназначенный для сухого центробежного пылеулавливания твердой неслипающейся пыли с размерами частиц более 3-5 мкм.

Отсутствие условий для забивания исследуемого аппарата пылью повышает эксплуатационную надежность и позволяет рекомендовать его в заводскую практику для сухого центробежного пылеулавливания.

Данные сравнительной характеристики по минимальному диаметру частиц пыли $d_{\min}$, мкм и эффективности пылеулавливания в аппаратах различных конструкций [1-8] η , % приведены в табл. 2.

Табл. 2. Сравнительные характеристики циклонов, циклонных камер и ВПГР

Аппарат	$d_{\min}$, мкм	η , %
СК – ЦН - 34М	2,12	92,1
ВПГР	2,66	90,44
ЦН - 11	13,56	64,87
Бреннера	15,30	62,9
ВТИ	15,60	62,67
ЦН - 15	15,90	62,45
ЦН - 15у	15,90	62,45
НИОГАЗ	16,6	60,75
ЦН - 24	17,1	59,52
Стейрманда	17,6	58,4
СК – ЦН - 34	18	57,5
ЦККБ	18,6	56,4
Дж. Перри	18,6	56,35
Прямоточный циклон	23,5	49,87
СДК - ЦН-33	28,7	42,3

Анализ табл. 2 показывает, что разработанный аппарат [9-10] обладает достаточно высокой эффективностью пылеулавливания и может конкурировать с высокоэффективными противоточными циклонами типа СК-ЦН [1-4].

Образец данного аппарата смонтирован в цехе № 14 Казанского АО "Казанькомпрессормаш", где проводились опытно-промышленные исследования и получены заводские данные, подтверждающие эффективность его работы.

Литература

- [1] Ужов В.Н., Вальдберг А.Ю., Мягков Б.И., Решидов И.К. Очистка промышленных газов от пыли. – М.: Химия, 1981. – 396 с.
- [2] Справочник по пыле- и золоулавливанию / Биргер М.И., Вальдберг А.Ю., Мягков Б.И. и др.; Под общ. ред. Русанова А.А. 2-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 312 с.
- [3] Коузов П.А., Мальгин А.Д., Скрябин Г.М. Очистка от пыли газов и воздуха в химической промышленности. – Л.: Химия, 1982. – 256 с.
- [4] Алиев Г.М.–А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов: Справочник – М.: Металлургия, 1986. – 544 с
- [5] Алексеев П.В., Поникаров И.И., Филимонов А.Н. Повышение эффективности пылеулавливания противоточных циклонов. – Материалы II Международной научно-технической конференции “Прогрессивные технологии и оборудование для пищевой промышленности”, ч. II. Воронеж, 2004, с.67 - 70.
- [6] Пат. Российской Федерации 2.253.515 (2005).
- [7] Филимонов А.Н., Алексеев П.В., Поникаров И.И., Алексеев В.В. Разработка вихревого противоточного пылегазоразделителя. - Материалы II Международной научно-технической конференции “Прогрессивные технологии и оборудование для пищевой промышленности”, ч. II. Воронеж, 2004, с.287 - 289.

- [8] Халатов А.А. Теория и практика закрученных потоков. – Киев: Наукова думка, 1989. - 192 с.
- [9] Алексеев В.В., Поникаров И.И., Алексеев П.В. Исследование аэродинамических закономерностей вихревого пылегазоразделителя //Вестник Казан. технол. ун – та, 2013, т. 16, № 20, с. 220 – 223.
- [10] Алексеев В.В., Поникаров И.И. Исследование аэродинамического сопротивления входной зоны пылеулавливания вихревого пылегазоразделителя //Вестник Казан. технол. ун – та, 2014, т. 17, № 4, с. 220 – 222.

РАСЧЕТ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ФАКТОРА РАЗДЕЛЕНИЯ ВИХРЕВОГО ПЫЛЕГАЗОРАЗДЕЛИТЕЛЯ

Алексеев В.В.

Казанский национальный исследовательский технологический университет

E-mail: valexeevtt@mail.ru

На кафедре машин и аппаратов химических производств КНИТУ разработаны центробежные пылеуловители, получившие название вихревых пылегазоразделителей (ВПГР). Особенностью их конструкции является наличие трех последовательных зон сухого центробежного пылеулавливания, позволяющее улавливать твердые частицы, размерами до 3,0 - 5,0 мкм.

Применяемые в настоящее время промышленностью высокопроизводительные циклоны ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У и ЦН-24 обладают существенно меньшей эффективностью пылеулавливания по сравнению с разрабатываемыми аппаратами типа ВПГР.

Данные аппараты (ВПГР) могут конкурировать с высокоэффективными аппаратами отечественного производства, такими как СК-ЦН-22, СК-ЦН-34, СК-ЦН-40 и СДК-ЦН-33 и не отечественного производства, такими как, циклоны Огавы, циклоны Гумбольдта.

При проектировании таких аппаратов вихревого типа для сухой очистки газов одним из технологических параметров является внутренний диаметр аппарата:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot G_v}{\pi \cdot V_D \cdot (1 - \bar{d}^2)}},$$

где G_v , м³/с – действительный объемный расход газов; $V_D=2,0 \div 4,0$ м/с [1] – среднерасходная скорость движения газов; $\bar{d} = d / D$ [2] – кольцевой параметр входной зоны пылеулавливания.

Расчетный диаметр аппарата зависит от объемной производительности газа, проектной скорости движения газов и кольцевого параметра. Так как кольцевой параметр изменяется незначительно, то диаметр аппарата зависит, в основном, от двух режимных параметров.

При расчете диаметра аппаратов вихревого типа необходимо учитывать, что скорость осаждения твердых частиц на стенки зависит от центробежной силы, которая существенно уменьшается при увеличении диаметра. Поэтому ниже приводится анализ влияния режимных и конструктивных параметров на эффективность процесса центробежного осаждения твердых частиц.

Параметром, определяющим эффективность вихревого пылеулавливания, может служить центробежный фактор разделения $K_{p.k.}$ [1]:

$$K_{p.k.} = \frac{4 \cdot V_{vx}^2}{g \cdot (d + D)},$$

где $V_{vx}=15-25$ м/с [1] – оптимальная скорость движения пылегазовой смеси на входе.

Рассмотрим влияние центробежного фактора $K_{p.k.}$ на режимные и конструктивные параметры вихревого пылегазоразделителя. Из конструктивных параметров оценим влияние лишь основных параметров – диаметра аппарата D и относительного диаметра выходной (выхлопной) трубы аппарата $\bar{d}$.

На рис. 1 представлен график зависимости влияния входной скорости движения пылегазовой смеси на центробежный фактор разделения $K_{p.k.}$.

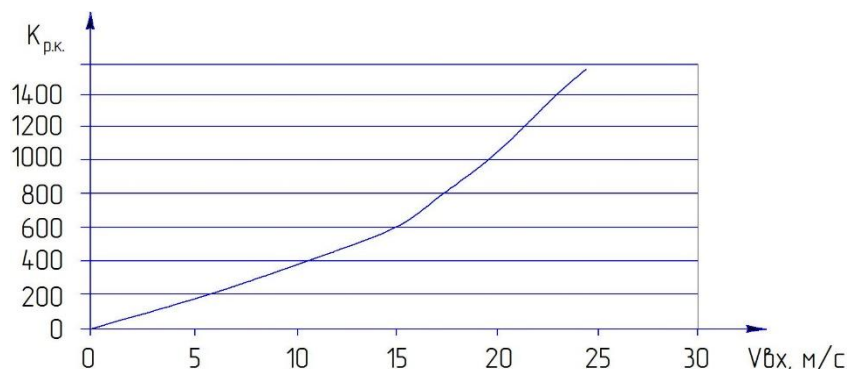


Рис. 1

Анализ этого графика показывает, что скорости движения газа на входе в аппарат в пределах 20-25 м/с создают вращательно-поступательное движение газа со значением центробежного фактора разделения 1000-1500. Однако более высокие скорости движения создадут более высокие гидравлические сопротивления. Поэтому, применение скоростей движения газа во входном патрубке может быть ограничено значениями скоростей, находящихся в диапазоне от 15 до 25 м/с.

На рис. 2 представлен график зависимости влияния внутреннего диаметра аппарата на центробежный фактор разделения $K_{p.k.}$.

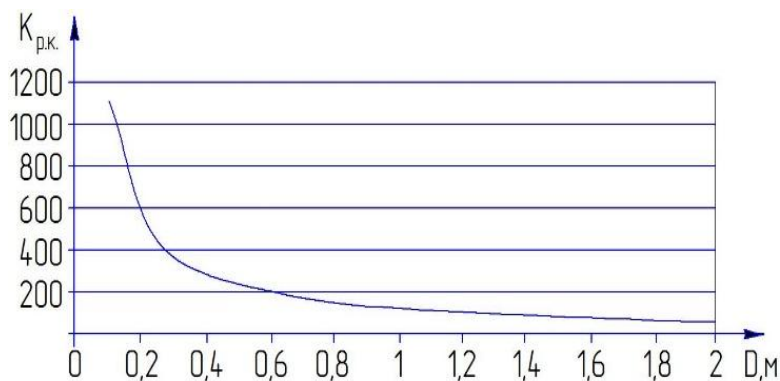


Рис. 2

Анализ этого графика показывает, что с увеличением расчетного диаметра аппарата вихревого типа значение центробежного фактора разделения быстро уменьшается.

Применение таких аппаратов, диаметр которых превышает 1,0-1,5 м не рекомендуется по причине очень малого значения центробежного фактора разделения (менее 100), приводящего к низкой эффективности центробежного осаждения твердых частиц.

На рис. 3 представлен график зависимости влияния относительного диаметра выходной трубы аппарата на центробежный фактор разделения $K_{p.k.}$.

Анализ этого графика показывает, что с увеличением значения относительного диаметра выходной трубы аппарата от 0,2 до 0,8 значение конструктивного фактора разделения уменьшается от 1150 до 750.

Рекомендуемое значение относительного диаметра выходной трубы находится в пределах от 0,4 до 0,6. В этом диапазоне изменения данного параметра находится оптимальное сочетание достаточно высокого значения центробежного фактора разделения $K_{p.k.}$ и не очень большого гидравлического сопротивления выходной зоны аппарата.

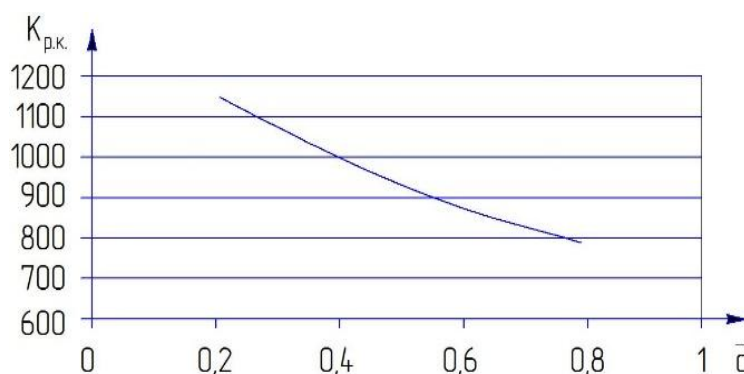


Рис. 3

Выводы

При решении проектных задач по разработке новой пылегазоочистной техники вихревого типа необходимо всегда учитывать соотношение режимных (скоростных) параметров аппарата и конструктивных – диаметра аппарата, диаметра выходной (выхлопной) трубы и оптимальной высоты зоны центробежного пылеулавливания при допустимых диапазонах затрат механической энергии.

Литература

- [1] В.В. Алексеев, И.И. Поникаров, П.В. Алексеев. Исследование аэродинамических закономерностей вихревого пылегазоразделителя // Вестник Казан. технол. ун – та, 16, 20, 220 - 223 (2013).
- [2] В.В. Алексеев, И.И. Поникаров, П.В. Алексеев. Анализ гидравлического сопротивления и расчет противоточных циклонов и вихревых камер // Вестник Казан. технол. ун – та, 17, 2, 132 - 134 (2014).
- [3] В.В. Алексеев, И.И. Поникаров. Исследование аэродинамического сопротивления входной зоны пылеулавливания вихревого пылегазоразделителя // Вестник Казан. технол. ун – та, 17, 4, 220 - 222 (2014).

УСТРОЙСТВО ДЛЯ СУШКИ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ребров Р.Д., Голованчиков А.Б., Прохоренко Н.А.

Волгоградский государственный технический университет.

E-mail: pahp@vstu.ru

Устройство для сушки дисперсных материалов, содержащее вертикально установленную трубу Вентури, эксцентрично размещенную в сепараторе переменного сечения, снабженном загрузочным и разгрузочным патрубками, и установленную в сепараторе соосно с диффузором и частично охватывающую выходной конец диффузора цилиндрическую обечайку отличающееся тем, что обечайка закреплена на цилиндрических пружинах, а длина обечайки определяется из выражения[1]:

$$l = \pi c \sqrt{\frac{m}{an}}, \quad (1)$$

где l – длина обечайки, м; c – скорость звука в газовом сушильном агенте, м/с;

a – упругость каждой цилиндрической пружины, Н/м; n – число цилиндрических пружин.

На рис.1 схематично изображен общий вид предлагаемой конструкции.

Установка цилиндрической обечайки на цилиндрических пружинах заставляет под действием потока газового сушильного агента обечайку совершать осевые колебания, приводящие к интенсификации массообмена между частицами дисперсной фазы и сушильным агентом, увеличивает разность скоростей частиц и сушильного агента, а, значит, приводит к росту производительности всего процесса сушки.

Выполнение цилиндрической обечайки длиной, определяемой выражением (1), позволяет вести процесс сушки в цилиндрической обечайке, совершающей осевые колебания в резонансном режиме с потоком газового сушильного агента, движущегося внутри этой цилиндрической обечайки, то есть совершать осевые колебания с большой амплитудой. Это приводит к значительной разности скоро-

стей высушиваемых частиц, особенно тонкодисперсных фракций, и потока газового сушильного агента, что увеличивает скорость массопереноса влаги от поверхности частиц к газовому сушильному агенту, а, значит, приводит к росту производительности всего процесса сушки.

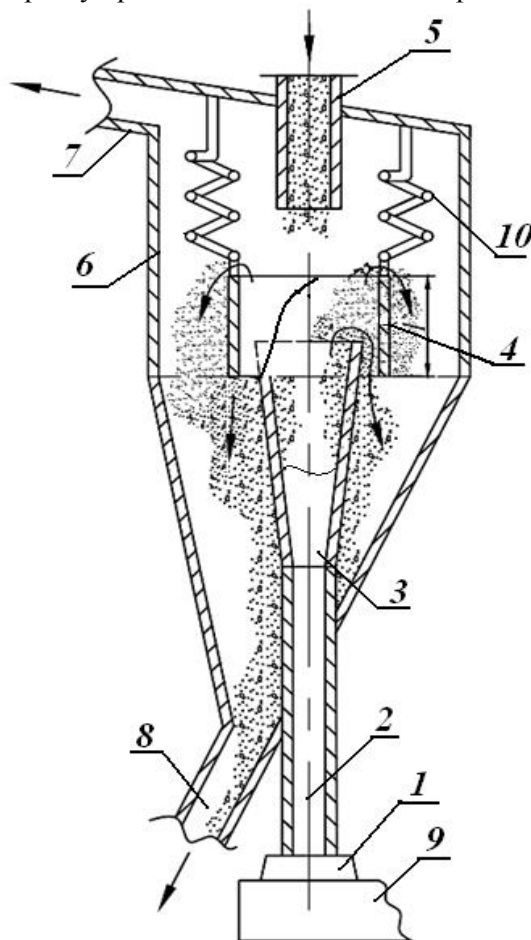


Рис. 1. Устройство для сушки дисперсных материалов

Как известно собственная частота колебаний газа, движущегося в трубе, роль которой выполняет цилиндрическая обечайка, определяется уравнением [1]:

$$v_{\Gamma} = \frac{c}{2 \cdot l}, \quad (2)$$

а собственная частота колебаний пружинного маятника, каким является цилиндрическая обечайка, подвешенная на цилиндрических пружинах

$$v_{\Pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{a}{m}} n \quad (3)$$

Приравнивая правые части уравнение (2) и (3) получаем выражение (1).

Таким образом, установка цилиндрической обечайки в сепараторе на цилиндрических пружинах при длине цилиндрической обечайки, определяемой по выражению (1), позволяет интенсифицировать процесс массопереноса влаги от поверхности частиц, особенно тонкодисперсных фракций, к потоку газового сушильного агента за счет резонансных осевых колебаний цилиндрической обечайки, частота которых совпадает с частотой собственных колебаний газового сушильного агента, движущегося внутри цилиндрической обечайки, что приводит к возрастанию амплитуды ее осевых колебаний, обеспечивающих возрастание разницы скоростей высушиваемых частиц относительно газового сушильного агента и росту производительности [2].

Литература

- [1] Элементарный учебник физики / Под редакцией Г. С. Ландсберга. Издание 10-е переработанное. Том 3. – М.: 1986, С. 510.
- [2] П. м. 174177 Российская Федерация, МПК F26B17/10 Устройство для сушки дисперсных материалов / А.Б. Голованчиков, В.А. Балашов, Н.А. Прохоренко, К.В. Черикова, П.С. Васильев, Ж.В. Кинякина; ВолгГТУ. - 2017.

**ПОЛУЧЕНИЕ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ
ИЗ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ**

Лосева К.А., Калаева С.З., Макаров В.М.

Ярославский государственный технический университет

E-mail: losevaka@yandex.ru

В настоящее время охрана окружающей среды стала одной из наиболее актуальных проблем. Производственная деятельность людей стала одним из важных факторов глобального воздействия на природу. Это выражается в загрязнении атмосферы, водных запасов и почвы многочисленными вредными веществами. Естественный круговорот веществ и энергии в природе, приобретенный ею длительной эволюцией, оказался в ряде регионов нарушенным.

Все вещества, извлекаемые человеком из недр земли и преобразуемые в процессах производства в необходимые продукты, в конце концов, возвращаются в природу в измененном виде и в виде отходов, абсолютное большинство которых оседают на поверхности земли и на дне морей и океанов. С точки зрения экологии важно, в каком виде возвращаются эти вещества, в какую среду и насколько они изменяют химический состав поверхностных слоев земли.

Размеры ущерба, наносимого окружающей среде, увеличиваются при этом так, что их уже невозможно, как раньше, преодолеть естественным путём, без использования глубоко продуманного комплекса законодательных и технологических мероприятий, затрагивающих все сферы производственной деятельности человека. Поэтому снижение загрязнения окружающей среды промышленными отходами является одной из важнейших технико-экономических и социальных задач, стоящих перед человеком, так как их решение направленно, в первую очередь, на охрану здоровья настоящего и будущего поколений, а также на обеспечение воспроизводства и рационального использования природных богатств.

Несомненно, наиболее радикальным решением проблемы загрязнения окружающей среды промышленными отходами и сохранение природных ресурсов является внедрение безотходных или малоотходных технологических процессов, а также комплексная переработка природного сырья. Но для перехода к безотходной технологии, в результате деятельности которой не происходит выбросов в окружающую среду, необходимо создание идеальной модели производства, которая в большинстве случаев не может быть реализована в полной мере, но с развитием технологического прогресса всё больше приближается к ней.

Магнетит является широко используемым материалом в технике и технологии, а так же для получения магнитной жидкости (МЖ). Запасы природного магнетита находятся в стадии исчерпания. Поэтому разработка технологий получения магнетита из других сырьевых источников является актуальной. Такими источниками могут явиться промышленные отходы с высоким содержанием железа, например, гальвано шламы, пыль, улавливаемая электрофильтрами на металлургических заводах и другие. Поэтому целью работы явился синтез магнетита для магнитной жидкости взамен природного.

Для достижения этой цели решались следующие задачи:

- оценить физико-химические свойства отходов;
- синтезировать магнетит с использованием различных отходов;
- получить магнитную жидкость из синтезированного магнетита;
- оценить свойства полученных образцов магнетита и магнитной жидкости.

Магнитная жидкость – суспензия нанодисперсных частиц магнетита стабилизированная поверхностно - активным веществом в жидкости – носителе [1, 2]. Для получения МЖ необходимо три компонента: магнетит, стабилизатор, препятствующий слипанию этих частиц и жидкость-носитель; На рис. 1 представлена структура магнитной жидкости.

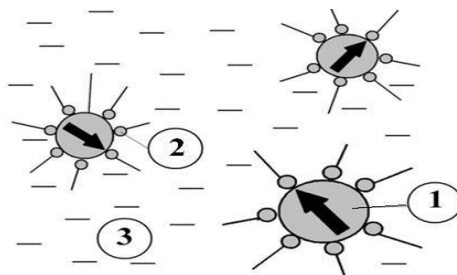


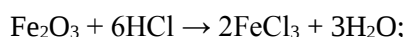
Рис. 1. Магнитная жидкость: 1 – магнетит;
2 – стабилизатор; 3 – жидкость-носитель

Чистый магнетит представляет собой вид руды, состоящий из оксидов двухвалентного и трехвалентного железа ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$). В работе магнетит был синтезирован из промышленных отходов. Объектами исследования явились следующие промышленные отходы:

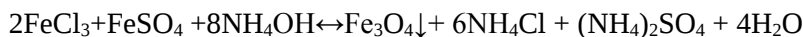
- гальваношламы – отходы, которые образуются при очистке сточных вод гальванических цехов;
- отходы металлургического производства – пыль с электрофильтров (содержит Fe^{3+}) и отход после травления стальных листов (содержит Fe^{2+});
- отход Оленегорского ГОК;
- отход производства природного магнетита;
- осадок после обезжелезивания.

Самым распространенным способом получения магнетита является химическая конденсация, который проводят в две стадии [3-4]:

- 1) растворение железосодержащего отхода в соляной кислоте



- 2) смешение солей двух- и трехвалентного железа с последующим осаждением магнетита



На рис. 2 представлена блок-схема получения магнетита из железосодержащих отходов (ЖСО): гальваношлам растворяется в соляной кислоте, после фильтрования смешивается с раствором двухвалентного железа и при интенсивном перемешивании вводится концентрированный раствор аммиака. В результате образуется осадок черного цвета – магнетит.

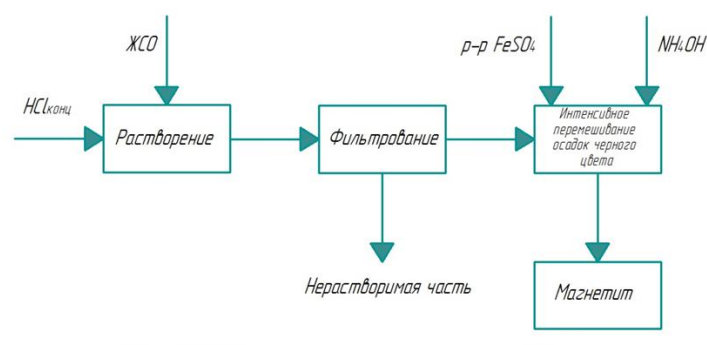


Рис. 2. Блок-схема получения магнетита из железосодержащих отходов

Кроме химической конденсации магнетит в нашей работе мы получали прокаливанием железосодержащего отхода с добавлением отхода технического углерода для восстановления железа. ЖСО прокаливался при температуре 1100 °С в течение 1 часа. Затем определяли магнитные характеристики (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что образцы 1-4 имеют высокие значения намагниченности насыщения 190 - 249 кА/м. Их можно использовать для получения магнитной жидкости. А образцы 5 и 6 обладают намагниченностью насыщения на уровне 35-82 кА/м, данный магнетит не растворяется ни в одной

кислоте. Поэтому эти образцы представляют интерес для лакокрасочной промышленности в качестве антикоррозионного пигмента.

Табл. 1. Намагниченность насыщения полученных образцов

№ образца	Отход (сырье)	Намагниченность насыщения, кА/м
М-1	Оленегорский ГОК	249,40
М-2	Пыль электрофильтров ЧМЗ	207,60
М-3	Гальваношлам АО «ССЗ «Вымпел», г. Рыбинск	190,00
М-4	гальваношлам ЯСЗ	193,00
М-5	Гальваношлам ЯЗДА, прокаленный при $T=1100^{\circ}\text{C}$	35,53
М-6	осадок обезжелезивания подземной воды, прокаленный при $T=1100^{\circ}\text{C}$	82,1

Из табл. 1 видно, что образцы 1-4 имеют высокие значения намагниченности насыщения 190-249 кА/м. Их можно использовать для получения магнитной жидкости. А образцы 5 и 6 обладают намагниченностью насыщения на уровне 35-82 кА/м, данный магнетит не растворяется ни в одной кислоте. Поэтому эти образцы представляют интерес для лакокрасочной промышленности в качестве антикоррозионного пигмента.

Был определен размер частиц полученного магнетита на лазерном анализаторе Нанотракт [5]. Размер частиц полученного химической конденсацией магнетита составил 10-20 нм, следовательно, они могут быть использованы для получения магнитной жидкости, т.к. размер частиц магнетита в магнитной жидкости должен составлять 5-100 нм. Блок-схема получения магнитной жидкости представлена на рис. 3.

Суспензия магнетита подогревается до 95°C , при интенсивном перемешивании вводится стабилизатор (олеиновая кислота) и жидкость – носитель (керосин) в соотношении магнетит: стабилизатор: жидкость-носитель = 60:15:25, перемешивание и подогрев продолжается в течение 2 часов. Затем в делительной воронке отделяется вода. Свойства полученных магнитных жидкостей представлены в табл. 2.

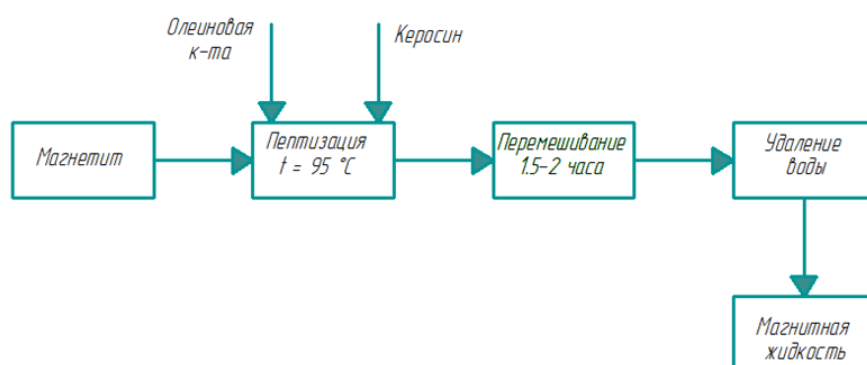


Рис. 3. Блок-схема получения магнитной жидкости

Из табл. 2 видно, что полученные магнитные жидкости имеют свойства на уровне магнитной жидкости, полученной из чистых компонентов при равной объемной доле магнетита.

В результате работы сделаны следующие выводы:

- при производственной деятельности растет количество промышленных отходов, большинство отходов имеют в своем составе ценные компоненты, которые можно использовать для получения востребованных продуктов;

- магнитные жидкости являются перспективным материалом, которые находят все большее применение в различных областях промышленности и техники. Замена чистых компонентов для получения магнитных жидкостей промышленными железосодержащими отходами позволит снизить их стоимость и одновременно является эффективным способом утилизации этих отходов;

Табл. 2. Свойства полученной магнитной жидкости

Номер пробы	Плотность, г/м ³	Намагниченность, кА/м	Объемная доля магнетита, %
МЖ-1	867	4,11	2,70
МЖ-2	925	10,20	4,50
Промышленная МЖ (Производство АМ «КУБ»)	911	9,30	3,77

- синтезированы образцы магнетита с использованием промышленных железосодержащих отходов двумя способами: химической конденсацией и прокаливанием. Определены свойства полученных образцов магнетита:

- намагниченность насыщения составила 34 - 149 кА/м;
- определен размер частиц магнетита, который находится в пределах от 10 до 20 нм;
- получены магнитные жидкости с разной плотностью и объемной долей магнетита;
- показано, что свойства полученных магнитных жидкостей находятся на уровне промышленных МЖ при близкой объемной доли магнетита.

Литература

- [1] Магнитные жидкости: способы получения и области применения. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://magneticliquid.narod.ru/authority/008.htm> Дата обращения 2.02.2018.
- [2] Такетоми С, Тикадзуми С. Магнитные жидкости. Пер. с японск. – М.: Мир, 1993. 272 с.
- [3] Калаева С.З., Макаров В.М., Шипилин А.М. и др. Способ получения магнитной жидкости. Патент РФ №2182382, бюл. № 13 от 10.05.2002г.
- [4] Калаева С.З., Макаров В.М., Шипилин А.М. Магнитные жидкости из отходов производства. Экология и промышленность России, сентябрь, 2002, С. 15 - 16.
- [5] Лазерный анализатор размеров частиц Nanotracs [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://microtrac-rus.ru> (15.02.2018)

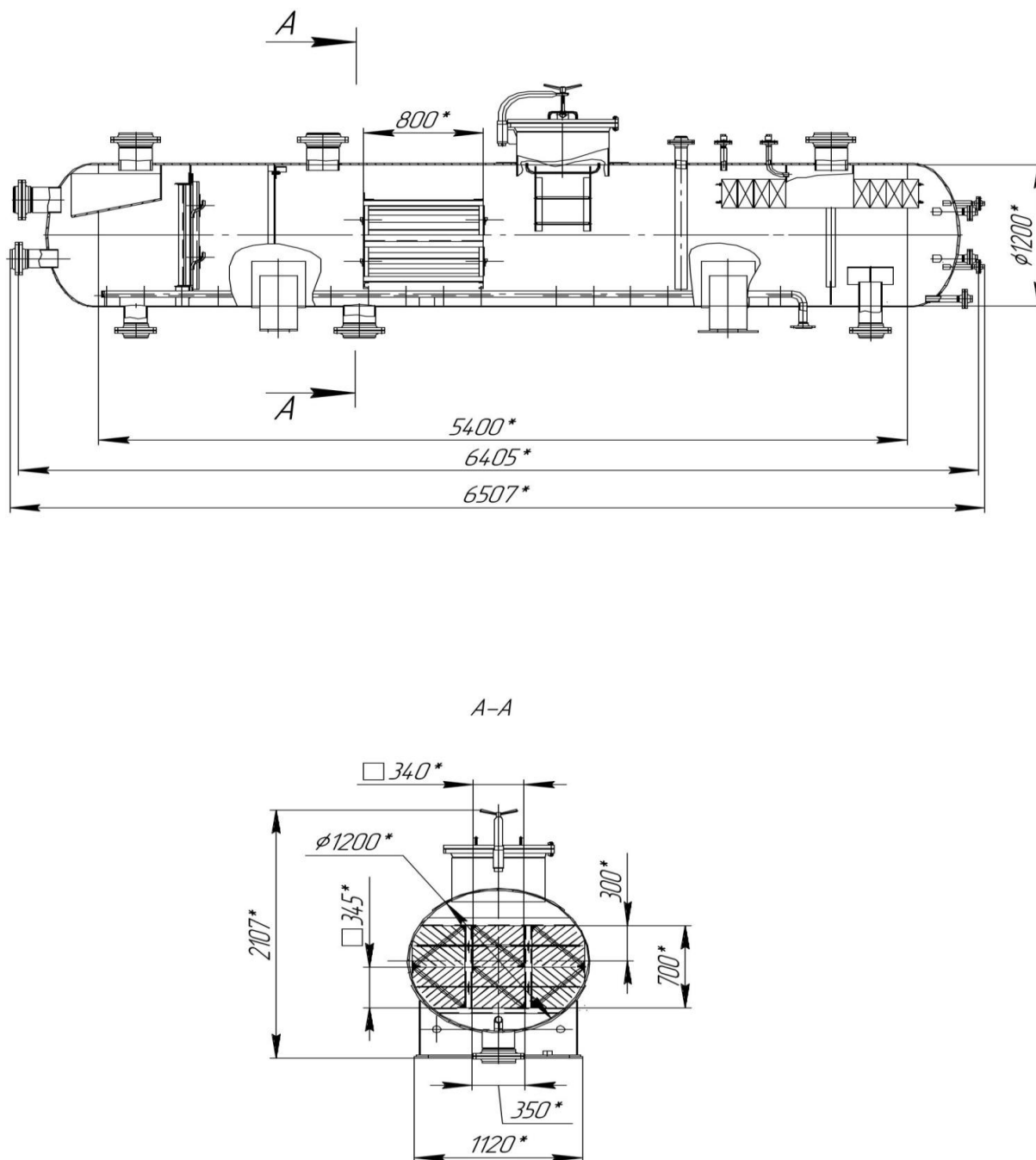
РАЗРАБОТКА НЕФТЕГАЗОВОГО СЕПАРАТОРА ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ПЕНЯЩИХСЯ НЕФТЕЙ

Чистикина А.А., Сергеев А.Д.
Энгельсский технологический институт (филиал СГТУ им. Гагарина Ю.А.)
E-mail: mxp@texhn.sstu.ru

Пластовая нефть, которая находится под высоким пластовым давлением, всегда содержит растворенные в ней углеводородные газы. При выходе из скважины и движении нефти по трубопроводам систем сбора и промысловой подготовки нефти давление постепенно падает. В соответствии с законом Генри при понижении давления растворимость углеводородных газов в нефти снижается, и они начинают выделяться из нефти. Поэтому одним из наиболее распространенных процессов промысловой подготовки нефти является разгазирование нефти и сепарация газа.

При разгазировании в толще слоя нефти возникают центры испарения и образуются газовые пузырьки, которые по мере всплытия увеличиваются в объеме. При выходе на поверхность газовые

пузырьки лопаются с образованием брызг нефти. Для уменьшения потерь нефти капельную жидкость необходимо отделить от потока газа.



На многих нефтяных месторождениях в нефти содержатся различные природные поверхностно активные вещества (ПАВ), которые снижают поверхностное натяжение на границе раздела “газ-жидкость”.

В результате на поверхности нефти образуется устойчивый слой пены, которая существенно ухудшает процесс сепарации газа, снижает производительность сепарационного оборудования и увеличивает его габариты.

Поэтому борьба с образованием пены и гашение (разрушение) пены являются чрезвычайно актуальной задачей. В зависимости от состава и количества природных ПАВ, содержащихся в нефти, по способности к вспениванию нефти можно разделить на:

- непенистые;
- низкопенистые;
- высокопенистые.

Для борьбы с пенообразованием и гашения образовавшейся пены предложено достаточно большое число методов:

- введение противопенных присадок, которые повышают поверхностное натяжение на границе раздела “газ-жидкость” и разрушают пену;
- механические пеногасители с роторно-статорной системой механического разрушения пены;
- гидродинамические методы разрушения пены;
- разрушение пены в тонких слоях при прохождении нефти через блок трубчатой или пластинчатой пеногасящей насадки.

По результатам проведенного аналитического обзора за направление исследования принята разработка проекта нефтегазового сепаратора для разделения 1500 т/сут. высокопенистой нефти с секцией пеногашения в тонком слое на блоке горизонтальных прямоугольных пластин для ОАО Самаранефтегаз.

Нефтегазовый сепаратор предназначен для отделения попутного нефтяного газа от нефти перед подачей ее на замер с помощью массомера и используется в составе автоматизированных замерных установок (АГЗУ). Разработана конструкция горизонтального нефтегазового сепаратора для разделения высокопенящейся нефти на месторождениях ОАО «Самаранефтегаз» с блоком пеногашения производительностью 1500 т нефти в сутки при давлении 4 МПа.

Нефть подается сверху на коническое распределительное устройство, по которому она распределяется тонким слоем. Уже во входном устройстве начинается интенсивное выделение растворенных в нефти газов. Коническое распределительное устройство направляет поток нефти на внутреннюю стенку эллиптического днища, по которому она стекает в приемную секцию. Для улавливания крупнокапельной жидкости в конце приемной секции установлена уголковая насадка, состоящая из трех рядов уголков, расположенных в шахматном порядке.

Разрушение пены происходит в секции пеногашения на шести тонкослойных блоках размером 360×360 мм и длиной 800 мм. Каждый блок состоит из набора прямоугольных пластин из тонколистового материала, установленных под углом 45°. Пластины собираются в макет с помощью трех стяжных шпилек и дистанционных втулок, которые устанавливают расстояние между пластинами 10÷25 мм. Блоки устанавливаются в секции вручную по горизонтальным направляющим уголкам. При проведении очистки, технического обслуживания или ремонта блоки из секции вынимаются.

При движении пены через блоки тонкослойной очистки за счет сил трения под действие касательных напряжений нефтяная пленка рвется, и пена разрушается. По наклонным пластинам нефть стекает вниз, а газ поднимается вверх.

Для улавливания тонкодисперсной капельной жидкости на выходе газа из сепаратора установлен блок сетчатой или струнной насадки.

Для очистки сепаратора от асфальтосмолопарафинистых отложений (АСПО) предусмотрена пропарка сепаратора перегретым водяным паром.

Литература

- [1] Бекиров Т.М., Ланчаков Г.А. Технология обработки газа и конденсата, М.: Недра, 1999.
- [2] Каспарьянц К.С., Кузин В.И., Григорян Л.Г. Процессы и аппараты для объектов промысловой подготовки нефти и газа. М.: Недра, 1977. 254 с.
- [3] Лутошкин Г.С. Сбор и подготовка нефти, газа и воды к транспорту. Недра, 1972.

ВЫСОКОТОЧНЫЙ ПЛОТНОМЕР ВТ-КХТИ ДЛЯ НЕФТЕЙ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Тюлькин С.И., Котомкин Д.О., Исянов Ч.Х., Сагдеев Д.И.
Казанский национальный исследовательский технологический университет.
E-mail: sagdeev@mail.ru

Плотность, наряду с другими коэффициентами (вязкости, диффузии и теплопроводности) явлений переноса, является важнейшей структурно-механической характеристикой материала, определяющей его технологические, эксплуатационные и потребительские свойства. Плотность является практически важной теплофизической характеристикой свойств при нефтедобыче, в нефтехимии. Из многочисленных методов исследования плотности [1, 2] наиболее разработанными являются: метод

пикнометра, метод ареометра, пьезометры постоянного и переменного объемов, метод гидростатического взвешивания. Измерение плотности вязких нефтей методом пикнометра и ареометра представляет большие трудности, так как существует проблема заполнения и вопрос нечеткости изображения мениска [3].

Добыча трудно извлекаемых запасов нефти сегодня является одной из актуальных задач нефтедобывающей промышленности. К трудно извлекаемым относятся, в основном, тяжелые и высоковязкие нефти (вязкость выше 50 мПа·с). Их запасы значительно превышают запасы легкой и маловязкой нефти. Запасы трудно извлекаемой нефти в Татарстане – это 55 % от общего объема нефтяных запасов России. Нефти месторождений Поволжья по своим свойствам неодинаковы, не малую их долю можно охарактеризовать как высоковязкие, тяжелые, высокосернистые. Среди административных районов, представляющих данный регион, наибольший процент трудно извлекаемых запасов приходится на республику Татарстан.

Неудовлетворительное состояние отечественного приборостроения и фантастические цены на высокоточное зарубежное оборудование, недоступные даже для промышленных предприятий, вынуждают исследователей заниматься вопросами импортозамещения – самим разрабатывать и изготавливать необходимые для научной работы приборы и экспериментальные установки по исследованию плотности нефтей и нефтепродуктов [4].

Целью данной работы является модернизация высокоточного плотномера ВТ-КХТИ, работающего по методу гидростатического взвешивания, для исследования плотности высоковязкой нефти и нефтепродуктов в интервале изменения температур от 293 К до 473 К при атмосферном давлении.

Нами модернизирован и откалиброван плотномер ВТ-КХТИ, работающий по методу гидростатического взвешивания, на базе электронных весов неавтоматического действия «HR-250AZG» японской фирмы «A&D Co. LTD», которые оснащены встроенной гирей, позволяющей производить калибровку одним нажатием клавиши, который представлен на рис. 1.

Данная конструкция гидростатического плотномера представлена в работе [5]. Плотномер позволяет производить измерение также плотности высоковязких нефтей и нефтепродуктов в интервале изменения температур от 293 К до 473 К при атмосферном давлении с минимальным временем проведения эксперимента.

К нижнему крючку электронных весов подвешивается система измерения плотности, состоящая из кольца, нити и поплавка из титанового сплава марки ВТ-6. Размеры поплавка: диаметр – 10 мм, длина – 100 мм.

Плотномер ВТ – КХТИ (см. рис. 1) состоит из следующих элементов: 1 – поддон; 2 – штатив; 3 – центрирующая система; 4 – термостатирующая система; 5 – система измерения – кольцо, нить и поплавков из титанового сплава марки ВТ-6; 6 – кожух асбестовый; 7 – стакан с воронкой; 8 – кольцевые асбестовые диски; 9 – текстолитовый опорный диск; 10 – холодильник-экран от тепловых потоков на весы; 11 – опорное кольцо; 12 – система настройки на «ноль» электронных весов; 13 – стол; 14 – электронные весы марки «HR-250AZG» японской фирмы «A&D Co. LTD».

В верхней части поплавков имеет ушко для подвешивания на предварительно отоженной константановой проволоке диаметром 0,15 мм и длиной 300 мм. Проволока подвешивается к крючку электронных весов марки «HR-250AZG» через переходник, который в свою очередь соединяется с системой настройки на «ноль» электронных весов. Поплавков помещается в автоклаве с внутренним диаметром 25 мм, который, в свою очередь, вставляется в медный блок, помещаемый в холодильник-нагреватель, через каналы которого прокачивается термостатирующая жидкость марки ПМС-20, которая поступает из циркуляционного термостата LOIP LT-211 с точностью поддержания температуры $\pm 0,1$ К.

Предлагаемый высокоточный гидростатический плотномер ВТ – КХТИ откалиброван по *n*-гептану эталонному ГОСТ 25828-83 фирмы "Компонент-Реактив" в интервале изменения температур до 363 К при атмосферном давлении. Проведена оценка погрешности измерения плотности *n*-гептана, которая составила $\pm 0,02\%$, при доверительной вероятности $P = 0,95$. Сравнение экспериментальных данных по *n*-гептану с литературными данными [6], показали хорошее согласие в рамках погрешности эксперимента (см. рис. 2).

На экспериментальной установке проведены измерения плотности в интервале изменения температур от 293 К до 473 К при атмосферном давлении образцы следующих нефтей: Ашальчинская (сверхвязкая), Кичуйская, Девонская, Куанбашская.

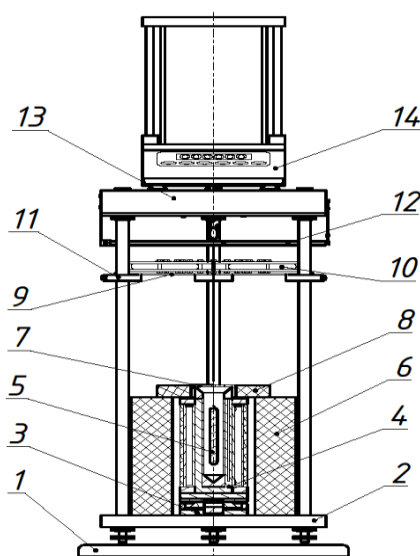


Рис. 1. Общий вид плотномера ВТ – КХТИ

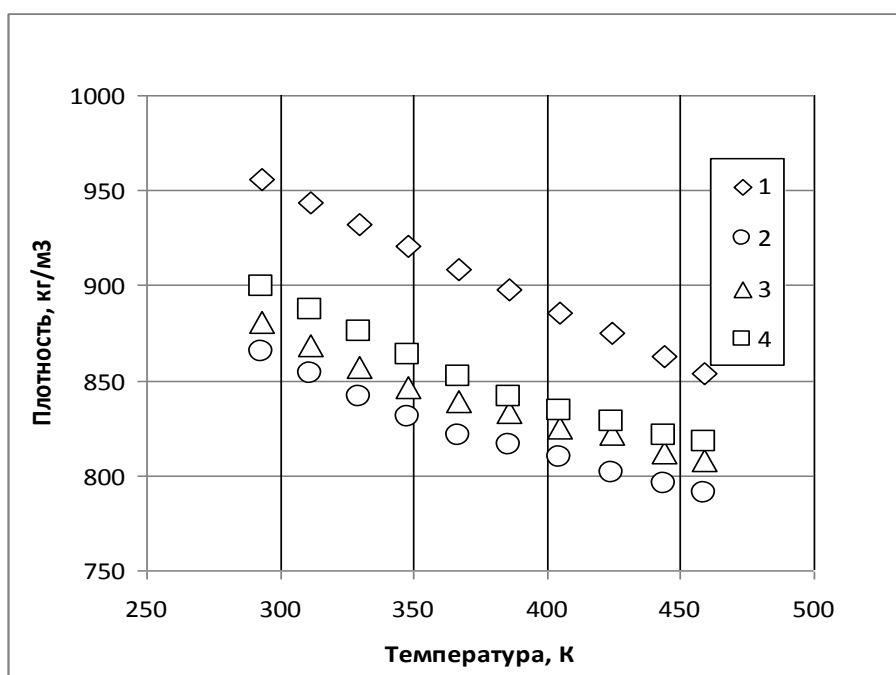


Рис. 2. Плотность нефтей Республики Татарстан от температуры при атмосферном давлении: 1 – Ашальчинская (сверхвязкая); 2 – Кичуйская; 3 – Девонская; 4 – Куанбашская

Выводы

Проведены измерения плотности четырех образцов нефтей Республики Татарстан. Исследования плотности высоковязких нефтей и нефтепродуктов будут использованы для расчета и проектирования нефтеперерабатывающего и откачного оборудования.

Литература

- [1] Парфенов В.И. Классификация методов измерения плотности жидкостей / В.И. Парфенов// Приборы и системы управления. – 1977. – № 5. – С. 38 - 39.
- [2] Кивилис С.С. Плотномеры / С.С. Кивилис. – М.: Энергия, 1980. – 280 с.
- [3] ГОСТ 3900-85. Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности. – Введ. с 01.01.87. – 140 с.

- [4] Сагдеев Д.И. Плотномер для нефтепродуктов / М.Г. Фомина, А.Х. Садыков, В.А. Аляев // Материалы IX Международной научно-практической конференции "Современное состояние и перспективы инновационного развития нефтехимии "Нижекамскнефтехим" – 2016. – С. 184 – 185.
- [5] Sagdeev D.I. Density of working liquids for diffusion vacuum pumps/ M.G. Fomina, G. V.A. Alyaev, R.Z. Musin, I.M. Abdulagatov // J. Chem. Data – 2018. – (в печати) Manuscript ID: je-2018-00028n.R1.
- [6] Sagdeev D.I. Experimental study of the density and viscosity of n-heptane at temperatures from 298 K to 470 K and pressure up to 245 MPa / M.G. Fomina, G. Kh. Mukhamedzyanov, I.M. Abdulagatov // Int. J. Thermophys. – 2013. – v. 34. – №1. – S. 1 – 33.

ТЕСТИРОВАНИЕ ЗНАНИЙ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ДИСЦИПЛИНЫ "ГАЗОВАЯ ДИНАМИКА СПЛОШНЫХ СРЕД"

Хафизов Р.Ф., Гилемханов Д.А., Садыков А.Х., Сагдеев Д.И.

Казанский национальный исследовательский технологический университет

E-mail: sagdeev@mail.ru

Компьютерные технологии проникли во все области человеческой деятельности. Высокий удельный вес использования компьютеров приходится на высшие учебные заведения. Развитие и совершенствование методов и средств современной информатики позволило ей уверенно войти в среду образования и научных исследований [1]. При этом компьютер является мощным средством повышения эффективности обучения. Диапазон использования компьютеров в учебно-воспитательном процессе весьма велик – от тестирования учащихся, учёта их личностных особенностей до специализированных компьютерных игр. Компьютер может быть, как объектом обучения, так и средством обучения. Одним из наиболее актуальных направлений развития передовых технологий обучения в образовании является разработка компьютерных систем тестирования знаний обучаемых.

Анализ данных, полученных в результате компьютерного тестирования, позволяет преподавателю объективно оценить знания студентов и построить процесс обучения таким образом, чтобы достичь заданного уровня усвоения материала.

В зависимости от длительности контролируемого обучения тестовый контроль знаний может быть текущим, тематическим, рубежным, итоговым и заключительным.

Текущий контроль рекомендуется проводить постоянно, затрачивая на это минимальное аудиторное время.

Тематический контроль оценивает результаты изучения определённой темы программы. Его можно проводить в виде контролирующих тестов на практических занятиях или в виде контролирующих компьютерных программ на лабораторных занятиях. Полученные результаты тестирования могут суммироваться в виде баллов при рейтинговом подходе к изучению предмета.

Рубежный контроль осуществляет оценку знаний крупных разделов программы курса, его можно проводить в виде тестовых коллоквиумов.

В текущем, тематическом и рубежном контроле целесообразно как можно шире использовать стандартные тестовые программы и технические средства, позволяющие обучаемому проводить самоконтроль.

Итоговый контроль осуществляется преподавателем после прохождения всего учебного курса. Здесь подводится итог изучения учебной дисциплины.

Заключительный контроль оценивает результаты изучения цикла дисциплин. Он осуществляется комиссией в виде выпускного комплексного теста с целью проведения специализированного профессионального отбора.

Трудоёмкость этого процесса делает актуальным его компьютеризацию. При наличии соответствующей материально-технической базы несложно организовать предварительное (входное) и текущее тестирование. Входное тестирование студентов позволяет преподавателю определить уровень знаний учащихся, последующее тестирование даёт возможность оценить знания студентов, полученные после курса лекций, практических и лабораторных занятий.

Основное внимание было уделено внедрению программных комплексов по тестированию разрабатываемых и внедряемых в Казанском национальном исследовательский технологическом университете.

Первая волна обучения проходила по освоению программного комплекса в среде DL TEST MAKER, организованного на базе оболочки в MS DOS [2].

Работа в MS DOS не позволяла размещать запись сложных формул и другого графического материала, который необходим для освоения и контроля знаний по естественнонаучным специальным предметам.

Вторая волна обучения позволила довольно быстро освоить вновь созданную программу TestMaker в среде Windows, где преподаватель может сам быстро и качественно конструировать свои тесты с рисунками, фотографиями и графиками. Эта система позволяет создавать различные виды вопросов: открытые, закрытые, вопросы на соответствие. Причем закрытые вопросы могут иметь как один, так и несколько правильных ответов. Это позволяет усложнить процесс опроса. Также можно изменять последовательность вопросов, что важно при проведении тестирования с группой студентов.

Программа TestMaker позволяет в текст вопроса ввести буквенно-графические обозначения и представить иллюстрационный материал в виде схемы. Это разнообразит тест, делает его более динамичным и интересным для выполнения.

Структуру данного комплекса можно представить в виде нескольких блоков. Эти блоки и их взаимосвязи представлены на рис. 1.

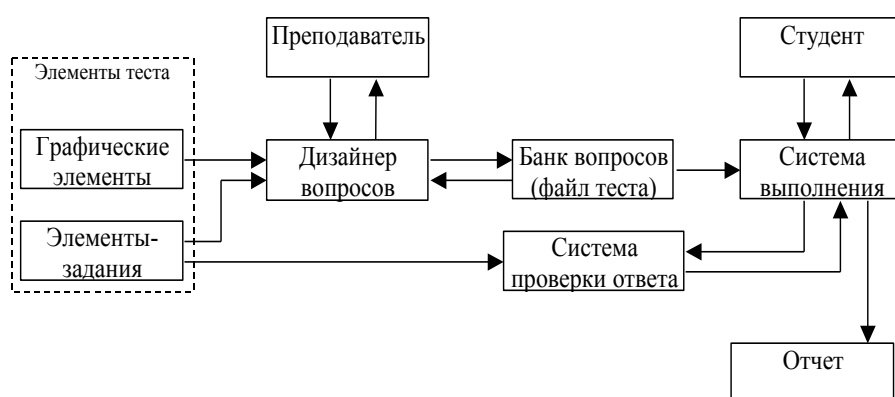


Рис. 1. Структура комплекса

Данная система состоит из двух, независимых друг от друга программ: дизайнера – программы проектирования тестов (рис. 2).

Под тестом в данной системе понимается последовательность кадров, которые при выполнении теста будут появляться (по порядку или случайным образом) перед обучаемым. Одновременно только один вопрос может находиться на экране. Вопрос представляет собой окно теста: статичный текст, рамка, стрелка, OLE-объект, открытый вопрос, расширенный открытый вопрос, закрытый однозначный вопрос, закрытый многозначный вопрос и вопрос на соответствие.

Работа с программой показала, что более удобны вопросы на соответствие и закрытые вопросы. Открытые вопросы нельзя широко использовать ввиду существования нескольких возможных правильных формулировок ответов. В этом вопросе контролируется только набор слов, который у каждого студента может быть свой собственный и предвидеть все варианты при составлении теста не представляется возможным.

Вопросы на соответствие позволяют вносить в тест две разновидности вопросов: непосредственно на соответствие между двумя элементами ответа, и, что более интересно, определение правильной последовательности элементов ответа. Такая возможность составления вопроса и ответа особенно удобна при рассмотрении работы оборудования: необходимо определить порядок включения и отключения оборудования, порядок проведения операций по определению характеристик свойств объекта испытаний.

Вопросы на соответствие тоже дают возможность разнообразия: можно не только поставить в соответствие каждому элементу ответа единственно правильный элемент, а несколько элементов. При большом количестве вопросов теста (а только тогда можно объективно оценить знания студентов) такое разнообразие форм вопросов, а также ответов, позволяет удерживать внимание и сосредоточиться на каждом последующем вопросе, поскольку он отличается от предыдущего.

Таким образом, программный комплекс TestMaker позволяет создать качественный тест с большим разнообразием формы вопросов и ответов. Отвечать на вопросы такого теста интересно, он позволяет студентам проявить свою профессиональную подготовку.

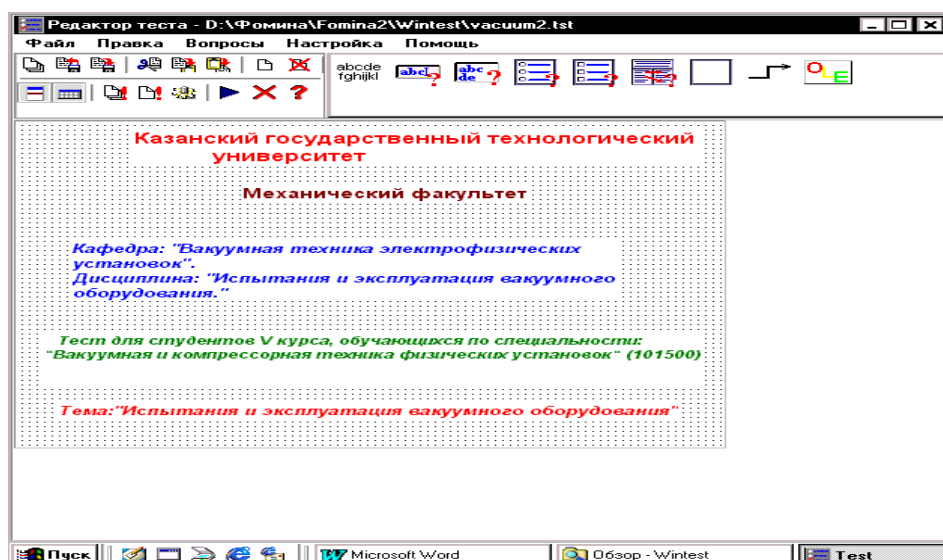


Рис. 2. Общий вид дизайнера вопросов

По проделанной работе можно сделать следующие выводы:

1. Рассмотрены достоинства и недостатки проверки знаний традиционными методами, описаны проблемы при проведении различных видов контроля работы студентов.
2. Приведено обоснование внедрения компьютерного тестирования в процесс обучения.
3. Рассмотрены программные пакеты контроля знаний, их достоинства и недостатки.
4. Приведены результаты педагогического эксперимента по проведению компьютерного тестирования на общеобразовательных и профилирующих кафедрах университета.

Литература

- [1] Тестовый контроль знаний в вузе: Курс лекций / Г.У. Матушанский; КГТУ. Казань, 1993, с. 36.
 [2] Светлаков А.П., Луконин Д.Е. Компьютерный контроль знаний с использованием программы DL TEST MAKER: Тезисы докл. Всерос. конф.: "Компьютерные технологии в учебном процессе". Казань, КГУ, 1995, с. 83 - 84.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КАЧЕСТВО ОБРАБОТКИ И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН ПРИ ИХ ВОССТАНОВЛЕНИИ

Гончаренко А.А., Симинченко Д.Г.

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
им. П. Василенка, Украина. E-mail: alex-goncharenko@i.ua*

Одним из направлений развития машиностроения является повышение технического уровня и качества продукции, что в значительной мере определяется надежностью и долговечностью деталей и узлов современной техники. Особенно важна эта задача для узлов трения, т.к. до 85 % отказов машин и механизмов происходит в результате контактных разрушений и износа трущихся поверхностей деталей.

Зачастую детали работают в экстремальных условиях (наличие абразива, высокие скорости скольжения, большие удельные нагрузки, высокие температуры, наличие вибраций и т.д.). Эти условия работы приводят к необходимости создания новых материалов со сложным комплексом физико-механических свойств и способов обработки (упрочнения) поверхностей, подбора технологий с целью увеличения срока службы машин и механизмов.

Масштабность задачи и многообразие условий работы деталей определяют большое количество технологических методов повышения износостойкости за счет нанесения покрытий.

Согласно рекомендации ГОСТ 15467 и норм ИСО 9000:2000, установили основные факторы, которые могут быть определяющими при выборе оптимальной технологии и параметров восстанов-

ления шлицевых валов. Рассмотрели влияние этих факторов на оптимизацию процесса их восстановления. Такие валы, как правило, изготавливают из стали 45.

Возникает необходимость в определении их динамической нагруженности. В задачу исследований входило выбор материала покрытия, разработка оптимальной технологии и параметров восстановления, при которых обеспечивались бы требования технических условий по уровню свойств на поставку новых шлицевых валов, а это обеспечение твердости в шлицевой части вала не менее 62HRC и достаточной прочности сцепления покрытия с основой.

Предложена технология реновации шлицевых валов, которая обеспечивает минимальный уровень напряжений и требуемую твердость. В результате проведенных исследований даны рекомендации по параметрам обработки и показано, что валы, восстановленные по предложенной технологии, отличаются минимальным расходом наплавочных материалов.

Литература

- [1] Новая технология модифицирования при восстановлении изделия / Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Гончаренко А.А., Марков А.В., Михайличенко А.С.// Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Випуск 158/ Харьков, 2015. – С.3-8.
- [2] Особенности структурообразования при модифицировании восстановленного слоя наплавкой / Гончаренко А.А., Романюк С.П., Полянский А.С., Омельченко Л.В., Коломиец В.В.// Науковий журнал, Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2017, №10/ Харків 2017. – С. 20 - 28.

ПРИМЕНЕНИЕ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ И ДРУГИХ ОТРАСЛЯХ

Гончаренко А.А., Будакова В.В., Горошин М.А.

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
им. П. Василенка, Украина. E-mail: alex-goncharenko@i.ua*

На сегодняшний день проблемы антикоррозионной защиты в машиностроительной, промышленной, пищевой и других отраслях, актуальны как в Украине, так и во многих странах мира. В промышленно развитых странах коррозия металлов наносит существенный ущерб, как экономике, так и экологии, поэтому данные вопросы играют важную роль, как в быту, так и в государственных масштабах.

Накоплен определенный опыт проведения исследований с целью определения скорости коррозионных процессов и методов защиты. Усиленно проводятся исследования в области разработки специализированных материалов и технологий, которые обеспечивают высокую степень защиты от коррозии. Поэтому нанесения защитных покрытий – актуальная проблема, и основывается на необходимости защиты окружающей среды, сохранения природных ресурсов, а также рационального использования, хранения металлических конструкций в условиях производства.

В настоящее время существует большое количество приемов и средств для борьбы с коррозией. Одними из действенных методов существенно уменьшить коррозионные процессы или полностью их ликвидировать является использование коррозионностойких материалов, нанесение защитных покрытий, введение в потенциально подвержено коррозии среду ингибиторов, таких как нитриты, хроматы, арсениты. Однако следует помнить, что при каждом конкретном случае необходимо решить, каким из средств или в каком их сочетании можно добиться наиболее эффективного и экономического результата.

При выборе оптимального способа защиты от коррозии металлических конструкций и продукции из различных видов металла необходимо учитывать определенные факторы: климатические условия того или иного региона, особенности эксплуатации металлической конструкции, или автомобилей, характеристики самой конструкции и многое другое.

Основные методы защиты от воздействия коррозии, которые находят широкое применение в современной машиностроительной отрасли и ремонтном производстве, это: лакокрасочные покрытия; электрохимическая защита, введение в коррозионную среду соединений, которые способны уменьшить коррозионную активность (ингибиторы) и конструкционные методы. Среди таких методов можно выделить наиболее распространенное направление – это нанесение защитных покрытий в

виде эмалей, красок, лаков и других материалов.

При этом следует учитывать и тот факт, что лакокрасочные покрытия могут обеспечить только препятствие для образования коррозии, но не исключить ее появление. Именно поэтому целесообразно проводить исследования с целью улучшения качества материалов, наносимых исследовать возможность внесения модифицирующих добавок способных продлить срок антикоррозионной защиты.

Литература

- [1] Новая технология модифицирования при восстановлении изделия / Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Гончаренко А.А., Марков А.В., Михайличенко А.С. // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенко. Випуск 158/ Харків, 2015. – С. 3 - 8.
- [2] Теоретическая оценка особенностей структурообразования при вводе углеродсодержащих порошковых композиций в покрытие / Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Гончаренко А.А., Марков А.В., Спольник А.И., Телятников В.В. // Науковий журнал, Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2016, №4/ Харків 2016. – С. 157 - 163.
- [3] Скобло Т.С., Гончаренко А.А. и др. Применение нанотехнологий при восстановлении деталей сельскохозяйственной техники //Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві / Вісник ХНТУСГ В. 133: Харків 2013, С. 228 - 233.
- [4] Коррозия и защита металлических конструкций и оборудования: учеб. пособие. / М.И. Жарский [и др.] – Минск: Высш. школа, 2012. 303 с.

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД МЕТОДОМ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ВОДНОГО ОКИСЛЕНИЯ В НЕПРЕРЫВНОМ РЕЖИМЕ

Соловьёва А.О.

Казанский национальный исследовательский технологический университет.

E-mail: alinasoloveva161@mail.ru

Одной из актуальных проблем защиты окружающей среды от загрязнения является проблема утилизации сточных вод. Одним из основных источников стоков являются промышленные предприятия. Практически все технологические процессы производства предполагают образование сточных вод, загрязненных самыми различными вредными веществами.

Задача эффективной переработки отходов становится все более актуальной проблемой для человечества. Однако все существующие методы очистки: механическая, биологическая и др. не позволяют полностью очистить стоки, что приводит к загрязнению окружающей среды.

Одним из путей решения этой задачи является метод сверхкритического водного окисления (СКВО), при котором сложные органические и неорганические соединения превращаются в более простые и экологически безвредные. В сверхкритических условиях (для воды $t_{кр} = 374,15\text{ }^{\circ}\text{C}$; $P_{кр} = 22,13\text{ МПа}$) плотность насыщенного пара и жидкости становится, примерно, одинаковой и исчезает граница раздела фаз. Благодаря этому вода является хорошим растворителем, способная повысить интенсивность тепломассообменных процессов и ускорить химические реакции. При этом органические вещества, реагирующие с окислителем (кислородом или пероксидом водорода), образуют углекислый газ, воду и нерастворимые неорганические соединения, которые выпадают в осадок. Дальнейшая переработка этих неорганических соединений позволяет выделить ценные металлы и вещества, если таковые имеются в стоке.

При достаточном содержании в исходной реакционной смеси органических веществ (10-25 %) процесс СКВО протекает с выделением тепла $\approx 10\text{-}20\text{ МДж/кг}$, которого хватает не только для проведения реакции, но и для обеспечения теплом внешних потребителей.

На кафедре теоретических основ теплотехники КНИТУ была спроектирована и разработана установка непрерывного действия для очистки сточных вод методом СКВО. Были проведены пробные опыты по окислению 20 % водного стока ПАО «Нижекамскнефтехим» производства пропиленгликоля. Продемонстрирована возможность реализации процесса сверхкритического водного окисления в непрерывном режиме для утилизации промышленных стоков, содержащих органические кислоты, а также для получения воды, пригодной для вторичного использования в производстве и выявления ценных металлов. Схема установки представлена на рис. 1.

Процесс СКВО осуществляется следующим образом: промышленный сток поступает из емкости 15 в насос высокого давления 6, где сжимается до 25 МПа, а затем в теплообменник 1. Нагрев осуществляется благодаря змеевику теплообменника, подключенного в цепь вторичной обмотки трансформатора 8. Воздух сжимается в компрессоре 3 до 25 МПа, далее поступает в ресивер 14, далее в воздушный теплообменник 2. Предварительно нагретая смесь направляется в смеситель 16, далее в реактор 11, где протекает реакция СКВО.

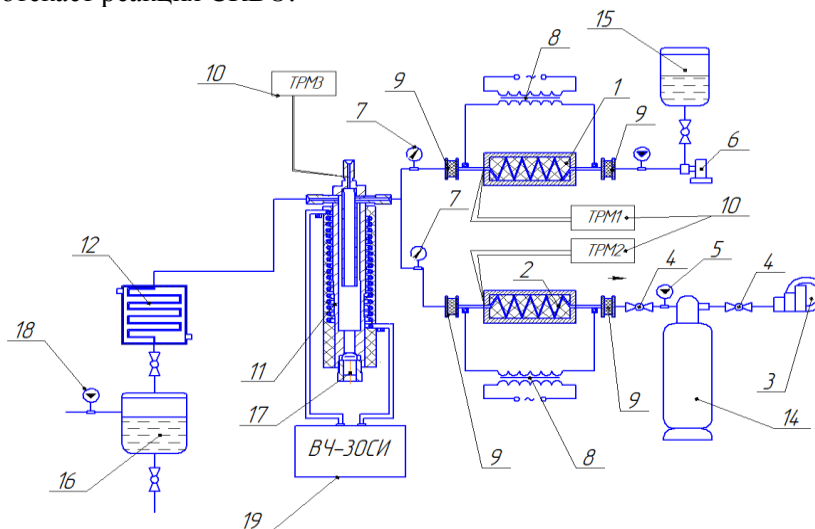


Рис. 1. Схема проточной установки СКВО: 1 - теплообменник; 2 - воздушный теплообменник; 3 - компрессор; 4 - вентиль; 5 - расходомер; 6 - насос высокого давления; 7 - манометр; 8 - трансформатор; 9 - токоизолирующий элемент; 10 - терморегуляторы; 11 - реактор; 12 - охладитель; 13 - отделитель воздуха; 14 - ресивер; 15 - емкость с промышленным стоком; 16 - смеситель; 17 - камера для сбора твердого осадка; 18 - расходомер; 19 - индукционный нагреватель

Нагрев смеси в реакторе осуществляется за счет змеевика-индуктора. Управление нагревом осуществляют с помощью высокочастотного индукционного нагревателя 19. Не растворившиеся неорганические соединения выпадают в твердый осадок в камере 17. Очищенный сток после реактора поступает в охладитель 12. После охладителя очищенный сток проходит через регулятор давления и поступает в сборник жидкости и отделитель воздуха 13. Температура в реакторе и в теплообменниках измеряется и регулируется терморегуляторами 10 марки ТРМ-1 «Овен». Расход воздуха измеряется расходомером газовым VA-420 18 [1].

Благодаря индукционному способу нагрева температура процесса может быть увеличена до более высоких значений (до 1500 °С), что позволяет проводить реакции в сверхкритических условиях без использования катализаторов (автокаталитические реакции), что обеспечивает стабильность свойств системы во время процесса и воспроизводимость результатов в различных условиях применения.

Преимущество индукционного нагрева заключается в том, что тепло полностью передается реакционной смеси, при этом достигается высокая скорость нагрева, повышается его равномерность. Высокая концентрация и точная локализация энергии электромагнитного поля обеспечивает короткий цикл и высокую производительность химического процесса. Помимо этого, индукционный нагрев позволяет с легкостью осуществить точное автоматическое управление процессом.

Результаты, полученные на установке СКВО непрерывного действия для очистки сточных вод ПАО «Нижнекамскнефтехим», с использованием пероксида водорода в качестве окислителя, приведены на рис. 2.

Анализируя данные проведенных экспериментов, наблюдается планомерное понижение значений показателя ХПК.

В результате опытов наименьшее ХПК равно 400 мг О₂/л было получено при T = 893K, P = 300 бар (допустимое для технической воды ХПК равно 1000 мг О₂/л) [1].

Проведенные эксперименты показали возможность реализации процесса СКВО в непрерывном режиме с использованием в качестве окислителя пероксида водорода для утилизации промышленных

стоков, с целью выделения ценных неорганических соединений, получения воды, пригодной для вторичного использования в производстве и улучшения экологической обстановки.

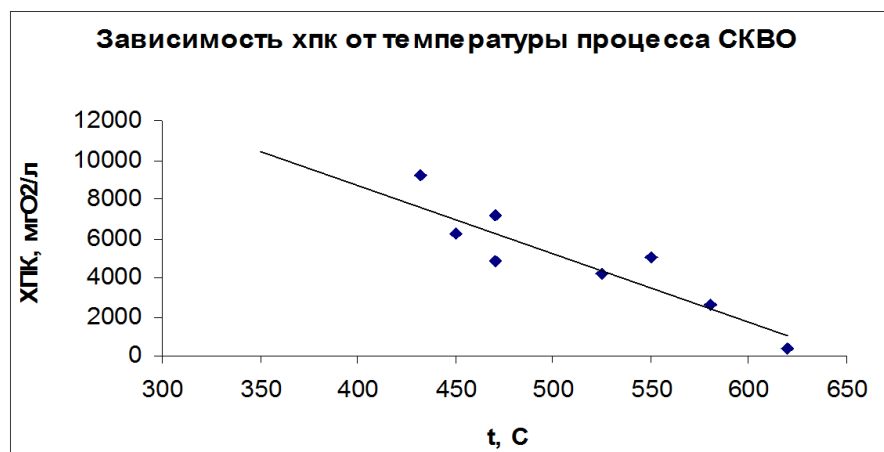


Рис. 2. Зависимость химического потребления кислорода (ХПК) от температуры процесса СКВО при концентрации стоков $C = 20\%$ и $P = 300$ бар

Литература

- [1] Усманов Р.А., Габитов Р.Р., Мифтахова Л.Х., Гумеров Ф.М. // Вестник Казан. технолог. ун-та. 2013. 17, 1, С. 224 - 247.

ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ ОЧИСТКИ ВОДЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

Задворнов И.М., Тимрот С.Д.

Ярославский государственный технический университет.

E-mail: skater@yandex.ru

В последние десятилетия в общественном сознании экологические проблемы занимают ведущее место. Это связано с ростом производства и с усиливающимся его воздействием на окружающую среду, что требует осмысления происходящих процессов, выработки тактики и стратегии постановки научных исследований и их практической реализации.

Повышенное содержание железа – одна из главных проблем воды. Оно не только придает воде неприятный вкус и мутно оранжевый цвет, но и вредит здоровью. Именно поэтому очистка воды от железа становится обязательной мерой предупреждения серьезных проблем со здоровьем и техникой [1].

На установках обезжелезивания воды образуется обильное количество отходов, в том числе и своеобразный осадок темной окраски, который в дальнейшем можно рационально утилизировать в сфере производства асфальтобетонных покрытий. Существует много способов утилизации, но все они недостаточно эффективны.

В Ярославском государственном техническом университете на кафедре охраны труда и природы был разработан способ переработки осадка обезжелезивания в качестве активатора минеральной части, позволяющий улучшать адгезию минеральной части.

Сцепление битума с минеральными материалами зависит как от адгезионных свойств используемых битумов, так и от минералогического состава минеральных материалов. Зачастую, разрушение асфальтобетона связано со слабым сцеплением битума и кислых пород. В настоящее время используются адгезионные добавки, которые теряют свои полезные свойства при длительном температурном воздействии.

Таким образом, одним из определяющих условий получения высококачественного асфальтобетона является хорошее сцепление битума с минеральным материалом, которое обеспечивается, прежде всего, хорошим смачиванием и химическим взаимодействием активных компонентов битума и минерального материала. Решение этой проблемы достигается применением адгезионных присадок,

обладающих поверхностно-активными свойствами, способствующих усилению адсорбционных и хемосорбционных процессов на поверхности минерального материала.

При использовании адгезионных присадок уменьшается водонасыщение асфальтобетонной смеси (АБС) и увеличивается коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении. Увеличивается предел прочности при сжатии после длительного водонасыщения [2].

Нами была разработана адгезионная добавка на основе отхода обезжелезивания воды. На данный момент проводятся её испытания с целью оценки её эффективности. Для оценки качества сцепления битумного вяжущего с поверхностью щебня был использован стандартный метод. Качество сцепления оценивали визуально по степени сохранности пленки битумного вяжущего на зернах щебня после его кипячения в дистиллированной воде.

Предварительно были определены физико-химические показатели добавки:

- влажность составляла 91 %;
- количество железа составляла 85 %.

Смесь содержит двухвалентное Fe (II), трёхвалентное Fe (III) железо, оксид железа(III) Fe_2O_3 . В дальнейшем предполагается более подробное изучение химического состава активатора.

Методика анализа заключалась в следующем: Из средней пробы применяемого щебня отбирали шесть зерен размером не менее 10 мм и высушивали их в сушильном шкафу при температуре 105 - 110 °С. Каждое зерно щебня погружалось в битум при температуре 130 - 150 °С, после чего вынимали и подвешивали на штативе для стекания лишнего битума.

После обработки каждое зерно, подвергалось кипячению в воде при применении вязких битумов 30 мин. По истечении времени зерна щебня вынимали из стакана и погружали в стакан с холодной дистиллированной водой на 1 - 3 мин для охлаждения и закрепления оставшейся на поверхности щебня пленки битума. Остывший щебень вынимали из воды и помещали на фильтровальную бумагу. Поверхность зерен щебня осматривали и проводили оценку качества сцепления битумного вяжущего со щебнем по степени сохранности пленки вяжущего в соответствии со стандартом [3].

В ходе испытаний было опробовано два варианта обработки. В первом случае щебень обрабатывался адгезионной добавкой до сушки, а во втором случае после сушки. Полученные данные представлены на рис. 1, 2 и 3.



Рис. 1. Щебень без активатора



Рис. 2. – Щебень, обработанный после сушки



Рис. 3. Щебень, обработанный до сушки

Как видно из полученных данных, наилучший эффект проявляется на образце, обработанным добавкой до сушки. Его качество сцепления составляет по стандарту 5 баллов. При обработке по второму варианту качество сцепления составило по стандарту 4 балла. Необработанный образец имеет плохое качество сцепления оценкой в 2 балла.

Данная зависимость может объясняться тем, что при нанесении добавки на горячий щебень нарушается равномерность покрытия его активатора за счет быстрого испарения воды. Таким образом, следует наносить активатор на холодные минеральные материалы.

Добавка, полученная на основе осадка обезжелезивания воды, является эффективной и позволяет улучшить сцепление минеральной части с битумом. Предлагаемый способ позволит эффективно и грамотно утилизировать осадок обезжелезивания воды.

Литература

- [1] Комсомольская правда [Электронный ресурс]. – Очистка воды от железа. Современные системы фильтрации, 31.03.2015. Режим доступа: <https://www.kp.ru/guide/ochistka-vody-ot-zheleza.html>.
- [2] ЗАО АМДОР Химическая продукция для нефте- и газодобычи [Электронный ресурс]. – Адгезионные присадки к дорожным битумам и полимербитумным вяжущим. Режим доступа: http://www.amdor.spb.ru/produkcija_kompanii/adgezionnye_prisadki.
- [3] ГОСТ 12801 - 98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний, – Москва: Изд-во стандартов, 1998. – 46 с.
- [4] Макаров М.А. Очистка воды от железа [Электронный ресурс]: / Руководитель ПТО ООО «САТ» Макаров М.А. – Электрон. текстовые дан. – Санкт-Петербург. – Режим доступа: <http://www.satspb.net/articles/zhelezo.php>.

ВАКУУМНАЯ МАГНЕТРОННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ НИТРИДА ТИТАНА НА РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ

Гимадиев Ф.Ф., Булаев С.А.

Казанский национальный исследовательский технологический университет

E-mail: vacuum@kstu.ru

Развитие техники магнетронного распыления позволило решать в настоящее время целый комплекс задач, ранее являющихся исключительной прерогативой гальваники и дугового испарения в вакууме. При этом качество покрытий, полученных методом магнетронного распыления, существенно выше, чем полученных иными способами. Главным изменением в технике магнетронного распыления, приводящим к этим новым возможностям является существенное увеличение и возможность регулирования степени «ионного сопровождения» в процессе роста покрытия (увеличение и регулирование «ассистирующей» ионной бомбардировки растущего покрытия). Эти магнетронные распылители сегодня получили название несбалансированных магнетронов (НМ) и магнетронов с двойным незатухающим разрядом (ДНР) [1].

Развитие вакуумных технологий в плане нанесения износостойких покрытий на режущий инструмент, особенно нитрида титана, сподвигло к бурному росту металлообрабатывающих производств, повышая качество обрабатываемых изделий и сокращая расходы на замену и ремонт самого режущего инструмента. Это значительно повысило производительность труда.

Основными направлениями повышения работоспособности режущего инструмента с износостойкими покрытиями являются:

- структурное упрочнение материала износостойкого покрытия;
- повышение прочности связи границы «покрытие – инструментальный материал»;
- изменение физико-химического взаимодействия на границе «покрытие – обрабатываемый материал».

На работоспособность режущего инструмента с покрытием влияет физико-химическое состояние поверхности инструментальной основы в процессе нанесения покрытия, которое формируется на стадии ионной очистки.

Очень важен и температурный режим нанесения покрытий. Температура нанесения покрытия влияет на его дефектность и, бесспорно, на его прочность и твердость. На прочность адгезионной связи с инструментальной основой и уровень остаточных напряжений температура тоже оказывает

свое влияние. Осаждение нижнего слоя покрытия при высокой температуре процесса способствует повышению прочности сцепления с инструментальной основой, а формирование верхнего слоя при более низкой температуре – повышению твердости и износостойкости покрытия [2].

Некоторые источники акцентируют внимание и на материале катодов, предназначенных для проведения ионной очистки поверхностей.

Напыление нитрида титана может производиться на: инструментальные стали (Р6М5, Р18, Р9 и др.), на режущий инструмент с зубьями из твердых сплавов (ВК, ВК6, ВК8) и легированные конструкционные стали.

Нитрид титана (TiN) – это химическое соединение титана с азотом. Нанесение защитных и декоративных покрытий с использованием вакуумных ионно-плазменных методов напыления является одним из самых современных способов обработки поверхности. Эти методы пользуются большой популярностью благодаря экологической чистоте производства и высокому качеству получаемых плёнок. Применяя в процессе обработки различные сочетания реактивных газов (азота, кислорода, углекислого газа), можно добиться практически любого цветового оттенка поверхности [3]. Титан и азот вступают в реакцию, находясь совсем рядом с изделиями, которые помещены в камеру для покрытия нитридом титана, происходит диффузия в кристаллическую решетку этого металлического изделия [4].

Магнетронная напылительная установка – однокамерная, периодического действия представлена на рисунке.

Управление установкой – дистанционное или автоматическое с пульта управления. Вакуумная камера (2) установки имеет два магнетрона, расположенных в карманах по бокам. Дверь (1) имеет смотровое окно (4). Также имеется планетарный механизм (расположен в верхней части камеры, непосредственно под редуктором), который приводится в действие с помощью редуктора (5). Вся установка смонтирована на раме (10). Вакуумная система установки состоит из высоковакуумной и низковакуумной систем откачки. Низковакуумная система состоит из вакуумного насоса 2НВР-90Д (9), - она необходима для создания в камере предварительного разряжения и работы диффузионного насоса НД-400 (7). В вакуумной камере вертикально вращается барабан с закрепленными на нем изделиями. Каждое изделие может вращаться и вокруг своей оси, тем самым значительно улучшая равномерность напыляемого покрытия.

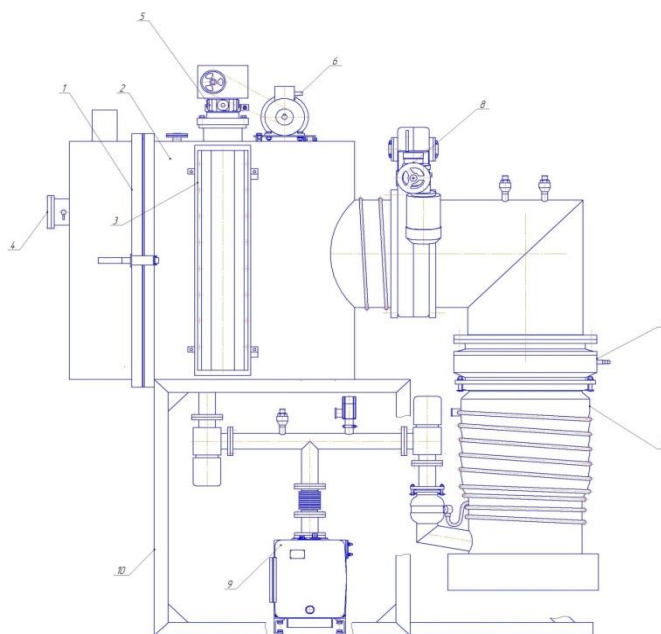


Рисунок. Вакуумная магнетронная напылительная установка для упрочнения металлорежущих инструментов нитридом титана: 1 - крышка вакуумной камеры; 2 - вакуумная камера; 3 - карман с магнетроном; 4 - смотровое стекло; 5 - редуктор с размещенным в вакуумной камере планетарным механизмом; 6 - электродвигатель; 7 - диффузионный насос; 8 - затвор; 9 - пластинчатороторный насос; 10 - рама установки; 11 - ловушка проточная водяная

Высоковакуумная система откачки предназначена для создания в камере высокого вакуума. Состоит из диффузионного насоса НД - 400 (7), затвора 23ВЭ - 400 (8), ловушки проточной водяной ЛП - 400 (11). Ловушка необходима для предотвращения миграции паров масла из диффузионного насоса в откачиваемый объем.

Литература

- [1] Технопрофиль 2000 [Электронный ресурс] Технология напыления нитрида титана и используемое оборудование – Режим доступа URL: <http://t2000.ru/technologies> (20.04.2018).
- [2] Износостойкие покрытия режущего инструмента, работающего в условиях непрерывного резания [Электронный ресурс] монография – Режим доступа URL: <http://venec.ulstu.ru/lib/disk/2012/Tabakov.pdf> (21.04.2018).
- [3] Лаборатория вакуумного напыления [Электронный ресурс] Технология – Режим доступа URL: <http://n-titana.ru/technology> (21.04.2018).
- [4] METALCONT [Электронный ресурс] Нитрид титана. Новые и старые технологии. – Режим доступа URL: <http://metalcont.ru/stati/nitrid-titana-novye-i-starye-tekhnologii> (22.04.2018).

ВАКУУМНАЯ МАГНЕТРОННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ МЕТАЛЛИЗАЦИИ МЕЛКОСЕРИЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Кадырматов А.М., Булаев С.А.

Казанский национальный исследовательский технологический университет.

E-mail: vacuum@kstu.ru

Одной из интенсивно развивающихся областей практической реализации физики плазмы является вакуумная плазменная технология. Плазменные методы формирования покрытий нашли свое широкое применение при решении технологических задач благодаря своей универсальности и ряду преимуществ, имеющих у них по сравнению с другими существующими способами. Использование вакуумной плазменной технологии позволяет осуществить протекание высокоэффективных процессов нанесения покрытий и формирования тонких пленок, выращивания монокристаллов и насыщения поверхностных слоев, получения мелко дисперсионных порошков и проведения суперточной доводки оптических поверхностей, получения композиционных материалов, защитных и жаростойких покрытий.

Из всех известных методов широкое применение нашел усовершенствованный вариант диодных систем распыления – магнетронный. Скорость напыления у него в 7-10 раз выше, чем в обычных диодных.

В магнетронных источниках в разрядном промежутке одновременно с электрическим полем действует магнитное поле, что позволяет без увеличения концентрации электронов повысить плотность плазмы. На электроны, эмитированные автоэмиссионным катодом-мишенью и движущиеся к аноду в приложенном между ними электрическом поле, действует магнитное поле, направленное перпендикулярно электрическому. Выбитые из катода электроны ускоряются в области темного катодного пространства и с большими энергиями входят в область плазмы. Циклотронный (ларморовский) радиус вращения ионов больше чем у электронов, поэтому в небольшой области существования плазмы, накладываемое магнитное поле практически не влияет на траекторию движения ионов, которые под действием электрического поля свободно движутся к мишени по траекториям близким к прямолинейным. У электронов же путь движения удлиняется. Они перемещаются по сложным траекториям в области магнитной ловушки, создаваемой с одной стороны магнитным полем, возвращающим электроны на катод, а с другой стороны – поверхностью мишени, отталкивающей электроны. Электроны находятся в этой ловушке до тех пор, пока не произойдет несколько ионизирующих столкновений с атомами рабочего газа, в результате которых электроны теряют энергию, полученную от электрического поля. Прежде чем электрон попадет на анод, большая часть его энергии используется на ионизацию и возбуждение газа, что приводит к увеличению концентрации положительных ионов у поверхности мишени. Это в свою очередь приводит к интенсивной бомбардировке мишени и позволяет получить плотность тока на 2 порядка больше, чем при катодном распылении. Поток распыляемого вещества устремляется к подложке и осаждается на ней в виде пленки.

Наличие магнитного поля снижает напряжение зажигания разряда до 1 кВ и менее, а рабочее напряжение лежит в пределах 300-700 В. Значение индукции магнитного поля определяет величину

разрядного тока, а также структуру разряда. Увеличение индукции поля влечет увеличение разрядного тока за счет повышения плотности ионов вблизи катода. По достижении индукцией некоторого значения (~ 0.1 Тл) возникает, а затем увеличивается падение напряжения вблизи анода и как результат в прианодной области формируется отрицательный пространственный заряд. Следствием этого является ускорение электронов в этой области, которая становится главной областью ионизации. Поэтому распыление ведется обычно в относительно слабых магнитных полях с индукцией 0,03-0,1 Тл при наличии как катодного, так и анодного падения напряжения.

Формирование магнитного поля приводит к тому, что отсутствует бомбардировка подложки вторичными электронами высоких энергий. Основным источником нагрева подложек является энергия, выделяемая при торможении и конденсации осаждаемых атомов вещества. Температура подложек при этом не превышает 370-470 К. Кроме этого достоинствами магнетронных систем, используемых для распыления металлов, полупроводников и диэлектриков, являются: низкое рабочее давление, позволяющее уменьшить количество газовых включений в осаждаемой пленке, и высокая степень использования материала мишени (порядка 60%).

Установка вакуумная для напыления мелкосерийных изделий (рисунок) предназначена для нанесения декоративных и защитно-декоративных покрытий на различные мелкосерийные изделия. При разработке данной установки был произведен расчет на прочность вакуумной камеры, вакуумный расчет. Управление установкой производится в ручном режиме с пульта управления. Тележка с барабаном закатывается в вакуумную камеру. Узлы крепления напыляемых изделий будут адаптированы под конкретные напыляемые изделия. Барабан вращается в горизонтальной оси.

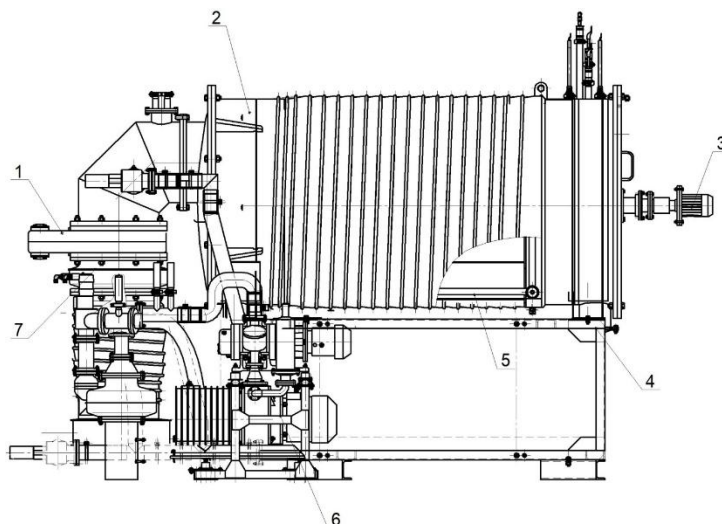


Рисунок. Вакуумная магнетронная установка
для металлизации мелкосерийных изделий

Установка состоит из следующих основных элементов: 1 – затвор с электромеханическим приводом 23ВЭ-400, 2 – цилиндрическая камера, 3 – ввод вращательный, 4 – рама, 5 – загрузочная тележка, 6 – агрегат форвакуумный механический, 7 – ловушка азотная ЛА-400.

Литература

[1] А.А. Лисенков, Н.З. Ветров. Вакуумные дуговые источники плазмы. ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, Санкт-Петербургское отделение – 2000 – 63 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА СТОЧНЫХ
ВОД ПРОИЗВОДСТВА СУСПЕНЗИОННОГО ПВХ**

Казакова К.Е., Шагарова А. А.

*Волгоградский государственный технический университет**E-mail: ksukazakover@mail.ru*

К сточным водам производства ПВХ относятся промывочные воды технологического оборудования на всех стадиях производства, вода, отработанная в процессе полимеризации винилхлорида, различные виды конденсатов, образующихся на стадиях дегазации ПВХ и улавливания незаполимеризовавшегося винилхлорида [2, 3].

Взвесь, образованная частицами суспензионного ПВХ в воде, является полидисперсной системой. Для полидисперсных систем кинетику осаждения устанавливают опытным путем.

Для исследования фракционного состава взвеси в сточной воде производства суспензионного ПВХ разработана методика экспериментальных исследований и экспериментальная установка

Результаты эксперимента усреднялись по трем параллельным опытам. Извлечение твердой фазы определялось весовым методом с помощью лабораторных весов CASCOUX220 с точностью до 0,1 мг. Концентрация частиц ПВХ в исходной суспензии составляла 10 г/л. Обработка результатов экспериментальных исследований проводилась с помощью программы в Microsoft Excel.

Содержание взвеси в отдельных пробах шламовой воды рассчитывают по привесам фильтров, г/л:

$$C = \frac{(M_2 - M_1)}{V}, \quad (1)$$

где M_1 , M_2 – масса бумажного фильтра до и после фильтрования пробы суспензии, г;

V – объем отбираемой пробы суспензии, л.

Количество выпавшей взвеси определяют, как разность между количеством взвешенных веществ в исходной суспензии и количеством взвешенных веществ в суспензии в момент отбора пробы, г/л:

$$C_{\text{вып.и}} = C_n - C_i, \quad (2)$$

где C_n – начальное содержание взвешенных веществ в суспензии, г/л;

C_i – содержание взвешенных веществ в суспензии на глубине отбора пробы пипеткой из анализируемого объема, г/л.

Гидравлическую крупность рассчитывают из формулы Стокса:

$$W_{oc} = \frac{d^2 g \cdot (\rho_{мс} - \rho) \cdot R}{18\mu}, \quad (3)$$

$$R = \frac{\varepsilon \mu_0}{\mu_c},$$

где μ_c и μ_0 – динамическая вязкость сточной воды и чистой воды, Па·с; c_0 – объемная концентрация взвешенных частиц, кг/м³; ε – объемная доля жидкой фазы; d – диаметр частицы, м; $\rho_{тв}$ и ρ – плотность соответственно твердых частиц и чистой воды, кг/м³.

Скорость осаждения частицы в вязкой среде определяется по формуле, м/с:

$$W_{oc} = \frac{h}{\tau}, \quad (4)$$

где h – путь, пройденный частицей за время анализа – глубина отбора пробы пипеткой из анализируемого объема, м; τ – время анализа, с.

Основным графиком экспериментального исследования является гистограмма фракционного состава (рис. 1).

В ходе выполнения экспериментального исследования установлена зависимость массы осадка от времени осаждения. Полученные данные представлены в таблице.

По полученным данным построен график зависимости M от τ (рис. 2).

Выполнен корреляционный анализ по полученным данным зависимости массы осаждаемых частиц от времени $t = f(M)$.

Результаты анализа показаны на рис. 2, 3 и 4.

В рассматриваемом случае расчетное число Кохрена составило 0,725. Табличное значение критерия Кохрена при $m=3$ и $n=5$, равно 0,7679. Значение расчетного критерия меньше табличного,

следовательно, проведенные опыты считаются воспроизводимыми. Ошибка опыта $S_{02} = 0,0016$. Сумма $s_2 = 2,56 \cdot 10^{-2}$.

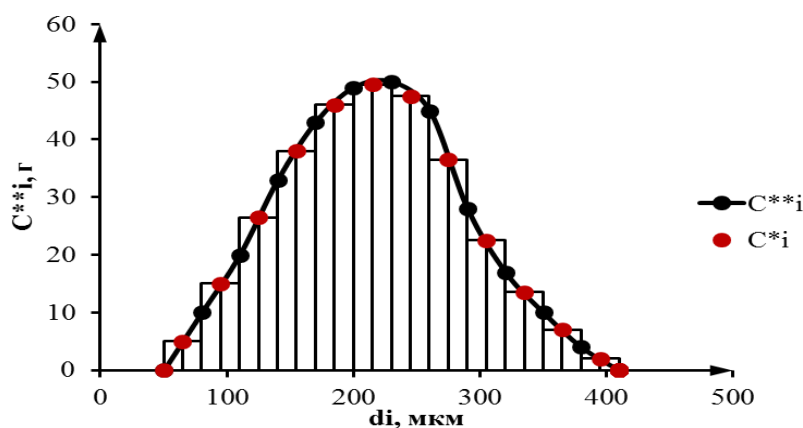


Рис. 1. Гистограмма фракционного состава суспензии ПВХ

Таблица. Экспериментальные данные

t	Me_1	Me_2	Me_3	Me_{cp}
0,5	0,007	0,008	0,007	0,0073
1	0,018	0,019	0,019	0,0186
2	0,023	0,022	0,023	0,0226
3	0,034	0,033	0,033	0,0333
4	0,033	0,033	0,034	0,0333

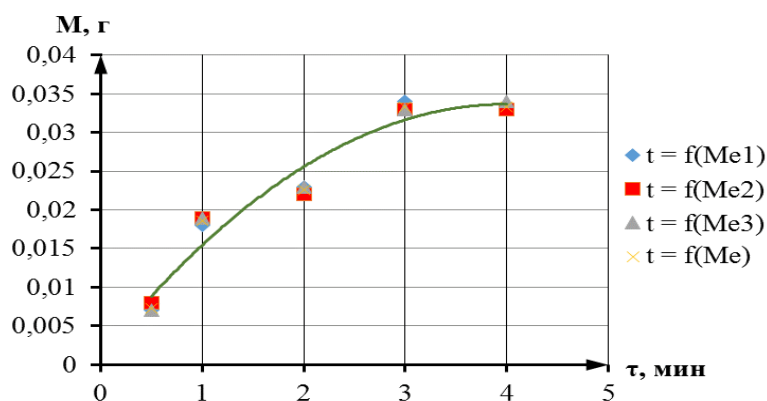


Рис. 2. График зависимости t от Me (Me_{cp} – экспериментальные данные, среднее значение в трех параллельных опытах)

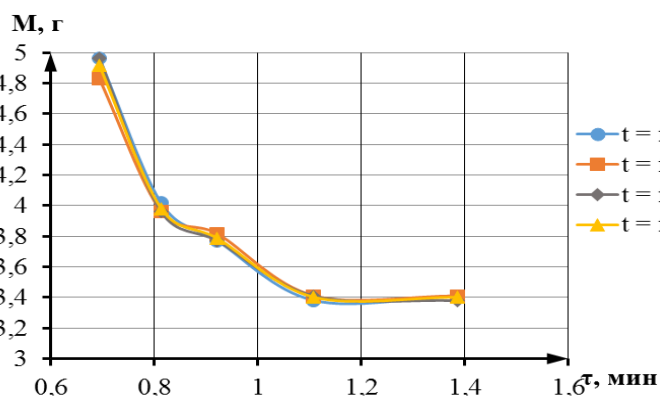


Рис. 3. График зависимости массы частиц от времени в нелинеализированной системе координат

Среднее значение t линеаризованной системы $t_c = 0,984$; среднее значение M линеаризованной системы $M_c = 3,897$; сумма значений $t_{(i)}$ линеаризованной системы $S_{ot} = 4,921$; сумма значений $M_{(i)}$ линеаризованной системы $S_{oM} = 19,485$; сумма произведений $t_{(i)} * M_{(i)}$ линеаризованной системы $S_{iM} = 18,614$.

Коэффициент корреляции $R = 0,958$.

Коэффициенты по МНК: $a = -4,247$; $b = 0,705$; $ab_o = 1,944$; $bb_o = 0,7056$. Расчетное значение критерия Фишера $F_r = 2,57$. Табличное значение критерия Фишера $F_t = 2,59 \rightarrow F_r < F_t$ – модель адекватна. Ошибка опыта $s_{o2} = 0,0016$ – среднее значение ошибки опыта.

Расчетное значение критерия Стьюдента: $ta = 2032,21$; $tb = 12882,38$. Табличное значение критерия Стьюдента $S_t = 2,47 \rightarrow ta$ и $tb > S_t$ – коэффициенты значимы.

На рис. 4 показан сравнительный анализ теоретических значений с экспериментальными.

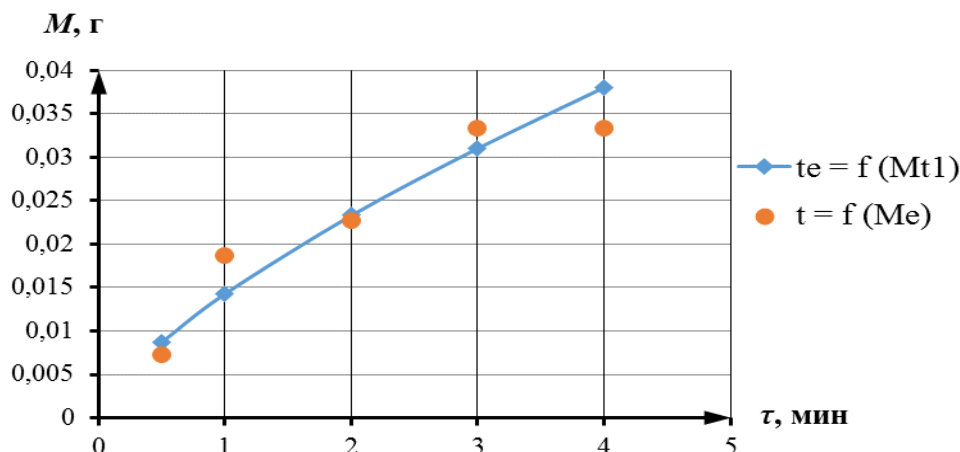


Рис. 4. Сравнение теоретических значений с экспериментальными

Рассчитанные значения коэффициентов a и b , и в случае МНК и МНОК составили: $a = -4,247$, $b = 0,705$, следовательно, точность методов МНК и МНОК одинаковая.

Для нелианизированной системы координат математическая модель, полученная МНОК неадекватна, так как расчетный коэффициент Фишера ($F_{ro_p} = 2,99$) превышает его табличное значение ($F_{ro_t} = 2,59$) при заданных m и n ($F_{ro_p} > F_{ro_t}$).

Расчетные коэффициенты Стьюдента при $m = 3$ и $n = 5$ в случае:

- 1) МНК: $ta_0 = 12987$, $tb_0 = 2157$
- 2) МНОК: $ta_0 = 12882$, $tb_0 = 2032$

Следовательно, значимость коэффициентов, рассчитанных по МНК выше, чем при МНОК.

Коэффициент корреляции r вычисляется по формуле (5) по значениям функций отклика области эксперимента [1].

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(z_i - \bar{z})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2}}, \quad (5)$$

где y_i, z_i – каждое текущее значение функции в области эксперимента;

$\bar{y}, \bar{z}$ – среднее значение функции отклика в области исследования.

Выборочный коэффициент корреляции r по абсолютной величине не превосходит единицы.

Для независимых случайных величин коэффициент корреляции равен нулю, но он может быть равен нулю для некоторых зависимых величин, которые при этом называются некоррелированными. Для случайных величин, имеющих нормальное распределение, отсутствие корреляции означает и отсутствие всякой зависимости.

Расчетный коэффициент корреляции при $n = 5$ и $m = 3$ составил 0,99, что соответствует сильной связи между переменными t и M .

Литература

- [1] Моделирование технологических процессов с помощью метода наименьших квадратов: метод. указания / сост. А.Н. Гайдадин, С.А. Ефремова, Н.Н. Печурина; ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – 16 с.
- [2] Уилки, Ч. Поливинилхлорид / Ч. Уилки, Дж. Саммерс, Ч. Даниелс (ред.); пер. с англ.; под ред. Г. Е. Заикова. – СПб: «Профессия», 2007 г. – 728 с.
- [3] Ульянов, В. М. Поливинилхлорид / В. М. Ульянов, Э. П. Рыбкин, А. Д. Гуткович [и др.]. – М.: Химия, 1992. – 288 с.

ВАКУУМНАЯ МАГНЕТРОННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ МЕТАЛЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КРЕПЕЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Мутыгуллин А.Н., Булаев С.А.

Казанский национальный исследовательский технологический университет

E-mail: vacuum@kstu.ru

До середины 70-х годов прошлого столетия тонкие слои на подложки в вакууме наносились в основном методом термического испарения исходного материала; ионное (катодное) распыление, осуществляемое с помощью газоразрядных диодных и триодных систем, играло меньшую роль из-за низкой производительности [1]. Кроме того, плёнки, получаемые катодным распылением в аномальном тлеющем разряде при относительно большом давлении, имели высокий уровень газовых примесей, и этот метод применяли главным образом для нанесения слоёв тугоплавких материалов. Однако после создания промышленных магнетронных распылительных систем (МРС) ситуация в технологии тонких плёнок изменилась. Благодаря использованию в этих системах скрещенных электрического и магнитного полей повысилась эффективность ионизации газа, а плотность плазмы стала на порядок больше, чем в безмагнитных устройствах катодного распыления. В результате значительно возросли плотность ионного тока на катод и скорость ионного распыления, удалось снизить давление рабочего газа и улучшить многие характеристики наносимых слоёв, а МРС заняли лидирующее положение в технологии тонкослойных покрытий для микроэлектроники, устройств записи информации и дисплеев.

Важной особенностью магнетронного распыления является отсутствие в потоке осаждаемого на подложке вещества капельной фазы и микрочастиц в отличие от термического испарения типа вакуумно-дугового и электронно-лучевого.

Поскольку ионное воздействие на процесс роста тонких плёнок высокого качества не является обязательным, МРС со сбалансированным полем получили широкое применение в настоящее время для нанесения тонких слоёв разнообразных материалов в микроэлектронике и других областях, где необходимы щадящие условия для обработки изделий [2].

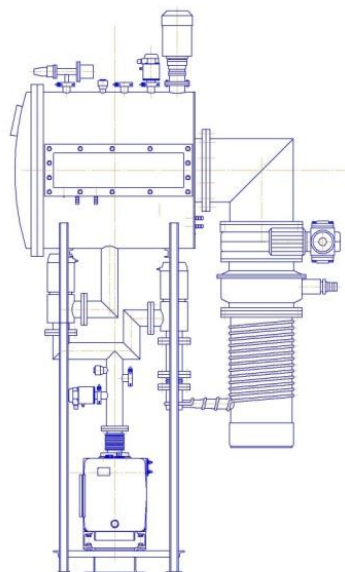


Рисунок. Общий вид установки

Магнетронный метод позволяет наносить декоративные покрытия из различных металлов и сплавов (титан, нитрид титана, алюминий, латунь, медь) в зависимости от того, какой цвет покрытия нам нужно получить. Конструкция магнетрона защищает вакуумную камеру от попадания воды в случае сильного расхода мишени.

Технологическое оборудование предназначено для обеспечения и проведения технологических процессов нанесения вакуумных покрытий. Функционально устройства и блоки вакуумной установки объединяются в вакуумную систему, технологическую систему и систему обеспечения (электропитания, водяного охлаждения).

Вакуумная установка является установкой периодического действия – процесс нанесения покрытий состоит из повторяющихся технологических циклов: “загрузка – вакуумирование – нанесение покрытия – выгрузка”.

Вакуумные насосы обеспечивают создание в рабочей камере необходимого вакуума (давления), требуемых давлений и расходов технологических газов (аргона, азота и др.).

Вакуумная установка (см. рисунок) является компактной, не занимает много площади, благодаря размещению вакуумных коммуникаций с механическим насосом 2НВР - 90Д непосредственно под вакуумной камерой. Используется диффузионный насос НВДМ-250. Вакуумная камера горизонтальной компоновки, с горизонтальной осью вращения барабана. Магнетронный распылитель расположен в камере сбоку в специально спроектированном кармане, что позволило увеличить полезный объем самой камеры. Давление в камере измеряется термопарным и ионизационным вакуумметрами. Автоматизированная система управления контролирует работу всех узлов и блоков, входящих в систему и управляет ими по заданному алгоритму, предотвращая аварийные ситуации.

Напыляемые металлические изделия будут размещаться на специальных узлах, присоединяемых к вращающемуся барабану. Нагреваться изделия до рабочей температуры будут электронагревателем мощностью не более 3 кВт.

Предполагается методом магнетронного напыления наносить нитрид титана на мелкие металлические изделия, с целью придания им благородного "золотого" цвета.

Выделим основные достоинства метода: высокая скорость осаждения, высокая чистота пленок, высокая адгезия пленок к подложке, сохранение соотношения основных компонентов при распылении веществ сложного состава.

Литература

- [1] Технология тонких пленок: справочник: в 2-х т. / под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга, пер. с англ. - М.: Химия, 1977. - 2т.
- [2] ИГЭУ [Электронный ресурс] Магнетрон – Режим доступа: <http://elibr.ispu.ru/library/lessons/Poletaev/10.html>, свободный.

МАГНЕТРОННОЕ И ДУГОВОЕ ОСАЖДЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК

Сунгатуллина М.Ф., Булаев С.А.

Казанский национальный исследовательский технологический университет

E-mail: vacuum@kstu.ru

В настоящее время для получения многокомпонентных защитных тонких (1-5 мкм) покрытий в основном используются PVD-методы (Physical Vapor Deposition), такие как магнетронное распыление, вакуумно-дуговое осаждение и комбинированные методы, включающие одновременное использование ионных источников, магнетронов, электродуговых испарителей, лазерных систем абляции, CVD-методов (Chemical Vapor Deposition) и др.

Перспективным ионно-плазменным методом синтеза многокомпонентных износостойких нитридных покрытий является вакуумно-дуговое осаждение за счет высокой степени ионизации вакуумно-дуговой плазмы (20 - 100 %) широкого диапазона рабочего давления (10^{-4} -1 Па) и возможности регулировки параметров процесса синтеза покрытий в широком диапазоне (ток разряда, давление рабочего газа, напряжение смещения и др.), что позволяет целенаправленно воздействовать на структурные и физико-механические характеристики получаемых конденсатов. А также наряду с вакуумно-дуговым осаждением широко используют и магнетронное распыление [1]. Магнетронное распыление позволяет получать покрытия практически из любых металлов, сплавов и полупроводниковых материалов без нарушения стехиометрического состава. В зависимости от состава рабочей атмосферы

ры (содержание кислорода, азота, диоксида углерода, сернистых газообразных соединений) можно получать плёнки оксидов, нитритов, карбидов, сульфитов различных материалов. Скорость конденсации при магнетронном распылении зависит от силы тока разряда или мощности и от давления рабочего газа, что определяет строгие требования к источникам питания. Состав получаемых соединений (оксидов, карбидов, нитритов) зависит от: чистоты применяемых газов, чистоты распыляемых материалов. Для этого требуются сложные системы откачки газов и высокочистые материалы для распыления [2].

Вакуумно-дуговое осаждение активно используется для формирования на поверхности режущего инструмента, твердых и сверхтвердых износостойких и защитных покрытий, что приводит к значительному увеличению срока его службы, и позволяет в несколько раз увеличить скорость резания. При вакуумно-дуговом испарении синтез покрытия осуществляется из плазмы дугового разряда при высоких энергиях частиц, что обеспечивает хорошую плотность и адгезию покрытия благодаря нагреву и большей энергии ионов. Свойства покрытия зависят от режима осаждения: угла между подложкой, напряжения смещения, температуры подложки, расстояния между подложкой и катодом, химического состава покрытия, последующего отжига и др. [3].

Магнетронное распыление, являясь разновидностью ионного распыления, занимает среди методов получения пленок особое место благодаря своим исключительным возможностям. Имея все достоинства ионного распыления, магнетронное распыление свободно от ряда недостатков ионного распыления. Прежде всего, существенно возрастает скорость нанесения пленок, которая приближается к значениям, характерным для термического испарения. Уменьшаются радиационные повреждения осаждаемых пленок, снижается перегрев подложек и уровень загрязнений [4].

Распыление металла очень важный процесс в современном мире, а вакуумные дуговые испарители помогают осуществить его максимально эффективно и быстро, чтобы поскорее выпустить конечный продукт или изделие.

Литература

- [1] Martin, P.J. Nanocomposite Ti-Si-N, Zr-Si-N, Ti-Al-Si-N, Ti-Al-V-Si-N thin film coatings deposited by vacuum arc deposition / P.J. Martin, A. Bendavid, J.M. Caimey, M. Hoffman // Surface and Coatings Technology. - 2005. - V. 200. - P. 2228 - 2235.
- [2] Лаборатория ионно-пучковых нанотехнологий [Электронный ресурс] Общие сведения (магнетронное осаждение) – Режим доступа: <http://www.ionlab.ru/services/magnetronnoe-parulyenie/podrobnee>, свободный. – Проверено 1.02.2018.
- [3] Любимов, Г.А. Катодное пятно вакуумной дуги / Г. А. Любимов, В.И. Раховский // Успехи физических наук. - 1978. - Т. 125. - вып. 4. - С. 665 - 706.
- [4] Берлин Е.В., Двинин С.А. Вакуумная технология и оборудование для нанесения и травления тонких пленок. - М.: М.: Техносфера, 2007, 176 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА СИНТЕЗА РЕГЕНЕРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

Чайников А.С., Косенков Д.В., Аляев В.А., Зиганшин Р.Р.
Казанский национальный исследовательский технологический университет.
E-mail: chainikovas@vacma.ru

Регенеративный материал – химическое вещество, обеспечивающее поглощение углекислого газа и выделение кислорода в процессе срабатывания регенеративного патрона.

Регенеративные патроны используются в изолирующих дыхательных аппаратах и включают в себя герметичный изолированный корпус, внутреннюю перфорированную обечайку с крышкой, заполненную регенеративным продуктом.

Регенеративный продукт в определенной пропорции содержит надпероксид калия, гидроксид калия, воду, карбонат калия и пероксид щелочноземельного металла (пероксид кальция, бария и магния) [1].

Спроектированная установка предназначена для получения надпероксидов щелочных и щелочноземельных металлов из пероксосолей металлов. Этот технологический процесс является сложной задачей. Связанно это со способностью надпероксидов металлов, при взаимодействии с

влажным воздухом, поглощать диоксид углерода и выделять кислород, то есть регенерировать воздух, что является достоинством материала и одновременно его недостатком в технологическом плане. В процессе получения продукта требуется интенсивное удаление паров воды из реакционной зоны и минимальный контакт кислородосодержащего вещества с атмосферным воздухом, следовательно, технологический процесс необходимо проводить в среде с пониженным давлением [2].

Область применения продукта: замкнутые системы жизнеобеспечения и средства индивидуальной защиты органов дыхания.

Предназначение установки: улучшение эксплуатационных характеристик регенеративного продукта при его работе в патроне изолирующего дыхательного аппарата.

Технический результат заключается в разработке состава регенеративного продукта, имеющего высокую емкость по кислороду и диоксиду углерода, обеспечивающего равномерное поглощение CO_2 и выделение кислорода, снижение сопротивления дыханию и температуры регенерируемого воздуха при работе продукта в патроне дыхательного аппарата.

Проектирование установки производилось на АО «Вакууммаш». Часть технических расчетов выполнено на кафедре ВТЭУ: расчет проводимости вакуумной системы; прочностной расчет камеры; расчет мощности нагревателей.

Установка состоит из следующих основных частей (рисунок): вакуумная камера с охлаждением и циркуляционным вентилятором; линия откачки камеры с запорной арматурой; теплообменник; конденсатосборник; вакуумный агрегат, на базе золотниково-вакуумного насоса; пульт управления; система водоохлаждения.

Камера состоит из цилиндрического корпуса и крышки. Внутри корпуса установлены направляющие для размещения трех энергетических полок, предназначенных для обеспечения температурного режима синтеза продукции в условиях вакуума. Между полками расположены направляющие для установки двух кассет с продуктом.

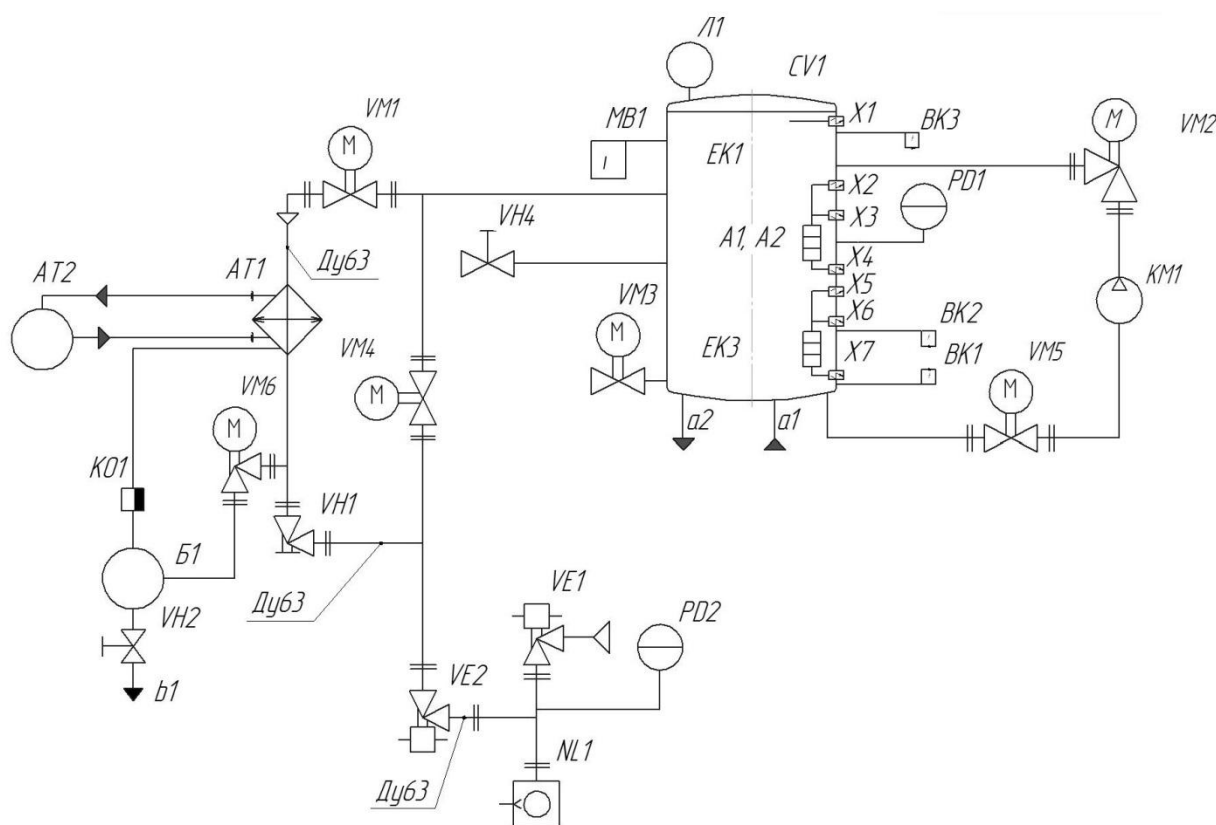


Рисунок. Вакуумная схема установки

Система водяного охлаждения состоит из двух коллекторов (напорного и слива), трубопроводов, рукавов, вентилях. Площадь поверхности теплообмена системы охлаждения и внутреннего объема камеры определяют на стадии проектирования. Хладагентом в системе охлаждения может яв-

ляться как вода, так и растворы этиленгликоля или пропиленгликоля. Минимально допустимая температура хладагента на входе в вакуумную камеру определяется во время отладки установки.

Вакуумирование камеры до рабочего давления осуществляется вакуум-насосным агрегатом АВПЗ-20Д через линию откачки. Контроль давления осуществляется вакуумметром. Линия откачки камеры включает в себя запорную арматуру, трубопроводы, теплообменник, конденсатосборник. Одновременно с вакуумированием камеры ведется откачка внутренней полости конденсатосборника.

Цикл работы установки синтеза продукта включает в себя следующие стадии:

- 1) заполнение продуктовых кассет исходным материалом;
- 2) загрузка в вакуумную камеру заполненных кассет;
- 3) вакуумирование камеры до заданного давления с последующей выдержкой при указанном давлении;
- 4) синтез продукта посредством нагрева кассет до заданной температуры;
- 5) охлаждение продукта путем охлаждения стенок вакуумной камеры с одновременным напуском сжатого воздуха в камеру до абсолютного давления;
- 6) выгрузка продуктовых кассет из вакуумной камеры.

Общая продолжительность цикла работы составляет порядка двух часов.

На данный момент времени спроектированная лабораторная установка синтеза материала находится на стадии изготовления.

Литература

- [1] Ульянова А.М., Андреев В.П. Регенеративный продукт для изолирующих дыхательных аппаратов. [Электронный ресурс]: Патентный поиск в РФ. / Ульянова А.М., Андреев В.П., Рылов Ю.Б., Точиллов А.В., Селезнев А.П., Путин Б.С. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://www.freepatent.ru/patents/2464060>.
- [2] Гладышева Т.В. Нанокристаллический регенеративный продукт. Синтез. Свойства. Применение. / Т.В. Гладышева, Н.Ф. Гладышев, С.И. Дворецкий // Издательский дом «Спектр». – 2014. – 120 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ЗА СЧЕТ СТУПЕНЧАТОЙ ОЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Волокита А.В., Сыромятников П.С.

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенка
E-mail: Ukridu@gmail.com*

Аварийная остановка двигателя сельскохозяйственных машин обуславливает финансовые потери предприятий, значительно превышающие стоимость устранения отказа.

Обеспечение исправного состояния парка сельскохозяйственных машин на предприятиях Украины, не требующих серьезной их модернизации и повышения эффективности эксплуатации, является одной из основных задач, решение которой возможно по пути повышения качества чистоты используемого дизельного топлива.

Перспективным с экономической и технологической точек зрения являются методы очистки дизельного топлива, использующие неоднородное электрическое поле. В основе этих методов лежит способность частиц примеси двигаться под действием поля относительно среды, что используется для выделения заряженных или нейтральных частиц загрязнений из содержащих их жидкостей.

Достоинством метода электроочистки, в частности, дизельного топлива, является малая энергоемкость, удобство эксплуатации, практически неограниченный ресурс установок. Метод позволяет создать унифицированную аппаратуру для обработки дисперсий различных по химическим и физическим свойствам. Применение электроочистительных установок открывает широкие возможности автоматизированного управления ими. Однако, широкое применение электроочистительных установок сдерживается из-за отсутствия достаточно глубоких научных проработок, позволяющих проектировать такие установки с заранее заданными их характеристиками.

Исследование влияния загрязненности дизельного топлива на износ топливной аппаратуры двигателей и поиск путей повышения ее ресурса за счет очистки топлива перед заправкой в топлив-

ные баки сельхозмашин, а также создание систем его предварительной обработки, как и разработка схем и конструкций электрофильтров, является актуальной задачей.

Целью исследований является повышение эффективности использования сельскохозяйственных машин на основе высокоэффективных способов комплектования систем очистки и подготовки дизельного топлива к использованию.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

1. Разработка требований к качеству подготовки дизельного топлива для эксплуатации сельскохозяйственных машин в условиях предприятий.
2. Разработка и анализ математической модели электростатического фильтра для очистки дизельного топлива с заданной эффективностью фильтрации.
3. Разработка схем комплектования и использования систем очистки дизельного топлива, синтез структурной схемы электростатического фильтра.
4. Исследование качества очистки дизельного топлива с помощью разработанной структурной схемы электростатического фильтра на периодические обслуживания системы питания.
5. Исследование влияния степени очистки дизельного топлива на периодичность замены фильтрующих элементов и ресурс фильтров тонкой очистки и плунжерных пар ТНВД сельскохозяйственной техники.

Объект исследований – процессы очистки дизельного топлива при взаимодействии электростатических полей с водой и загрязнением и влияние их на ресурс топливной системы двигателей сельскохозяйственных машин.

Предмет исследования – оценка работоспособности топливной системы дизельного двигателя на основе метода электростатической фильтрации горючего.

Методы исследования – в процессе выполнения работы использовались основные законы и уравнения электростатики и гидромеханики, которые легли в основу математической модели электростатического фильтра. В процессе моделирования и проведения экспериментальных исследований применялись методы теории планирования эксперимента и обработки экспериментальных данных с применением методов статистического анализа. В процессе экспериментов применялись метрологически обеспеченные приборы и соответствующие стандарты.

Проблема увеличения долговечности сельскохозяйственных машин является одной из важнейших, так как простой техники в ремонте и обслуживании связан с большими экономическими потерями. Техническими аспектами ее решения являются наряду с конструкторскими разработками, обеспечивающими необходимое повышение работоспособности машин [1], улучшение качества топлива и масел, эффективная защита двигателя от твердых частиц, вызывающих абразивное изнашивание. Из всего многообразия средств, повышающих работоспособность сельскохозяйственных машин, необходимо выбрать оптимальные, дающие при минимальных затратах максимальный эффект в условиях их эксплуатации в хозяйствах. Для этого необходимо знать факторы, которые оказывают решающее влияние на работоспособность машин.

В современных двигателях внутреннего сгорания, больше половины износов вызвано абразивными частицами. Абразивный износ является основным для многих деталей транспортных и других машин [2-8], работающих в средах, содержащих абразивные частицы.

На основании исследования, полученные результаты имеют практическую значимость:

- разработан метод очистки дизельного топлива от механических примесей и воды с целью предварительной подготовки топлива перед заправкой в топливные баки сельскохозяйственных машин (среднее значение коэффициента фильтрации составляет 0,7, удельная грязеемкость 0,3 % от объема камеры (ячейки)), который можно использовать для предыдущей подготовки топлива без предварительного подогрева;
- уточнены требования к качеству подготовки дизельного топлива перед заправкой в топливные баки транспортных машин при наличии в топливе абразивных частиц и их концентрации, а также зависимость ресурса топливной аппаратуры от класса чистоты;
- разработана методика назначения обслуживания системы питания транспортных машин по эксплуатационным параметрам и качеству очистки дизельного топлива.

Полученные результаты научно обоснованы, статистически значимые, рекомендуются в качестве базовых данных при разработке и внедрения технологии очистки дизельного топлива в условиях предприятий и АЗС. Кроме того, за счет повышения ресурса топливной системы и увеличение периодичности ее обслуживания реальным является уменьшение расхода запасных частей, что снизит суммарные затраты на проведение текущих ремонтов приборов системы питания и уменьшит высокий уровень спроса на запасные части.

Литература

- [1] Сыромятников П.С., Панкратьев А.И. Повышение эффективности работы сельскохозяйственной техники путем очистки дизельного топлива. Материалы IV Международного форума молодежи «Молодежь и сельскохозяйственная техника в XXI веке». – Харьков: ХНТУСХ, 2008, 69 с.
- [2] Шержуков И.Г., Сыромятников П.С., Сыромятников Г.П. Снижение токсичности отработавших газов дизельных двигателей после ремонта. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Випуск 67. “Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні”. Том 1. – Харків: ХНТУСГ, 2007, 114 – 118 с.
- [3] Врублевский А.Н., Григорьев А.Л., Грицюк А.В., Денисов А.В., Щербаков Г.А Особенности математического моделирования гидромеханических процессов ЭГФ // ДВС, №1, 2007, 44 – 52 С.
- [4] Coppo M., Dongiovanni C., Negri C. A Linear optical sensor for measuring needle displacement in common-rail diesel injectors Sensors and Actuators A: Physical Volume 134, Issue 2, 15 March 2007, Pages 366 - 373.
- [5] Харьяков А.В., Сыромятников П.С. Диагностический мониторинг технического состояния узлов и агрегатов мобильной сельскохозяйственной техники. Материалы XIV Международной научно-производственной конференции (19 - 22 апреля 2009 г.), БГСА, Белгород, 2009, 136 с.
- [6] Шержуков И.Г., Сыромятников П.С., Сыромятников Г.П. Особенности работы топливной системы дизельных двигателей с применением насос-форсунок с электронным управлением типа CCRS, обеспечивающий стандарт евро 3. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Випуск 46. “Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні”. Том 1. – Харків: ХНТУСГ, 2006, 176 – 179 с.
- [7] Шевеля В.В., Дворук В.И., Радченко А.В. Обеспечение триботехнических свойств композиционных материалов при абразивном изнашивании. //Проблемы трибологии, 2000, № 1, с. 67 - 73.
- [8] Ball A. Combating abrasive-corrosive wear in aggressive mining environment. //Plenary Papers of The World Tribology Congress Bath, UK: Bookcraft Limited. 1997. 300. P. 95 - 102.

ОПТИМИЗАЦИЯ ОБЪЕМОВ И НОМЕНКЛАТУРЫ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДАМИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Перезва К.С., Сыромятников П.С.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенка.

E-mail: Ukridu@gmail.com

Выбор оптимальной производственной программы восстановления деталей можно рассматривать как общую задачу математического программирования:

найти вектор $X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in G$, (1)

удовлетворяющий системе ограничений

$$\varphi_i(X) = \varphi_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_i, \quad i = \overline{1, m} \quad (2)$$

и обеспечивающий целевой функции экстремальное значение

$$F(X) = F(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \text{extr}, \quad (3)$$

где $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – вектор определяющий производственную программу восстановления деталей, его компоненты x_j означают объем восстановления деталей j-го наименования в плановом периоде; G – область, заданная свойствами дополнительных ограничений; $\varphi_i(X)$ – функция потребления i-го на восстановление деталей; b_i – количество ресурса i-го вида, которое может использовать предприятие в течении планового периода (например, плановый фонд рабочего времени токарных станков в станко-ч); $F(X)$ – функция, определяющая показатель качества (критерий эффективности) программы.

В зависимости от способностей функции $\varphi_i(X)$, $F(X)$ и вида области G модель (1)-(3) обладает теми или иными формальными свойствами, и относится к тому или иному классу задач математического программирования. Поэтому для численного решения задачи определения производственной программы восстановления деталей необходимо конкретизировать вид указанных функций и области G .

Установим вид функции $\varphi_i(X)$, описывающий расход ресурсов на восстановление деталей. В зависимости от конкретных производственных условий в рассмотрении может быть включено большее или меньшее число существенных производственных ресурсов.

Поскольку восстановление деталей производится с целью сокращения расхода на детали при ремонте машин [1], то в качестве критерия оптимизации производственной программы $F(X)$ наиболее целесообразно взять минимум этих расходов т.е. $F(X) + \sum_{j=1}^n (z_j s_{ij} + x_i s_{ij}) \rightarrow \min$ (4)

Литература

- [1] Сумец А.М., Сыромятников П.С. Результаты исследования технического состояния деталей коробки передач автомобилей ГАЗ-3909. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 122. «Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві», Харків. 2012. С. 47 – 54.

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ГИДРОПРИВОДОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ТРАКТОРОВ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Ткаченко И.Н., Сыромятников П.С.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенка

E-mail: Ukridu@gmail.com

Современные энергонасыщенные тракторы и сельскохозяйственные машины оснащены гидроприводом рабочего оборудования, который обеспечивает высокую эффективность использования машинно-тракторных агрегатов. Однако установлено, что до 10% отказов машин приходится на эту систему. Существующая технология диагностирования не позволяет в короткий срок без демонтажа оценить техническое состояние агрегатов гидросистемы. Это приводит к отсутствию постоянного контроля за техническим состоянием гидроагрегатов и, как следствие, простоям тракторов и сельскохозяйственных машин в напряжённые периоды выполнения сельскохозяйственных работ из-за отказов, недоиспользования технического ресурса гидроагрегатов до 25%, увеличению расхода запасных частей.

В этих условиях особенно актуальны вопросы снижения трудоёмкости диагностирования, технического обслуживания и ремонта гидроприводов навесных систем, гидроагрегатов тракторов и сельскохозяйственных машин путём совместного контроля работоспособности и поиска их неисправностей.

Анализ проведенных исследований учёными динамических процессов гидроприводов, надёжности гидроагрегатов, существующих методов и средств диагностирования гидроприводов, рассмотрение методов обоснования режимов диагностирования и технического обслуживания машин показал, что решены многие задачи конструктивного усовершенствования, повышения устойчивости, быстродействия гидроприводов различных механизмов.

Так же рассматриваются вопросы повышения эксплуатационной надёжности различных систем, в том числе гидроприводов навесной системы, путём применения прогрессивных методов технического обслуживания и диагностирования, что позволит обслуживать машины по фактическому техническому состоянию на основе дискретного или непрерывного контроля её работоспособности.

Существующий режим диагностирования гидроприводов рабочего оборудования сельскохозяйственных машин и тракторов не позволяет обслуживать их по фактическому состоянию вследствие отсутствия оптимальной периодичности контроля и допустимых значений диагностических параметров, что приводит к неоправданным потерям из-за несвоевременного проведения технического обслуживания и ремонта.

Литература

- [1] Надточій В.І., Сиромятніков П.С. Удосконалення технології ремонту гідророзподіль-ників сільсько-господарських машин відновленням і зміцненням деталей електроіскровим методом. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Інноваційні розробки студентів та молодих учених в галузі технічного сервісу машин». – Харків: ХНТУСГ. 2014. - С. 69.
- [2] Пединич А.А., Сиромятніков П.С. Оцінка працездатності та розробка технологічних рекомендацій по ремонту об'ємних гідроприводів сільськогосподарських машин. Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Інноваційні розробки студентів та молодих науковців в галузі технічного сервісу машин». – Харків: ХНТУСГ, 2017. – С. 96.

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОБЪЕМНЫХ ГИДРОПРИВОДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Удовиченко А.Н., Сыромятников П.С.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенка

E-mail: Ukridu@gmail.com

Анализ конструкций современных отечественных и зарубежных сельскохозяйственных машин показал, что одной из наиболее ответственных систем, влияющих на надежность техники, является объемный гидропривод.

Широкое применение объемного гидропривода ГСТ-112 на сельскохозяйственной технике обусловлено рядом преимуществ, к которым относится бесступенчатое регулирование скорости вращения и реверс гидромотора, компактность, высокий КПД до 0,97, пригоден для работы при частотах вращения до 3000 об/мин и давлении до 42 МПа, обладает малой инерционностью.

Исследования эксплуатационной надежности и причин потери работоспособности объемных гидроприводов, по имеющимся данным литературных источников показали, что наработка до отказа и до ремонтный ресурс новых ГСТ значительно ниже заявленного заводами-изготовителями норматива, а причинами отказа являются гидроабразивный износ деталей и увеличение зазоров в прецизионных соединениях узлов и агрегатов гидропривода.

Установлено, что для обеспечения 90 - 100 % межремонтного ресурса агрегатов необходимо снизить интенсивность изнашивания рабочих поверхностей не менее, чем в 1,5-2 раза. Для создания таких покрытий предлагается использовать источники концентрированной энергии.

Основные рекомендации изготовителя гидроприводов сервисным предприятиям сводятся к замене изношенных деталей на новые, однако средний межремонтный ресурс отремонтированных ГСТ-112 остается низким, не более 80% от до ремонтного, при себестоимости до 70% стоимости нового изделия.

Существует острая необходимость в разработке новых, экономически целесообразных технологий ремонта объемных гидроприводов, обеспечивающих техническое состояние и повышение межремонтного ресурса агрегатов до уровня нового.

Перспективным направлением в повышении межремонтного ресурса агрегатов является нанесение на рабочие поверхности деталей покрытий с необходимыми функциональными свойствами [1]. Одним из способов формирования таких покрытий, отвечающих требованиям универсальности, локальности обработки, небольших затрат на эксплуатацию оборудования и возможности использования большой гаммы электродных материалов, является электроискровая обработка (ЭИО). Однако для восстановления ответственных деталей ГСТ-112 данная технология не применялась.

Литература

- [1] Практикум з ремонту машин. Технологія ремонту машин, обладнання та їх складових частин. Том 2/ Сідашенко О.І., Тіхонов О.В., Скобло Т.С., Мартиненко О.Д., Гончаренко О.О., Сайчук О.В., Аветисян В.К., Автухов А.К., Рибалко І.М., Сиромятніков П.С., Бантковський В.А., Маніло В.Л./За ред. О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонова. Навчальний посібник.- Харків: ТОВ «Прам-Арт», 2018 – 491 с.

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ
ГИДРОСИСТЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН И ТРАКТОРОВ**

Яременко А.А., Сыромятников П.С.

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенка**E-mail: Ukridu@gmail.com*

Вопросы повышение технического уровня, качества, надежности и долговечности машин и оборудования, поставляемых сельскому хозяйству, обеспечение дальнейшего развития сервисного обслуживания и качества ремонта машин в настоящее время является актуальной задачей.

Применение гидравлических навесных систем дает возможность повысить производительность сельскохозяйственных агрегатов и снизить себестоимость выполняемых работ.

Основным направлением исследований является проблема повышения надежности и долговечности агрегатов гидросистем. Она может решаться различными путями:

- 1) разработкой рациональных конструкций;
- 2) подбором материалов трущихся пар;
- 3) применением передовой технологии изготовления и восстановления деталей агрегатов гидросистем;
- 4) подбором оптимальных режимов эксплуатации.

На надежность работы тракторных и сельскохозяйственных гидросистем существенное влияние оказывают распределительные, гидроусилители рулевого управления и другие).

Распределительные устройства большинства гидросистем – клапанно-золотниковые, которые отличаются недостаточной надежностью и долговечностью.

Надежность и долговечность золотниковой пары в значительной мере зависит от качества выполнения операций технологического процесса обработки деталей, особенно финишных.

При изготовлении и восстановлении деталей золотниковой пары распределительных устройств гидросистем возникает ряд технологических трудностей. Особые трудности возникают при восстановлении прецизионных отверстий.

В настоящей работе приводятся результаты исследований по повышению точности обработки прецизионных отверстий при ремонте корпусов гидрораспределителей, результаты исследований по влиянию точности обработки на величину зазора при комплектовке золотниковых пар и на ресурс сопряжения.

Литература

- [1] Сыромятников П.С. До питання підвищення надійності та довговічності розподільчих пристроїв гідросистем сільськогосподарських машин і тракторів. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС - 2017): матеріали тез доповідей VII міжнародна науково-практична конференція (м. Чернігів, 24-27 квіт. 2017 р.): у 2 - х т. /Чернігівський національний технологічний університет [та ін.]; відп. за вип.: Єрошенко Андрій Михайлович [та ін.]. – Чернігів: ЧНТУ, 2017. – т. 1, С. 199 – 200.

**ВЛИЯНИЕ УСТАНОВКИ КОНУСА В ВЫХЛОПНУЮ ТРУБУ
ЦИКЛОНА НА ДИСПЕРСНОСТЬ ОТЛОВЛЕННЫХ ЧАСТИЦ**

Никулин А.С., Круглов С.С.

*Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина**Email: nikulinskiy@yandex.ru*

В качестве исследуемого циклона был выбран циклон ЦН-15-600. По проектной документации [1] номинальная производительность 0,9 м³/с, что соответствует скорости на входе 14,5 м/с, а по данным статьи [2], посвящённой исследованию циклона при пониженной производительности взята скорость 3,94 м/с, поэтому в данном исследовании скорость на входе была принята 3,94 м/с, т.к. исследуется модернизация уже установленных циклонов, работающих при пониженных скоростях. Состав газовой смеси, давление и температуру газа так же возьмем по статье [2]: рабочее давление газа 5,72 МПа, температура 8 °С. состав газовой смеси приведен в табл. 1.

Табл. 1. Состав газа

Компонент	Молярная доля в смеси
Метан	0,9864
Этан	0,0042
Пропан	0,0009
Бутан	0,0003
Пентан	0,0001
Азот	0,0077
Углекислый газ	0,0004
Сумма	1,0000

В ASPEN HYSYS были определены свойства смеси. В табл. 2 приведены свойства газа, требуемые для расчета.

По данным [1] примем насыпную плотность твердых частиц 2000 кг/м^3 . Диаметр частиц: 5, 15, 20 мкм.

После проведенных исследований было выявлено, что лучше всего показывает себя конус, обращенный меньшим диаметром вниз, установленный на входе в выхлопную трубу.

На рис. 1а изображена 3D модель циклона без внутренних элементов, а на рис. 1б изображена модель с внутренним элементом – конусом, обращенным меньшим диаметром вниз.

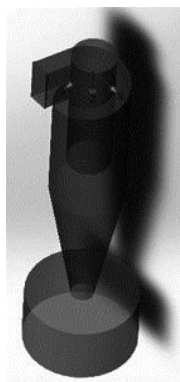
Граничные условия: полностью развитый поток на выходе со скоростью $3,94 \text{ м/с}$, давление окружающей среды на выходе $5,72 \text{ МПа}$. На рис. 2 показаны граничные условия. По оси Z применена сила тяжести с ускорением равным $9,98 \text{ м/с}^2$.

На рис. 2 показаны траектории движения газа с нанесенными на них скоростями потока. На рис. 3 приведены траектории движения частиц размером 20 мкм.

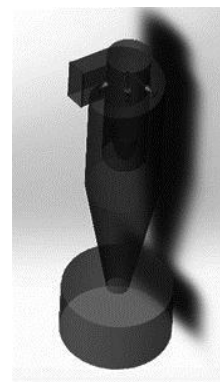
По результатам расчета была найдена эффективность очистки газа от механических примесей с размером частиц 5, 15 и 20 мкм. В табл. 3 и 4 приведены сводные результаты расчета циклонов.

Табл. 2. Состав газа

Наименование	Значение
Молярная масса, г/моль	16,25
Показатель адиабаты	1,097
Динамическая вязкость, Па·с	0,00001667
Удельная теплоемкость, Дж/кг·К	2607
Теплопроводность, Вт/м·К	0,04774

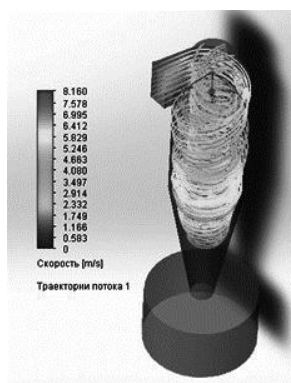


а

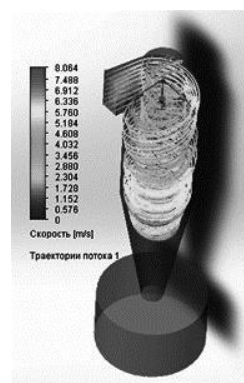


б

Рис. 1. 3D модели циклона ЦН-15-600 без внутренних элементов (а), с конусом, обращенным меньшим диаметром вниз (б)

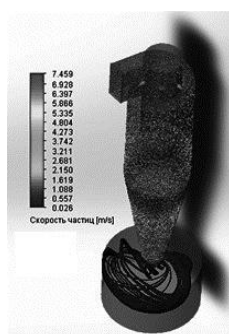


а

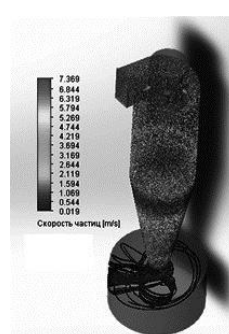


б

Рис. 2. Траектории движения газа без внутренних элементов (а), с конусом, обращенным меньшим диаметром вниз (б)



а



б

Рис. 3. Траектории движения частиц 20 мкм без внутренних элементов (а), с конусом, обращенным меньшим диаметром вниз (б)

Табл. 3. Результаты расчета циклона без внутренних элементов

Размер частиц, мкм	Эффективность очистки, %	Перепад давлений, МПа
5	8	0,0013
8	15	
15	18	
20	92	

Табл. 4. Результаты расчета циклона с установленным конусом

Размер частиц, мкм	Эффективность очистки, %	Перепад давлений, МПа
5	21	0,0017
8	99	
15	100	
20	100	

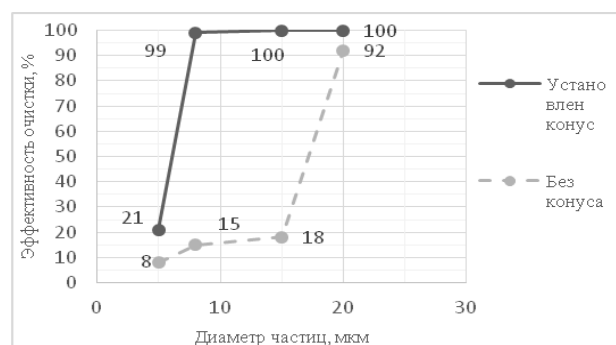


Рис. 4. Зависимость эффективности очистки от диаметра частиц

На рис. 5 представлена сравнительная диаграмма эффективности очистки газа без установки конуса и с установленным конусом.

В результате расчета было получено что, установив внутри циклона конус, обращенный меньшим диаметром вниз, можно повысить эффективность очистки, но увеличится перепад давлений.

Литература

- [1] ГП 628.01.000-21 РР2. Пылеуловитель / ЦКБН, 2007.
- [2] Алиев Т.Т., Беляев С.Н., Галахарь А.С. Моделирование в среде ANSYS течения многокомпонентной газовой смеси через циклон ЦКБН пылеуловителя ГП-628 на участке очистки газа // Известия вузов. Машиностроение. – 2014 – № 10 – С. 25 - 30.

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ВИНТОВЫХ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ ЗАРУБЕЖНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Подножкин А.И., Исаев А.А.*, Тюрин А.В., Капустин Е.Н.*
*Казанский национальный исследовательский технологический университет,
АО «Вакууммаш». E-mail: podnozhkin95@mail.ru

Большинство технологических процессов химической промышленности проходят в вакууме, в качестве вакуумных насосов используют как жидкостнокольцевые вакуумные насосы, так и агрегаты на базе жидкостнокольцевых насосов с эжекторной ступенью. Такая система откачки имеет два основных недостатка: 1 – низкий вакуум (система вакууммирования позволяет получить давление не ниже 8–10 мм рт. ст.) 2 – обратный поток рабочей жидкости насоса в откачиваемый объем.

Зарубежные и отечественные предприятия в качестве средств вакууммирования используют винтовые вакуумные насосы, которые имеют ряд преимуществ: 1 – отсутствие обратного потока рабочей жидкости в откачиваемый объем; 2 – обеспечивают намного более глубокий вакуум до $4 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст.; 3 – низкий уровень шума; 4 – возможность работы с твердыми частицами в откачиваемой среде; 5 – обеспечивают откачку и утилизацию редких, химически агрессивных и радиоактивных газов без их проникновения в окружающую среду, не допуская их потерь и нарушения экологии; 6 – существенно снижают затраты на эксплуатацию насосов; 7 – высокая производительность до 2250 м³/ч, при необходимости увеличения производительности винтовые вакуумные насосы агрегируются с насосами рутса и позволяют получить до 7000 м³/ч.

В России на данный момент нет аналогов винтовым вакуумным насосам, и в связи с их высокой востребованностью отечественной промышленностью, на предприятие АО ВАКУУММАШ было принято решение о создании высокотехнологичных винтовых вакуумных насосов производительностью 250 и 630 м³/ч.

В связи с этим решением был проведен анализ конструкций винтовых вакуумных насосов лидирующих зарубежных производителей:

Классификация винтовых вакуумных насосов:

1. По типу конструкции винтовой пары – условно герметичный [1] (рис. 1) и условно негерметичный [1] профиль (рис. 2) оба профиля имеют как постоянный, так и переменный шаг (при применении условно герметичных профилей, винты не являются полностью уплотняемыми, но для практических целей уплотнение межвиточных камер достаточно. Это важное свойство профилей используют многие производители винтовых насосов, проектируя профиль так чтобы одна сторона – вогнутая (циклоидная) была уплотняющей, а другая – выпуклая силовой. Силовая сторона профиля – обычно или эвольвента, или прямая или выпуклая циклоида).
2. По частоте вращения роторов различают насосы с частотой вращения 3000 об/мин и 7200 об/мин. Частотой вращения 7200 в основном обладают насосы с условно негерметичным профилем ротора.
3. По конструктивному исполнению – консольные (Leybold SCREWLINE SP 250; 630), двухопорные (Leybold Elmo; Rietschle; BUSCH; Edwards и др.).

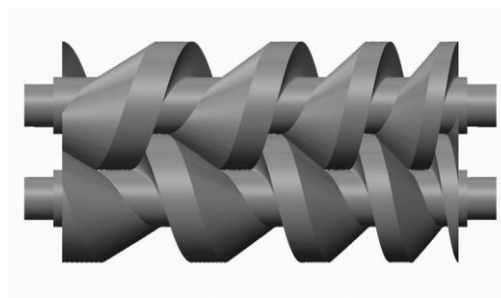
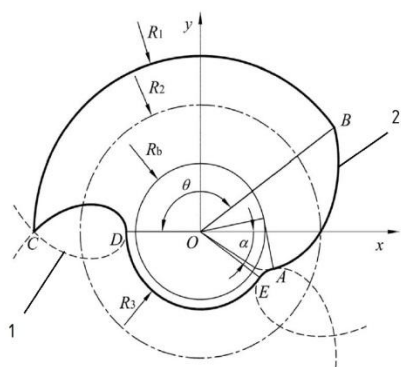


Рис. 1. Условно герметичный профиль ротора винтового вакуумного насоса

Уравнение построения кривой CD и EA [1]:

$$\begin{cases} X_{CD/EA} = 2R_3 * \cos(2t) - R_3 * \cos(2t) - 2R_3 * \sin(t) \\ Y_{CD/EA} = 2R_3 * \sin(2t) - R_3 * \sin(2t) + 2R_3 * \cos(t) \end{cases} \quad (1)$$

Уравнение построения кривой AB [1]:

$$\begin{cases} X_{AB} = R_3 * \cos(t) + t * \sin(t) \\ Y_{AB} = R_3 * \sin(t) + t * \cos(t) \end{cases} \quad (2)$$

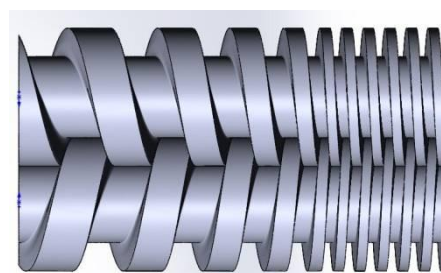
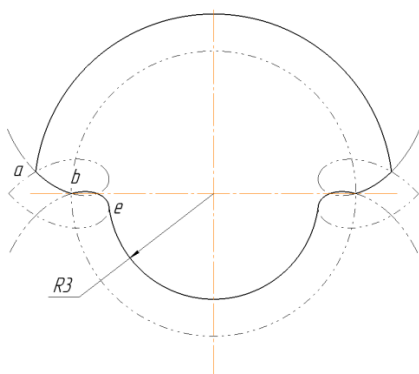


Рис. 2. Условно не герметичный профиль ротора винтового вакуумного насоса

Уравнение построения кривой AB и BE [2]:

$$\begin{cases} X_{AB} = 2R_3 * \cos(2t + t1) - R_3 * \cos(2t + t1) - 2R_3 * \sin(t) \\ Y_{AB} = 2R_3 * \sin(2t + t1) - R_3 * \sin(2t + t1) + 2R_3 * \cos(t) \end{cases} \quad (3)$$

Исходя из проведенного анализа конструкций можно сделать вывод о том, что ротор с переменным шагом и профилем, показанным на рис. 2, является одной из последних версий роторов винтовых вакуумных насосов обеспечивающих более надежную работу насоса меньшее потребление мощности как следствие меньшее рассеивание тепла, но данные ротора требуют повышенных оборотов привода около 7200 об/мин, что в свою очередь приводит к разработке специального двигателя или разработке мультипликатора.

Литература

- [1] Винтовые насосы/Д. Ф. Балденко, М. Г. Бидман, В.Л. Калишевский и др.- М.: Машиностроение, 1982. – 224 с.
- [2] Yang Lu, Yu Fu, Bei Guo et al, Study on Design of Rotor Profile for the Twin Screw Vacuum Pump with Single Thread Tooth, 2015 *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 90 012007.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

Устинов Н.А., Денисенко И.П., Ливанова Т.В.

*Балаковский инженерно-технологический институт (филиал национального исследовательского
ядерного университета МИФИ). E-mail: irishka.den@mail.ru*

На сегодняшний день изучение применения альтернативных источников энергии становится всё больше не столько просто исследованием одного из направлений энергетики ради интереса, сколько подготовкой к использованию этих источников на постоянной и, возможно, вынужденной основе.

Уже в настоящее время многие страны отказываются от традиционных источников энергии и максимально заменяют их на альтернативные. Дело не только в том, что использование энергии солнца, ветра, волн морей и океанов и других является более выгодным в плане того, что все эти источники – возобновляемые, практически бесконечные, но и в том, что с точки зрения экологии они являются наиболее лучшим вариантом, нежели использование традиционных источников, отходы от использования которых отравляют окружающую среду и приносят вред не только всему живому, но и зачастую оборудованию предприятий.

Один из минусов использования альтернативных источников энергии – низкая эффективность (за исключением водных источников энергии). Конечно, учёные работают в направлении повышения кпд. Способов увеличить результативность установок генерации энергии очень много, всё ограничено лишь нашим воображением и немного возможностями материалов нашей планеты.

В данной статье затрагивается преобразование кинетической энергии ветра в нужную нам механическую. Масштабы установок небольшие. Для проведения экспериментов использовался вентилятор, к которому присоединялись насадки различных размеров. В зависимости от насадки и от расположения её от источника ветра менялась и получаемая мощность от ветрового потока.

На рис. 1 схематично изображена насадка. В табл. 1 приведены данные используемых насадок.

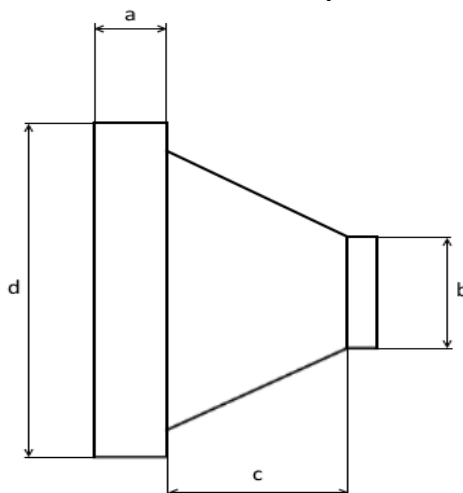


Рис. 1. Схематичное изображение насадки

Табл. 1

	a, мм	b, мм	c, мм	d, мм
1	10	90	20	110
2	10	90	40	110
3	10	90	60	110

Результаты испытаний сведены в таблицу зависимости мощности от расстояния до источника ветра, скорости потока воздуха и, собственно, самих насадок. Данные приведены в табл. 2.

По полученным данным составлен график (рис. 2), из которого явно видно, что с использованием насадок мощность повышается. Полученный результат связан с тем, что благодаря насадке поток воздуха становится более устойчивым, а, значит, и более эффективным.

Табл. 2

	8,4 м/с	6,9 м/с	5,9 м/с
	50 мм	100 мм	150 мм
Без насадки	14	10	7
С 1-ой насадкой	12	15	10
С 2-ой насадкой	25	20	15
С 3-ей насадкой	37	27	23

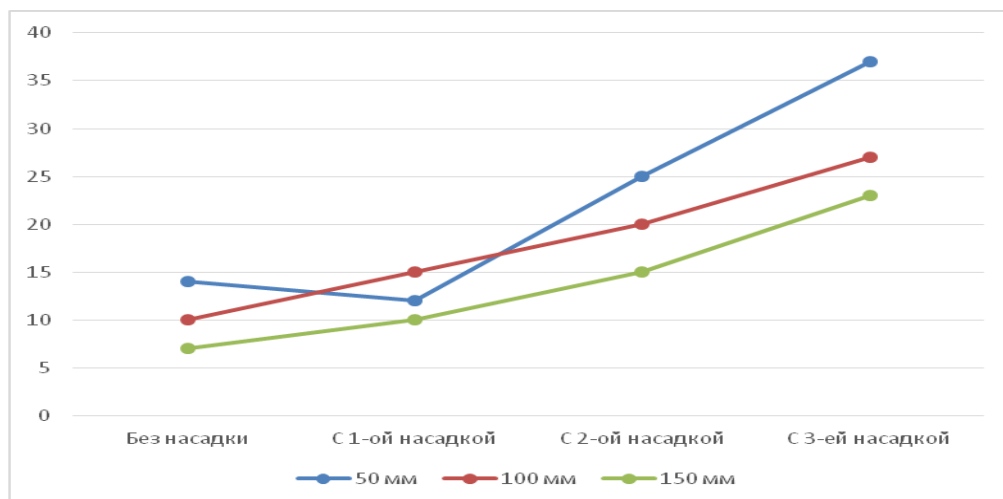


Рис. 2. График зависимости получаемой мощности

Открытым остаётся вопрос, как размеры установки будут влиять на полученные зависимости, однако исследования продвигаются вперёд и по сегодняшним результатам будущее у исследований довольно светлое.

Литература

[1] Безруких, П. П. Ветроэнергетика / П.П. Безруких, (мл.) Безруких, Грибков. - М.: Интехэнергоиздат, Теплоэнергетик, 2014. - 304 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МАСЕЛ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Фомина В.А.

Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина.

E-mail: vikusikfomina.17@gmail.com

При подборе теплоносителей для закрытых контуров долгое время уделялось внимание только теплоемкости, как параметру, характеризующего количество тепла, способного поглотить/отдать маслом при работе. Однако, при интенсификации процесса теплообмена и увеличении площадей теплообменного оборудования следует учитывать и теплопроводность масел для учета кинетики процесса.

Подбор масла с оптимальной теплопроводностью дает возможность эксплуатанту уменьшить время теплообмена и увеличить перекачку теплоносителя. Поэтому важно выполнять анализ теплопроводности масел не только при начальной или конечной рабочих температурах, но и в интервале рабочих температур, так как теплопроводность жидкостей зависит от температуры.

Одним из наиболее распространенных методов измерения теплопроводности жидкостей является метод лазерной вспышки (LFA), соответствующий ASTM E1461, DIN EN 821-2, DIN 30905, ISO 22007-4 и ISO 18755. При проведении измерений методом лазерной вспышки нижняя поверхность образца нагревается коротким лазерным импульсом, в результате чего происходит изменение

температуры на верхней поверхности образца, которое регистрируется с помощью инфракрасного детектора. Чем выше температуропроводность образца, тем больше увеличение сигнала. Альтернативным и менее распространенным является использование дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), метода греющих плит (HFM) или метода горячей проволоки (ТСТ).

Следует отметить, что стоимость прибора для LFA значительна и следует рассмотреть возможность использования более универсальных приборов, например, дифференциального сканирующего калориметра, который также для снижения исследований адсорбентов и определения типов полимерных материалов [1-3].

В результате работы были измерены теплопроводности масел в интервале 50 - 100°C на дифференциальном сканирующем калориметре с погрешностью не более 5 % с использованием как открытых тиглей, так и тиглей с крышкой при использовании различных газов (азот, гелий, аргон).

Литература

- [1] Козлов А.М., Карпов А.Б., Авакян Т.А. Определение состава природного газа методом газовой хроматографии. Методические указания по выполнению лабораторной работы. М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. 2013. 31 с.
- [2] Карпов А.Б., Козлов А.М., Жагфаров Ф.Г. Современные методы анализа газа и газоконденсата. Учебное пособие. М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2015. 238 с.
- [3] Карпов А.Б., Козлов А.М. Разработка адсорбционно-селективных технологий выделения гелия// Сборник тезисов 69-ой международной конференции «Нефть и газ 2015». РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2015. С.161.

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ СПГ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА

Кондратенко А.Д.

Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина

E-mail: andre kondratenko@mail.ru

В настоящее время в больше возрастает роль сжиженного природного газа (СПГ) в качестве моторного топлива. Однако, следует отметить, что для применения СПГ в двигателях внутреннего сгорания в качестве газомоторного топлива необходимо получать продукт, показатели качества которого должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 56021-2014 «Газ горючий природный сжиженный. Топливо для двигателей внутреннего сгорания и энергетических установок. Технические условия».

Для достижения требуемых значений по показателям «мольная доля метана, не менее 99,0%» и «область значений числа Воббе (высшего)» следует корректировать углеводородный состав природного газа [1].

Для коррекции углеводородного состава в данной работе предложен комбинированный способ подготовки природного газа к сжижению. На первом этапе из потока природного газа через мембрану в зону низкого давления проникают водяные пары, диоксид углерода, сероводород и углеводороды C₂₊. Метан является одним из наименее проникающих компонентов, что обуславливает его накопление в ретентате.

Для компонентов природного газа, характерно увеличение проницаемостей в ряду:



Таким образом, на данной стадии осуществляется коррекция углеводородного состава природного газа, а также его предварительная очистка от сероводорода и углекислого газа, а также неглубокая осушка. Применение мембранного разделения позволяет разгрузить блок глубокой очистки и осушки природного газа, тем самым повысить энергоэффективность процесса.

Следует отметить, что качество СПГ определяется не только нормативными документами, определённые требования накладывает сам процесс сжижения. Например, для предотвращения эксплуатационных проблем в криогенных установках (обмерзание теплообменников из-за высокого содержания воды и углекислого газа, образования амальгам на алюминиевых частях оборудования,

коррозия оборудования), концентрация этих веществ в газе, поступающем на ожижение, ограничивается.

Для глубокой очистки и осушки природного газа в данной работе на второй стадии предложено использование короткоциклового адсорбции (КЦА).

Главное преимущество этого метода заключается в том, что циклы адсорбции и десорбции проводятся при одной и той же температуре, что значительно сокращает расход энергии на стадии регенерации адсорбента.

Для получения СПГ, используемого в качестве газомоторного топлива целесообразно использование малотоннажных установок сжижения.

Таблица. Сравнение технико-экономических показателей

Тип схемы	Объекты реализации	Коэффициент ожижения, %	Удельные энергозатраты, кВт·ч/т СПГ
Дроссельный цикл	ГРС «Никольская»	2	10
Дроссельный циклом высокого давления	АГНКС г. Первоуральск	47	590*
	АГНКС г. Кингисепп, ГРС-1 г. Калининград, КСПГ Псков	40	870
Цикл с вихревой трубой	ГРС «Выборг»	4	10
Дроссельно-эжекторный цикл	АГНКС-8 «Петродворец», АГНКС-500 «Развилка»	48	360*
Дроссельно-детандерный цикл	ГРС-4 г. Екатеринбург	11	10
Азотный цикл	УСПГ Пермский край	99	840
Цикл с двумя контурами охлаждения	проект	99	637

* Удельные энергозатраты установок, рассчитаны с учетом затрат энергии на сжатие газа на АГНКС

Таким образом, применение предварительного мембранного разделения и КЦА позволяет подготовить природный газ к сжижению для получения СПГ используемого как газомоторное топливо [3]. Однако, для этого необходимо применять энергоэффективную технологию сжижения природного газа, предложенную в данной работе.

Литература

- [1] Кондратенко А.Д., Карпов А.Б., Козлов А.М. Разработка комбинированного способа предварительной подготовки природного газа перед сжижением // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке Материалы конференции. 2017. С. 132 - 134.
- [2] А.Д. Кондратенко, А.Б. Карпов, Козлов А.М. СПГ на топливо. Технология получения малотоннажного СПГ с двумя контурами охлаждения // Деловой журнал Neftegaz.ru № 2, 2018. - С. 50 – 54.
- [3] Кондратенко А.Д., Карпов А.Б., Мещерин И.В. Разработка технологии подготовки природного газа к сжижению для получения СПГ высокого качества // Молодая нефть. Материалы Всероссийской молодежной научно-технической конференции нефтегазовой отрасли. 2017. С. 239 - 242.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЛАВЛИВАНИЯ ТВЕРДЫХ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ИЗ ГАЗОВОГО ПОТОКА В ПРЯМОУГОЛЬНЫХ СЕПАРАТОРАХ

Сафина Д.И., Мадышев И.Н., Дмитриева О.С.

Нижнекамский химико-технологический институт (филиал КНИТУ)

E-mail: ilnur9102@gmail.com

Очистка промышленных газовых выбросов от твердых дисперсных частиц является одной из важнейших задач современного производства и относится к такому приоритетному направлению развития науки и техники, как «Рациональное природопользование». Известно, что пылевые выбросы современных промышленных предприятий составляют более 50 % от суммарных выбросов в атмосферу и приближаются к 3 млн. тонн пыли в год [1].

В настоящее время для улавливания аэрозолей из отходящих газов используется широкий класс газоочистного оборудования (циклоны, фильтры, пылеуловители, осадительные камеры и др.). Основным недостатком инерционных аппаратов «сухой» очистки является невозможность работы при высокой температуре и повышенной влажности газов. Кроме того, в химических и металлургических производствах требуется обработка, как правило, химически агрессивных, коррозионно-активных и абразивных рабочих сред.

В связи с этим широкое применение для очистки дымовых или агрессивных газов может найти разработанный авторами пылегазоулавливающий аппарат [2]. Основными достоинствами предлагаемого аппарата являются возможность улавливания мелкодисперсных твердых частиц размерами до 10 мкм при относительно невысоком гидравлическом сопротивлении (не более 500 – 1000 Па). Пылегазоулавливающий аппарат (рис. 1) состоит из n -ого числа рядов неподвижных пылеулавливающих элементов, расположенных в шахматном порядке. Сепараторы представляют собой пластины, на краях которого установлены уголкового отражающие элементы. Такое конструктивное оформление позволяет уменьшить зону циркуляционных токов, снижающих эффективность процессов осаждения взвешенных частиц. Принцип работы пылегазоулавливающего аппарата заключается в том, что при движении запыленного потока газа между сепараторами создается поле центробежных сил, обеспечивающее коагуляцию тонкодисперсных частиц, способствуя их равномерному осаждению на всей поверхности улавливающих элементов. Наличие нескольких рядов сепараторов приводит к повышению эффективности осаждения твердых дисперсных частиц за счет более упорядоченной структуры движения газового потока.

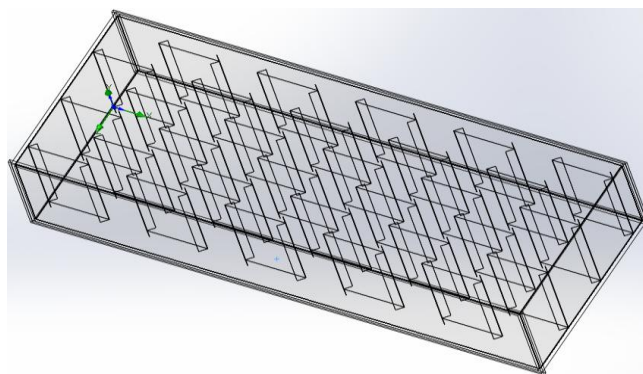


Рис. 1. Трехмерная модель пылегазоулавливающего аппарата

Целью проводимых численных исследований является определение эффективности осаждения твердых дисперсных частиц на поверхности сепараторов предлагаемого аппарата. Исследования проводились в программном комплексе ANSYS Fluent, в котором моделировалось взаимодействие дисперсных частиц, несущих поток воздуха, с элементами пылеулавливающего аппарата. Исследуемый аппарат высотой 100 мм состоял из 4 рядов сепараторов, причем в каждом ряду было выполнено по 5 осадительных элементов. В ходе исследований изменялись геометрические размеры устройства в масштабе, пропорциональном характерным его размерам, а именно ширине сепаратора (без учета уголкового элемента) равной 50 мм и зазору между соседними рядами сепараторов равной 19 мм. Кроме того, среднерасходная скорость воздуха изменялась от 3 до 7 м/с, а размеры твердых дисперсных частиц в пределах 1–20 мкм.

Для моделирования турбулентных течений использовалась модификация двухпараметрической модели турбулентности $k-\omega$ SST-модель, показывающая удовлетворительное согласование с экспериментальными данными, полученными в более ранних исследованиях [3]. Граничные условия: предполагалось, что все поверхности осадительных элементов обладают абсолютной упругостью, т.е. не учитывалась доля поглощенной инерции от ударяющихся частиц.

Эффективность осаждения твердых дисперсных частиц можно оценить по выражению:

$$E = 1 - \frac{N}{N_0}, \quad (1)$$

где N_0 – общее число частиц; N – количество частиц, унесенных газовым потоком.

Результаты исследований показали, что эффективность осаждения твердых дисперсных частиц

возрастает с увеличением среднерасходной скорости газового потока. Так, например, при количестве рядов равное 4 и среднерасходной скорости газа 3 м/с эффективность осаждения частиц диаметром 15 мкм достигает 99,8 % (рис. 2). Исследования влияния геометрического коэффициента предлагаемого аппарата на эффективность осаждения показывают, что для улавливания мелкодисперсных частиц диаметром менее 7-8 мкм наиболее рационально использовать элементы с шириной 10 мм. Для улавливания относительно крупных частиц следует увеличивать размеры осадительных элементов до 25-50 мм.

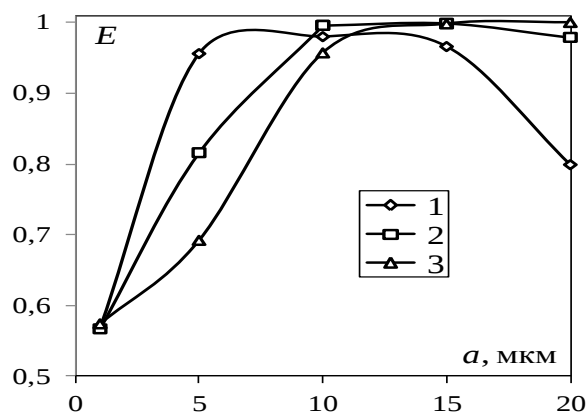


Рис. 2. Зависимость эффективности осаждения от диаметра частиц при различных геометрических коэффициентах пылегазоулавливающего аппарата M_b :
1 – 0,2; 2 – 0,5; 3 – 1; $W_{cp} = 3$ м/с.

На рис. 3 представлена зависимость улавливания дисперсных частиц с эффективностью 100 % от ширины осадительных элементов при различных среднерасходных скоростях газа. Видно, что элементы с шириной 10 мм обеспечивают полное улавливание дисперсных частиц диаметром 5 мкм при среднерасходной скорости газа 5 м/с.

Таким образом, проведенные исследования позволяют правильно выбрать ширину осадительных элементов в зависимости от дисперсного состава улавливаемых частиц. Однако, стоит отметить, что при проектировании предлагаемых пылегазоулавливающих аппаратов важно учитывать полидисперсность состава распыляемых частиц.

В связи с этим рекомендуется выполнять последовательные ряды осадительных элементов с различной их шириной, предопределяя тем самым грубую и тонкую очистку газовых выбросов.

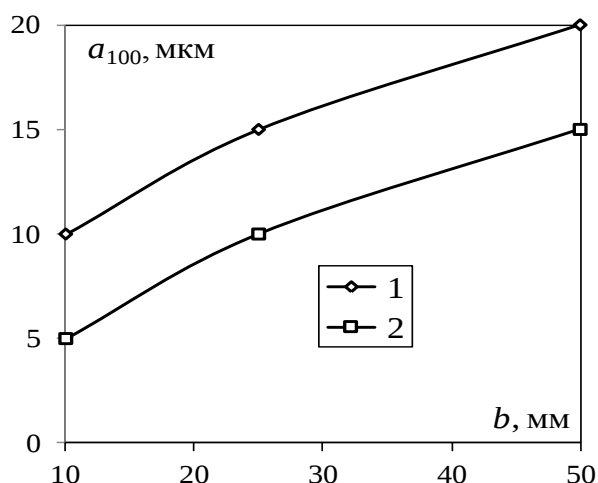


Рис. 3. Зависимость улавливания дисперсных частиц с эффективностью 100 % от ширины осадительных элементов при различных среднерасходных скоростях газа W_{cp} , м/с: 1 – 3; 2 – 5.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-4522.2018.8.

Литература

- [1] Vinogradov, V.V. Stationary and Efficiency of Cleaning Dust from Gases from on Slotted Filter / V.V. Vinogradov, N.M. Samokhvalov // Theor. Found. Chem. Eng. 2014. V. 48. № 6. P. 837 - 841.
- [2] Пат. 171615 РФ. МПК В01Д 45/06, В01Д 45/08. Устройство для тонкой пылегазоочистки / А.В. Дмитриев, О.С. Дмитриева, И.Н. Мадышев, А.Н. Николаев. Заявлено 09.01.2017; Оpubл. 07.06.2017, Бюл. № 16. – 6 с.
- [3] Дмитриев, А.В. Улавливание частиц из дымовых газов прямоугольными сепараторами / А.В. Дмитриев, В.Э. Зинуров, О.С. Дмитриева, Ву Линь Нгуен // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 15. С. 78-80.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТАЛЕВОГО БЛОКА БУРОВОЙ УСТАНОВКИ БУ 4500/270 ЭК-БМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ВЕРХНЕГО ПРИВОДА (СВП)

Алешандре Ф.Р., Чистов Ю.С.

Казанский национальный исследовательский технологический университет.

E-mail: faleshandre@gmail.com

В данное время для бурения нефтяных и газовых скважин требуется создавать наклонные, горизонтальные и вертикальные скважины, эффективное проведение которых возможно только с использованием силового верхнего привода (СВП), что позволяет упростить процесс спускоподъемных операций, но также это улучшает бурение скважин и регулировку процессов бурения.

При бурении скважин буровыми установками БУ 4500/270 ЭК БМ с СВП, возникла проблема в повышенном износе каната талевой системы, когда канат теряет первоначальную круглую форму поперечного сечения, принимая овальное сечение («сминается»), так как нагрузка на крюке в связи с использованием СВП стала больше, это привело к увеличению усилия в струнах каната.

Для уменьшения износа талевого каната, эффективности бурения и сохранения талевой системы в работоспособном состоянии предложено увеличить кратность полиспаста i [2] (рис. 6).

На рис. 1, 2 приведены схемы буровой установки и модернизируемого механизма. Талевый механизм или талевая система – грузонесущая часть буровой установки – представляет собой полиспаст, состоящий из кронблока (1, 3, 5, 7, 9, $2n+1$) и крюк блока/талевый блок (2, 4, 6, 8, 10) огибаемых стальным канатом. Талевый блок снабжен крюком для подвешивания бурильной колонны и обсадных труб. Нагрузка подвешенного груза распределяется между рабочими струнами каната [2, 3].

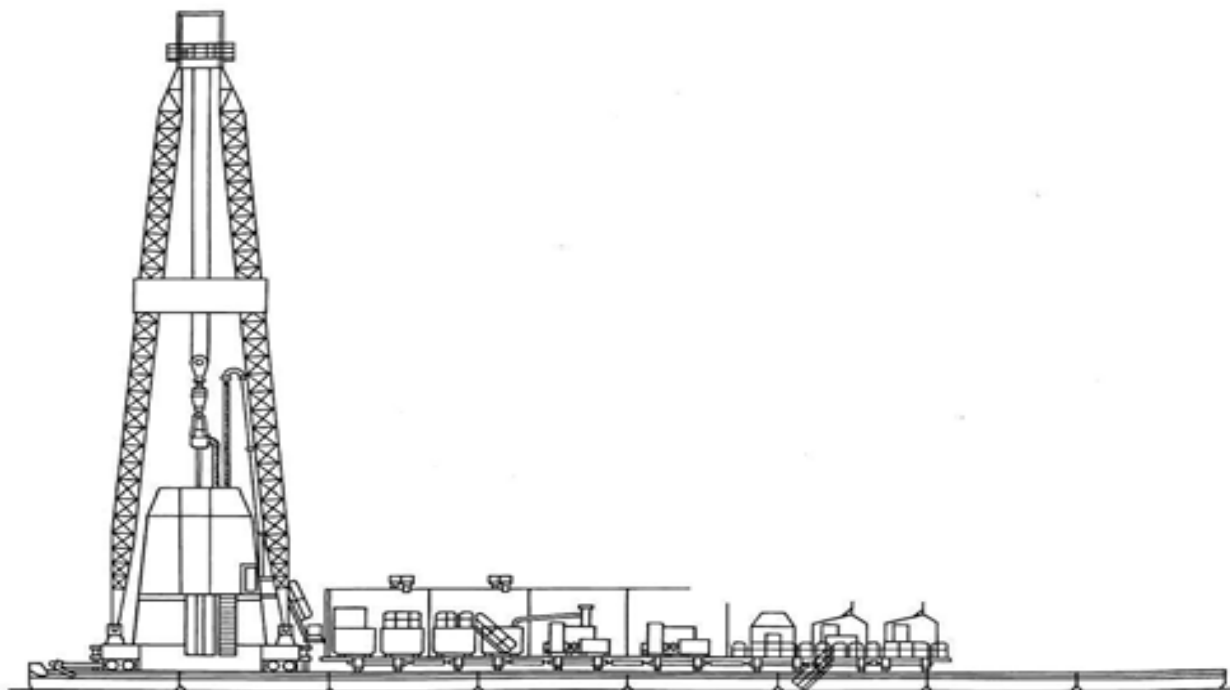


Рис. 1. Буровая установка

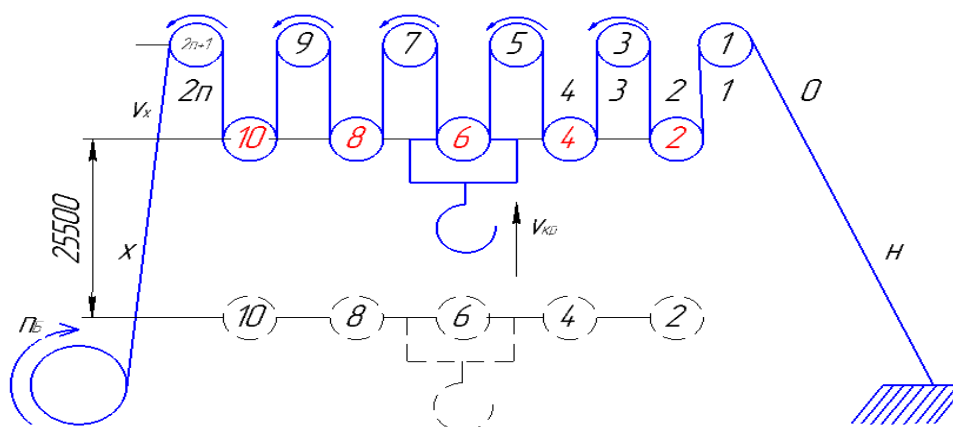


Рис. 2. Кинематическая схема талевой системы до модернизации

В стандартном варианте крюкоблок УТБК-5-270 показан на рис. 3.

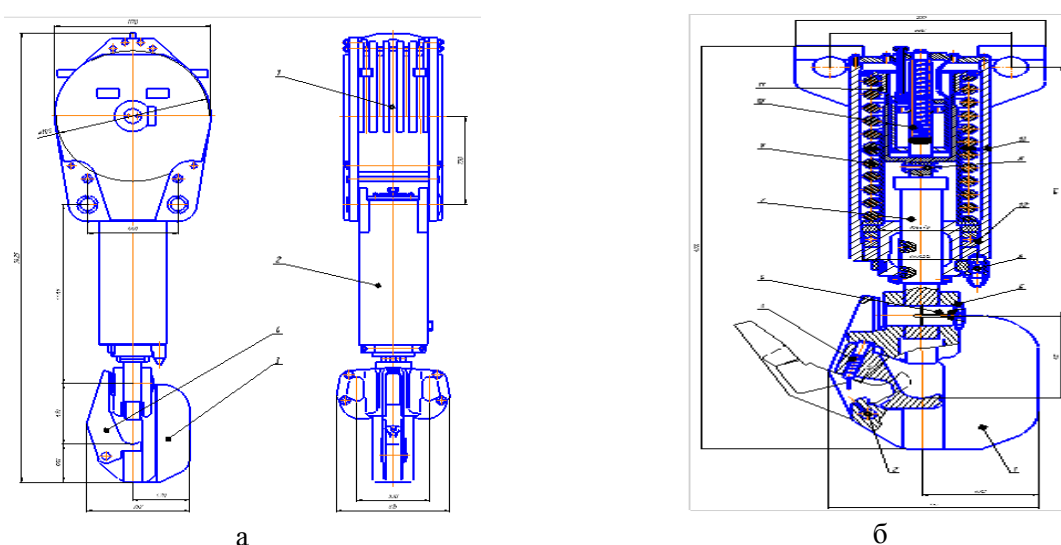


Рис. 3. Крюкоблок до модернизации УТК-5-270 (а) и после модернизации крюк У5-300 (б): 1 – талевый блок; 2 – демпферная пружина; 3 – крюк; 4 – замок

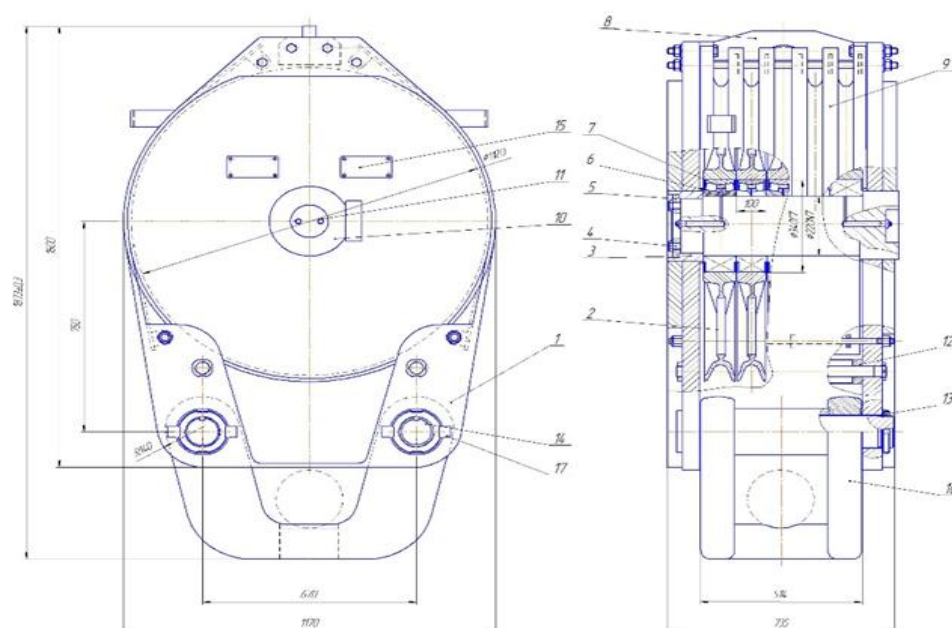


Рис. 4. Крюк блок после модернизации

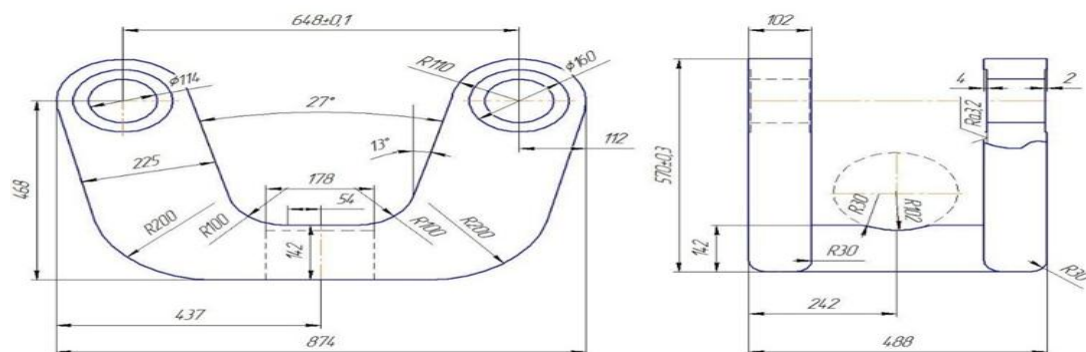


Рис. 5. Конструкция адаптера

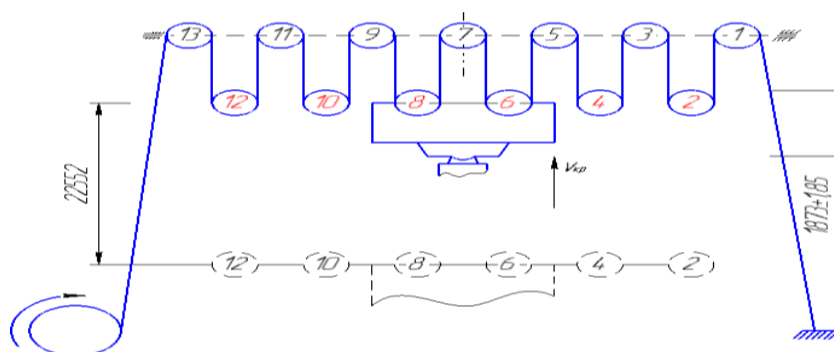


Рис. 6. Кинематическая схема талевой системы после модернизации

Табл. 1. Сравнение геометрических параметров до и после модернизации

Параметры	До модернизации	После модернизации
Высота подъема талевого блока, $h_{под.}, м$	19=74,51%начально й (нужной) высоты.	22,552=88,44% нуж- ной высоты.
Длина каната, наматываемого на барабан (необхо- димая для подъема талевого блока, $l_k, м$	190	270,624
Длина каната для оснастки талевого механизма буровой установки с высотой 45м, $l_{к.осн.}, м$	659	753
Общая высота талевого блока, $h_{т.общ.}, м$	5,425	3,552

Табл. 2. Сравнение механических параметров до и после модернизации

Параметры	До модернизации	После мо- дернизации
Вес подвижных частей талевого талевой системы, $G_{тс}, кН$	60,8	19,9
Нагрузка, воспринимаемая рабочими струнами $P, кН$	1439	1398
Натяжение ходовой струны при подъеме (тяговое усилие на барабане лебедки), $S_x, кН$	153,01	140,45
Натяжение неподвижной струны при подъеме, $S_n, кН$	110,54	95,64
Крутящий момент на барабане лебедки $M_B, кНм$	84	65,4
мощность на барабане лебедки $N_B, кВт$	396	349,21
Мощность бурового ротора (до модернизации) /СВП (после модернизации), кВт	440	590
Максимальный крутящий момент ротора (до модернизации) / СВП (после модернизации), $кНм$	Не боле 80	До 151
Частота вращения стола ротора / СВП, об/мин	Не более 250	До 265

Буровые крюки (крюкоблоки) изготавливают в виде отдельных крюков или крюков, соединенных с талевым блоком (крюкоблоки). Крюк посредством серьги соединяется с талевым блоком и предназначен для подвешивания буровых труб при помощи элеватора в процессе их спуска и подъема и для подвешивания буровых труб при помощи вертлюга во время бурения [2].

Крюкоблок состоит из талевого блока УТБ-5-270 и крюка У5-300 (рис. 3), которые соединены осями. На талевый блок в штатные места крепления крюка предлагается установить подвеску (адаптер) (рис. 4, 5).

Общая длина крюкоблока составляет 5425 мм, а модернизированного 1873 мм, что на 3552 мм меньше.

Уменьшение высоты крюк блока и увеличение кратности оснастки, привело к повышению долговечности талевого каната, что положительно сказалось на эксплуатационных характеристиках оборудования в целом. В табл. 1, 2 даются сравнения параметров, влияющих на износ каната и других узлов талевого механизма до и после модернизации.

Литература

- [1] Технологический регламент компании Canrig Drilling technology, «LB-CANRIG».
- [2] Баграмов Р.А. Буровые машины и комплексы, Учебник для вузов. - М.: Недра, 1988 – 501 с.
- [3] Балденко Ф.Д. Расчеты бурового оборудования – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2012. – 428 с.
- [4] Мельников В.А. Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин – Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – 295 с.
- [5] Валиулин А.Х., Мухабетжанов С.Г. -Казань: Казан. гос. технол. ун-т. 2006. 360 с.
- [6] Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя в трёх томах / В. И. Анурьев – М: Машиностроение, 1979. – 1864 с.

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ЦИЛИНДРОКОНИЧЕСКОМ ГИДРОЦИКЛОНЕ

Гарифуллина Э.Р., Валеев С.И.

Казанский национальный исследовательский технологический университет.

E-mail: vsi73@mail.ru

Параллельно с развитием процесса циклонирования развивалось гидроциклонирование. Изучив конструкцию циклона, американец Е. Бритни предложил разделять суспензию в этом аппарате. В 1891 году он подал заявку на патент аппарата, который назвал – гидроциклон. Работа этого аппарата основывалась на тех же принципах что и работа циклона, но гидродинамика в аппарате сильно отличалась от аэродинамики циклонных аппаратов.

Гидроциклоны, благодаря ряду существенных преимуществ, перед аппаратами, выполняющими аналогичные с ним операции, широко используются для процессов разделения как неоднородных дисперсных систем типа жидкость – твердое тело, так и при разделении систем с нестабильным составом дисперсной фазы, таких как жидкость-жидкость [1-3, 5].

В современной технической литературе по гидроциклонированию отражены процессы, протекающие в цилиндрических гидроциклонах. Эти аппараты представляют собой простую по устройству конструкцию, состоящую из двух основных частей: цилиндрической с плоской крышкой и конической. В цилиндрической части расположен входной патрубок, с помощью которого осуществляется подача исходной суспензии в корпус аппарата. Для отвода осветленной жидкости служит сливной патрубок. При разделении двух несмешивающихся жидкостей в гидроциклоне особое значение приобретают достоверные сведения о гидродинамике этих аппаратов. Поскольку при определенных гидродинамических условиях капли дисперсной фазы могут дробиться под действием касательных напряжений, возникающих в сдвиговом турбулентном течении вращающихся жидкостей, снижая эффективность разделения. Одними из основных гидродинамических характеристик являются давление и тангенциальная составляющая скорости потока.

Для определения гидродинамических показателей была реализована компьютерная программа. Компьютерная программа позволяет рассмотреть большой набор конструктивных (задающих область течения) и гидродинамических (определяющих режим течения жидкости в гидроциклоне) па-

раметров. Модель обладает многоуровневым меню с подсказками. Последовательность действий пользователя контролируется системой и при неверном действии появляется сообщение об ошибке.

Главное меню реализует следующие функции: редактирование данных -DATAEDIT; расчет полей скоростей и давлений в гидроциклоне-STFLOW; расчет движения частиц примеси в гидроциклоне – PURIFCTN; выход из системы – QUIT.

Окно редактирования имеет меню второго уровня, которое позволяет редактировать конструктивные и гидродинамические параметры (Edit_1), редактировать данные необходимые для расчета частиц примеси (Edit_2), и выйти в главное меню (EXIT).

В Edit_1, кроме редактирования можно посмотреть конструкцию гидроциклона в осевом сечении (рис. 1), а также при выходе из окна будет произведена проверка на корректность задания исходных данных. Edit_2 предназначено для реализации данных, необходимых для реализации второй основной функции, поэтому при выборе этого окна появится сообщение, что оно еще не реализовано.

Окно расчета гидродинамических показателей, так же, как и окна редактирования имеют меню второго уровня. С его помощью возможны следующие действия: редактирование данных, необходимых для расчета (Edit_1); расчет полей скоростей и давлений в гидроциклоне (RUN), запись полученных результатов в файл (WrtDoc), просмотр результатов в графическом виде на экране дисплея (View), выход в главное меню (EXIT).

Окно Edit_1 этого меню аналогично окну Edit_1 меню редактирования. Зайти в Run можно только после того как отредактированы данные в Edit 1. Воспользоваться записью и просмотреть результаты можно после того, как произведен расчет в Run. После ввода результатов пользователь может записать исходные данные в файл. Очередной заход в Edit_1 анализирует ранее полученные данные. Выбор окна расчета движения частиц примеси приведет к появлению сообщения, что оно еще не реализовано. В этом окне обязательно будет меню второго уровня с пунктами редактирования (Edit_2), расчета (Run) и выхода в главное меню (Exit).

Из любого меню (главного меню, меню редактирования, меню расчета гидродинамических показателей) можно воспользоваться системной помощью, нажав клавишу F1. Нажимая F1 в главном меню, пользователь получает возможность выбора нужной информации: о всей системе в целом или о каждом окне главного меню по отдельности. Нажатие клавиши F1 из любого подменю выдает информацию об этом подменю.

Проведенные рассуждения и исследования [2-6] позволяют описать процесс разделения эмульсий (суспензий) в цилиндрикоконическом гидроциклоне в некоторой модели. Эта модель позволяет рассмотреть большой набор конструктивных и технологических параметров работы гидроциклона. Данная модель позволяет установить взаимосвязь различных параметров в том эффективной вязкости с полями скоростей и давлений в гидроциклоне.

На основании полученной компьютерной системы проведен расчет тангенциальной составляющей скорости потока в зависимости от конструктивных и гидродинамических параметров.

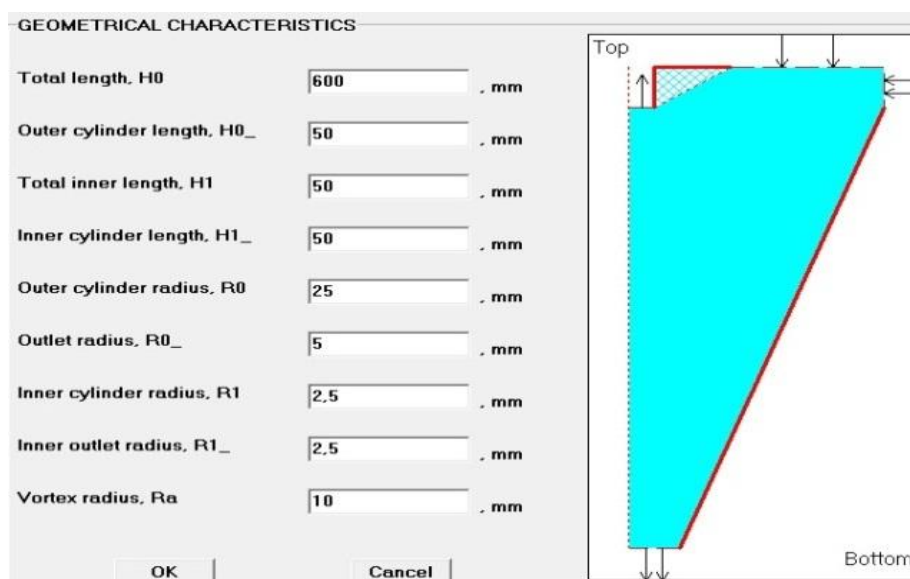
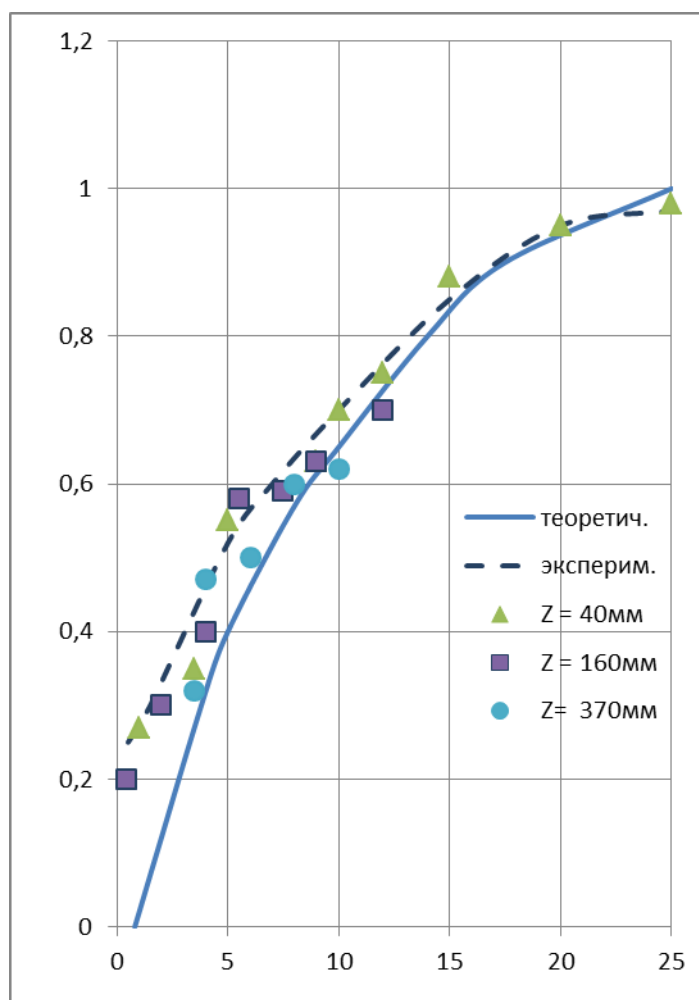


Рис. 1. Меню ввода геометрических данных



Полученные профили распределения статического давления по радиусу аппарата в разных сечениях Z ($Z=40, 160, 370$ мм) показаны на рис. 2. Анализ полученных результатов показывает, что величина статического давления (рис. 2) убывает от стенки к оси аппарата. Данная зависимость сохраняется по высоте гидроциклона в пределах исследуемых параметров. Также следует отметить, что величина статического давления на одинаковом радиусе на разных сечениях по высоте аппарата остается постоянным. Значение тангенциальной скорости движения жидкости увеличивается по мере приближения к стенке гидроциклона, затем при некотором радиусе достигает максимума и начинает убывать, причем характер зависимости определяется параметром Z (рис. 3).

Рис. 2. Зависимость статического давления от радиуса гидроциклона

метрическими размерами: длина корпуса – 600 мм, диаметр цилиндрической части – 50 мм, высота цилиндрической части – 50 мм, диаметр двух тангенциально противоположных входных патрубков по 7,5 мм, диаметр верхнего сливного патрубка – 5 мм, диаметр нижнего сливного патрубка – 10 мм. Конусная часть представляла собой сложную конусную форму с углом конусности $\alpha_1 = 30^\circ$ и $\alpha_2 = 2^\circ$.

Максимум тангенциальной скорости в сечении 40 мм находится на 0,4 г. Это сечение расположено в цилиндрической части аппарата, где еще сказывается влияние входного участка.

Давление на входе в гидроциклон устанавливалось 0,15 МПа, что соответствовало расходу жидкости, равному 0,534 л/с. Статическое давление выходного патрубка составляло 0,107 МПа, а скорость жидкости 6,05 м/с.

В качестве примера были взяты экспериментальные данные по цилиндрическому гидроциклону [4, 6].

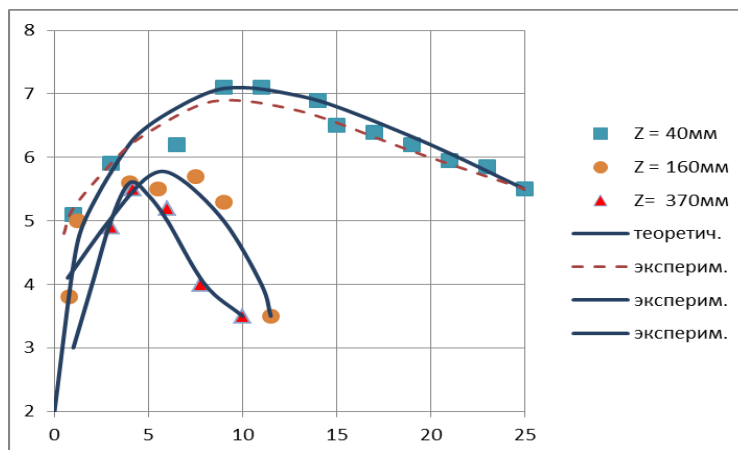


Рис. 3. Зависимость тангенциальной скорости жидкости от радиуса в приосевой зоне гидроциклона

Сечения 160 мм и 370 мм находятся в конической части аппарата. Профиль тангенциальной скорости в приосевой зоне этих двух течений соответствует характеру распределения скорости в цилиндрической части гидроциклона.

В пристенной зоне величина тангенциальной скорости для ее сечений конической части несколько ниже. Полученные данные достаточно хорошо согласуются с известными данными.

Полученные результаты свидетельствуют о хорошей сходимости теоретических и экспериментальных исследований для данного типа гидроциклона.

Литература

- [1] Терновский И.Г., Кутепов А.М. Гидроциклонирование. М.: Наука, 1994.
- [2] Валеев С.И., Булкин В.А. Применение гидроциклонов для очистки сточных вод в системе оборотного водоснабжения // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т.16, № 15, с. 294 - 296.
- [3] Валеев С.И. Очистка сточных вод в гидроциклонах систем оборотного водоснабжения: Дис.....канд. техн. наук. Казань. 2000.
- [4] Валеев С.И., Степанов Н.И., Иванов Н.В., Булкин В.А. Гидродинамика цилиндрических и цилиндроконических гидроциклонов с малым расходом через верхний слив // Вестник Казанского технологического университета. 1998. № 2, с. 56 - 59.
- [5] Лесин А.В., Валеев С.И., Булкин В.А. Перспективы развития разделения суспензий и эмульсий в гидроциклонах//Вестник Казан. технол. ун-та. 2015, Т. 18, № 10, с. 55 - 57.
- [6] Верин Д.Ю., Валеев С.И., Булкин В.А. Гидродинамика цилиндроконического гидроциклона для разделения эмульсий с учетом эффективной вязкости// Вестник Казан. технол. ун-та. 2012, Т.15, № 15, с. 117 - 118.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОЦИКЛОНОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Пластинкин Н.В., Валеев С.И.

Казанский национальный исследовательский технологический университет

E-mail: vsi73@mail.ru

В последние годы гидроциклоны находят все более широкое применение во всех отраслях народного хозяйства [1, 2]. Гидроциклоны, по сравнению с другими устройствами для механической очистки, отличаются высокой производительностью, компактностью, экономичны в изготовлении и эксплуатации.

Гидроциклон – аппарат, предназначенный для обесшламливания, сгущения шламов и продуктов флотации, осветления оборотных вод, классификации рудной пульпы в стадиях тонкого измельчения в замкнутом цикле с шаровыми мельницами и обогащение тонких фракций угля и руды в водной среде и тяжелых суспензиях в центробежном поле, создаваемом в результате вращения пульпы.

В последнее время все чаще в технологии обогащения применяют блоки гидроциклонов, что позволяет существенно повысить производительность по потоку, при сохранении тонкости классификации, а также снизить давление пульпы в питании кластера и соответственно уменьшить потребляемую мощность питающих пульповых насосов.

Одним из перспективных направлений является использование гидроциклонов для очистки сточных вод в системе оборотного водоснабжения предприятий энергетики, нефтехимии, автомобильных хозяйств.

Отстойники, построенные для очистки сточных вод в системе оборотного водоснабжения, как правило, не обеспечивают требуемой степени очистки, не смотря на относительно большие габариты (длиной до 7.2 м). Применение безнапорных гидроциклонов ($D = 2.2$ м), также не приводит к желаемым результатам. Безнапорные гидроциклоны [3] успешно применяются для очистки водных объектов от плавающего слоя нефти. Но следует отметить, что они предназначены только для отделения из воды нефти, находящейся в виде пленки или слоя на свободной поверхности, т.е. они осуществляют функции сбора нефти с поверхности. Выделение из воды нефтяных капель в эмульгированном состоянии, возможно, производить в цилиндрических противоточных гидроциклонах ($D = 50$ мм) с удлиненным верхним сливным патрубком [4].

Очистку сточных вод названных производств с целью их повторного использования целесообразно производить по следующей схеме. Сточные воды поступают в приемный резервуар оборудованный контейнером для задержания крупных предметов. Насосами сточные воды направляются на очистку, в частности в напорные цилиндрические гидроциклоны, в которых происходит отделение крупных (механических) примесей со сбросом их в бункер. Пройдя цилиндрические гидроциклоны [5], тонкослойные отстойники, сточные воды поступают в цилиндрические гидроциклоны для очистки от нефтепродуктов. После гидроциклонов очищенная вода направляется на флотаторы, коалесцирующие или сорбционные фильтры. Очищенная вода возвращается в водооборотную систему производства.

Как показывает технико-экономические сравнения [6] при внедрении цилиндрических противочувствительных гидроциклонов капитальные вложения на строительство очистных сооружений сокращаются в несколько раз, а эксплуатационные затраты снижаются на 15%, улучшаются санитарно-экологические условия эксплуатации. Не менее важным преимуществом схемы с гидроциклонами является значительная экономия площадей. В данном случае площадь, занимаемая гидроциклонной установкой в 10 раз меньше площади, которая потребовалась бы для размещения резервуаров-отстойников.

Несмотря на то, что конструкция и принцип работы гидроциклона была описана и разработана около 100 лет назад, основные принципы работы не изменились. Гидроциклонные аппараты зарекомендовали себя простыми и недорогими аппаратами высокой эффективности. Степень необходимости и актуальности этого аппарата высока и на сегодняшний день. Именно поэтому его исследования ведутся по сей день и разрабатываются новые модели.

Литература

- [1] Лесин А.В., Валеев С.И., Булкин В.А. Перспективы развития суспензий и эмульсий в гидроциклонах // Вестник Казан. технол. ун-та. 2015, Т.18, № 10, с.55 - 57.
- [2] Поваров А.И. Гидроциклоны на обогатительных фабриках. М.: Недра. 1978. 232 с.
- [3] Роев Г.А., Юфин Б.А. Очистка сточных вод и вторичное использование нефтепродуктов. М. Недра.1987, 224 с.
- [4] Валеев С.И., Булкин В.А. Гидродинамика цилиндрического гидроциклона с удлиненным верхним сливным патрубком // Вестник Казан. технол. ун-та. 2015, Т.18, № 20, с. 231 - 232.
- [5] Верин Д.Ю., Валеев С.И., Булкин В.А. Гидродинамика цилиндрического гидроциклона для разделения эмульсий с учетом эффективной // Вестник Казан. технол. ун-та. 2012, Т.15, № 15, с. 117 - 118.
- [6] Валеев С.И. Очистка сточных вод в гидроциклонах систем оборотного водоснабжения: Дис....канд. техн. наук. Казань, 2000.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕДУР ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ЧАЙНОГО СЫРЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

Абулханова Л.А., Яруллин Л.Ю., Габитов Ф.Р.

Казанский национальный исследовательский технологический университет

E-mail: liana06@mail.ru

На примере коммерческих образцов зеленого Вьетнамского и Китайского чаев обоснована возможность и предложены процедуры предварительной обработки чайных листьев, способствующие повышению экстрактивности, в том числе кофеина, в водную фазу на этапе приготовления напитка, и обеспечивающие более полное использование биологического потенциала исходного сырья.

Исследованы условия минимизации эффекта СК-СО₂ – экстракционного уноса минералов и биологически активных компонентов чайных листьев в процессе реализации вышеотмеченных процедур. Приведены результаты исследования влияния параметров сверхкритического СО₂ в процессе предварительной обработки на структуру и фазовое состояние одного из компонентов чайного листа (кофеин), структуру листьев зеленого китайского чая и элементный состав чайных листьев. Установлено, что предварительная 4-х часовая циркуляция диоксида углерода через экстрактор с исходным сырьем при T = 333.15 K и P = 10 МПа обеспечивает увеличение выхода кофеина в водную фазу на

этапе приготовления напитка на 25%.

Анализ изменения экстрактивности целевых компонент при заваривании чайного напитка по изолиниям (P , T , τ) свидетельствует о наличии причинно-следственной связи между структурными изменениями в чайном листе. В частности, увеличение температуры с 35 до 50 °С для условий $P/\tau = 10$ МПа/3ч, $P/\tau = 10$ МПа/5ч, $P/\tau = 20$ МПа/6ч. сопровождается увеличением содержания абсолютно всех обсуждаемых компонент чайного сырья. При увеличении длительности процедуры предварительной обработки чайного сырья с трех до шести часов для подавляющего большинства исследованных минералов и солей наблюдается увеличение их содержания в напитке, но лишь в том случае, когда обработка проводится при 50 °С. Для чайных листьев, обработанных при 35 °С, подобная тенденция не установлена.

Зафиксированы и оценены методом ИК-Фурье спектроскопии поглощения структурные изменения в чайных листьях, подвергнутых обработке в среде сверхкритического диоксида углерода (статический режим). Выявлено смещение полосы поглощения кофеина в чайном листе и снижение интенсивности этой полосы для образцов, прошедших эту обработку. Предварительная обработка чайного сырья в динамическом режиме (СК-СО₂-циркуляция) существенно влияет на итоговое содержание обсуждаемых минералов и солей в чайном напитке.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-19-00478).

Литература

- [1] Truong Nam Hung, Фахреев А.К., Гумеров Ф.М., Габитов Ф.Р., Усманов Р.А., Амирханов Д.Г., Яруллин Р.С. Использование сверхкритического диоксида углерода для улучшения потребительских свойств и экономических показателей производства зеленого вьетнамского чая // Сверхкритические флюиды. Теория и практика. 2008, Т.3. № 2, С. 7 - 19.
- [2] Shamsetdinov F.N., Yarullin L.Yu., Gumerov F.M., Gabitov F.R., Zaripov Z.I., Remizov A.B., Kolyadko I.M., Nikitin V.G., Fakhreev A.K., Kamalova D.I. Effect of treatment in supercritical CO₂ on the composition and structure of tea leaf and cellulose. Russian Journal of Physical Chemistry 2011; 5; 7: 1167 - 1172.
- [3] Truong N.H. Gumerov F., Gabitov F., Usmanov R., Hairutdinov V., Le Neindre B. Improvement of the water brewing of Vietnamese green tea by pretreatment with supercritical carbon dioxide. J. of Supercritical Fluids 2012; 62: 73 - 78.
- [4] Ksibi H., Moussa A.B., Baccar M. Powder structure transition under the recrystallization conditions in the RESS process. Chem. Eng. Technol. 2006; 29; 7: 868 - 874.
- [5] Гильмутдинов И.М., Сабирзянов А.Н., Гумеров Ф.М. Влияние плотности растворителя и геометрии канала на морфологию и размер получаемых микрочастиц в процессе быстрого расширения сверхкритического раствора // Сверхкритические флюиды. Теория и практика. 2008, Т. 3. № 1, С. 43 – 49.
- [6] Gilmudinov I.M., Khairutdinov V.F., Kuznetsova I.V., Mukhamadiev A.A., Gabitov F.R., Gumerov F.M., Sabirzyanov A.N. The Dispersion of Polymeric Materials with the Use of Supercritical Fluids. Russian Journal of Physical Chemistry B 2009; 3; 8: 1145 – 1153.
- [7] Зелепугин Д.Ю., Тилькунова Н.А., Чернышова И.В. Использование сверхкритических флюидов для нано- и микро- диспергирования фармакопейных субстанций // Сверхкритические флюиды. Теория и практика. 2008, Т 3, № 1, С. 5 - 23.

ПРИМЕНЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ЦЕОЛИТОВ В ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ГЛУБОКАЯ ОСУШКА И ОЧИСТКА ГАЗОВ ОТ ПРИМЕСЕЙ

Лобанов М.А., Поникаров С.И., Лобанов Д.А.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет
E-mail: dragon2607@mail.ru*

Газопереработка – одна из самых молодых отраслей промышленности, бурное развивающееся со второй половины XX-ого века. Газоперерабатывающие предприятия производят сжиженные газы в виде пропан-бутановых фракций, газовый и автомобильный бензин, углекислый, и другие виды сниженного газа. Сжиженные газы широко применяются в качестве сырья в химической промыш-

ленности, используются как моторное и бытовое топливо, используют для производства холодильного оборудования и проведения процессов брожения.

Все природные и нефтяные газы, добываемые из недр Земли, насыщены водяными парами, так как содержащие газ или нефть горные породы снизу подстилает пластовая вода. Содержание водяных паров в газе зависит от температуры и давления. При заданных значениях температуры и давления количество водяных паров в единице объема газа не может быть больше максимальной (предельной) величины. Если снизить температуру газа, содержащего максимальное количество водяных паров, то часть их конденсируется. Температура, при которой происходит конденсация водяных паров, содержащихся в газе или воздухе, называется точкой росы, которая соответствует максимальному содержанию водяных паров в газе при данном давлении.

Для газа и сжиженных углеводородов в промышленности наиболее распространены способы осушки: охлаждение газа и последующий отстой воды; жидкими поглотителями гликолями (моно-, ди-, триэтиленгликолями); твердыми поглотителями (активированной окисью алюминия, силикагелем, бокситом); синтетическими цеолитами (молекулярными ситами).

Абсорбция применяется в химической, нефтеперерабатывающей, нефтехимической и пищевой промышленности и т. д. В газовой промышленности ее используют при разделении, очистке и осушке углеводородных газов.

Синтетические цеолиты – это единственные твердые осушители, работающие эффективно при высокой температуре. При небольших температурах цеолиты, силикагель и окись алюминия способны поглотить около 15 мас. % воды по отношению к массе адсорбента. По мере повышения температуры количество воды, поглощаемое силикагелем и окисью алюминия, резко снижается и при температуре около 100-120 °С эти адсорбенты практически не способны поглощать воду. В то же время при этой температуре цеолиты поглощают около 7 мас. %, (т. е. влагопоглощение падает всего почти вдвое) способность поглощать большие количества воды при относительно низком парциальном давлении водяных паров в осушаемом газе. Высокая адсорбционная способность цеолитов означает, что при данной продолжительности цикла осушки требуется меньшее количество адсорбента; при регенерации требуется меньшее количество теплоты на прогрев адсорбента, т. е. добиваемся экономии топлива.) цеолиты обладают способностью поглощать полярные молекулы таких веществ, как сероводород, меркаптаны и др.

Таким образом, процесс осушки газа может быть осуществлен одновременно с очисткой от кислых компонентов на одной адсорбционной установке, т. е. цеолиты превосходят другие виды адсорбентов в 3 раза по осушающей способности и долговечности.

Продолжительность стадий процесса зависит от числа адсорберов в технологической установке, абсолютного влагосодержания газа, требуемой осушки газа [11].
Области применений молекулярных сит (синтетических цеолитов).

1. Технология осушки газов на цеолитах

Цеолиты обладают уникальными способностями адсорбции паров воды. В отличие от силикагелей, которые также применяются для осушки газов, они успешно адсорбируют пары воды уже при 100 °С и выше. Даже при малых значениях давления влага адсорбируется в большом количестве. Благодаря своим исключительным физико-химическим характеристикам цеолиты сейчас фактически безальтернативные адсорбенты при осушке газов в газо- и нефтеперерабатывающей промышленности.

2. Осушка в газовой промышленности.

Увеличение степени экстракции легких углеводородов и решение проблем ожижения природного газа на газобензиновых заводах возможно только при помощи использования цеолитов, которые обеспечивают долговременную непрерывную эксплуатацию аппаратуры разделения в условиях применения глубокого и умеренного холода.

3. Осушка непредельных углеводородов

В процессе осушки непредельных углеводородов следует обращать внимание на каталитические свойства цеолитов (активность к реакции полимеризации). Наименьшую каталитическую активность в ряду цеолитов общего назначения имеет кристаллит типа NaA. Применяя цеолиты NaA в процессе осушки непредельных углеводородов, рекомендуется на стадиях осушки и регенерации обеспечивать одинаковое направление потока газа, чтобы углеводороды, сорбирующиеся в первый период вместе с водой, вытеснялись из слоя цеолитов водой и удалялись в потоке осушенного газа. Цеолит KA массово используется для осушки склонных к полимеризации и разложению сред, таких как бутулен, этилен, бутадиеи, стирол, винилацетат, хлороформ, изопрен, газы процесса Вульфа, ди-хлорметан, галогенсодержащие хладагенты и другие.

4. Осушка и очистка сырья на установках алкилирования

В процессе алкилирования в качестве сырья используется серная или плавиковая кислота. Экономичность и эффективность этого процесса зависят от содержания влаги в перерабатываемом сырье, которое обычно равно 100–450 %. Задачу глубокой осушки сырья и очистки сырья от серы и бутадиена можно решить при помощи цеолитов.

5. Очистка газа от сероводорода

Цеолиты часто используются в технологиях очистки газов от сероводорода и его производных. Они отличаются высокой способностью к адсорбции относительно сероводорода.

В процессе очистки газа от сероводорода и диоксида углерода сначала оба компонента полностью удаляются из газов, затем сероводород начинает вытеснение диоксида углерода в адсорбированной фазе. Вследствие этого содержание сероводорода в потоке газа, выходящем из адсорбера, резко увеличивается и по содержанию даже превышает диоксид углерода в исходном газе. В случае высокого содержания сероводорода возможно осуществление адсорбционного процесса в изотермических условиях.

Среди синтетических цеолитов цеолиты типа CaA имеют наилучшие эксплуатационные и адсорбционные характеристики. Цеолиты NaA обладают низкой кинетикой адсорбции и десорбции сернистых соединений.

6. Адсорбционное разделение газов и паров

Разделение веществ на основе молекулярно-ситовых свойств цеолитов благодаря структуре цеолитов возможно разделение химических соединений, у которых размеры молекул не выходят за пределы значений радиусов входов в поры цеолитов. Молекулярно-ситовые характеристики цеолитов позволяют очищать изопентан от примеси *n*-пентана, выделять нормальные парафины из керосиновых-лигроиновых фракций, выделять нормальные олефины из смеси с другими углеводородами и т.д. Эти процессы играют огромную роль в технологии производства высококачественных марок моторного топлива.

Синтетические цеолиты, обладают рядом преимуществ перед аналогами: высокая мезопористость, что облегчает транспорт газа по гранулам и позволяет эффективно использовать весь объем гранулы, повышаются емкостные характеристики материала. Синтетические цеолиты устойчивы к капельной влаге и не разрушается при длительном контакте с водной средой. Цеолиты являются уникальным адсорбентом паров воды. Адсорбционная способность цеолитов при обычных температурах и давлении порядка 200 Па близка к адсорбционной способности при максимальном насыщении. Характеризуются высокими скоростями поглощения влаги, позволяет использовать в динамических процессах короткие слои адсорбента. Области использования цеолитов для осушки воздуха широки. К ним относится осушка в газовой и нефтеперерабатывающей промышленности, где применение цеолитов наиболее используется.

В процессах производства диоксида углерода для получения товарной продукции высокого качества необходимо проводить его осушку. Удаление паров воды осуществляется в адсорбционных блоках. В качестве адсорбента обычно используется гранулированный синтетический цеолит или силикагель. Силикагель является широкопористым адсорбентом и помимо воды активно сорбирует и сам диоксид углерода. Основные недостатки силикагелей – неглубокая степень осушки и разрушение его после термического воздействия регенераций.

Основное преимущество цеолитов – возможность их получения с упорядоченной кристаллической структурой и требуемыми размерами пор, приближающимися к размерам молекул, которые должны адсорбироваться в порах (поэтому цеолиты называются молекулярными ситами), т. е. если в активированном угле, силикагеле, активированном алюминии размеры пор достаточно велики и в них могут адсорбироваться молекулы разной величины, то в цеолитах адсорбируются только те молекулы, критические диаметры которых меньше эффективных диаметров пор (размеры пор цеолитов от 0,3 до 0,9 нм). Более крупные молекулы не адсорбируются. Таким образом, цеолиты «отсеивают» молекулы разных размеров. В соответствии с критическими размерами молекул и диаметром окон (0,3 нм) цеолит KA адсорбирует практически только воду; NaA (0,4 нм) – воду, CO₂, H₂S, NH₃, CH₃OH, этилен, пропилен, низшие алкадиены и алкины, этан. Цеолиты этих марок – прекрасные осушители газов и жидкостей, а также хорошие поглотители серосодержащих соединений.

Синтетические цеолиты способны селективно сорбировать вещества, исходя из критического диаметра их молекул. Таким образом, можно подобрать цеолит, сорбирующий строго определённый спектр веществ. Многие годы для осушки диоксида углерода рядом российских предприятий выпускается цеолит KA. В случае осушки CO₂ цеолит KA адсорбирует практически только воду и при этом

обеспечивает глубокую (до 80 °С) степень осушки по точке росы. Таким образом, цеолит КА, адсорбируя воду, практически не адсорбирует сам диоксид углерода [2], что крайне важно для стабильного и эффективного процесса адсорбции. Осушка диоксида углерода осуществляется в адсорбционных блоках. Для проведения качественной осушки определяющими являются высокая динамическая ёмкость по H₂O и механическая прочность сорбента. Традиционно цеолит КА в химической промышленности [9] производится модификацией цеолита NaA катионами K⁺ при помощи ионного обмена в растворе [4] KCl₂. Другой способ получения гранул цеолита КА – реализация прямого синтеза. В основе традиционной технологии производства цеолита КА лежит оптимальный обмен катиона Na⁺ на катион K⁺. В итоге получаемый цеолит обладает достаточной степенью обмена с целью обеспечения селективной сорбции по H₂O. Цеолит КА, получаемый прямым синтезом, имеет высокую механическую прочность, но динамическая ёмкость по воде у него значительно ниже. Высокие физико-химические свойства гранулированного цеолита КА являются результатом использования нового технологического процесса, лежащего в основе его получения. Гранула синтетического цеолита КА представляет собой единый сrostок кристаллов, имеющий высокие механическую прочность и динамическую ёмкость. Дополнительно гранулы проходят отмывку и мокрую полировку поверхности от мелких частиц, способных пылить при работе адсорбера.

Выводы

Применение синтетических цеолитов в адсорбционных [7] блоках осушки обеспечивает экономичную работу углеводородных установок. Анализ имеющихся способов очистки газов в газоперерабатывающей промышленности указывает на перспективность используемой технологии получения цеолитов в целом, как эффективные влагопоглотители природных и промышленных газов.

Синтетические цеолиты по сравнению с аморфными адсорбентами (силикагелем, окисью алюминия) обладают значительными преимуществами:

- эффективно работают при высокой температуре;
- селективность, т.к. в цеолитах адсорбируются только те молекулы, критические диаметры которых меньше эффективных диаметров пор.

Промышленными испытаниями установлена эффективность использования цеолитов в серийных установках осушки и очистки воздуха, газов, промежуточных и конечных продуктов органического синтеза в системе катализа, при сорбции в жидких и газовых средах.

Наиболее эффективным методом очистки газовых выбросов является каталитический дожиг оксида углерода и органических веществ с использованием доступных и эффективных катализаторов, приготовленных на основе природных цеолитов.

Была изготовлена серия катализаторов дожигания обработкой цеолитов в разных условиях. В результате испытаний получены образцы катализаторов, работающих эффективно при самой низкой температуре 140 °С и ведущих дожиг оксида углерода также эффективно и при более высоких подачах очищаемого газа. После регенерации катализатора его стабильность не хуже, чем исходного.

Литература

- [1] Бекиров Т.М. Первичная переработка природных газов. М.: Химия, 1987. 256с.
- [2] Гуревич И.Л. Технология переработки нефти и газа: ч.1. М.: Химия, 1972. 360 с.
- [3] Смирнова Н.А. Молекулярные теории растворов / Н.А. Смирнова – Л.: Химия, 1987. - 332 с.
- [4] Волков А.И., Жарский И.М. Большой химический справочник. — Минск: Современная школа, 2005. - 422 с.
- [5] Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. - М.: Химия, 1976. - 592 с.
- [6] Серпионова Е.П. Промышленная адсорбция газов и паров. Изд. 2 - 415 с.
- [7] Варгафтик, Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н.Б. Варгафтик, М.: Наука, 1972. - 720 с.
- [8] Лобанов В.О. Лукин, И.И. Фатыхов. Вест. Казан. технол. ун-та. 15, 10, 240 - 243 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ В РЕАКТОРЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СУСПЕНЗИИ

Ганиев А.И., Булкин В.А.

Казанский национальный исследовательский технологический университет

E-mail: ganievartur13@gmail.com

Процесс производства гранулированных синтетических моющих средств (СМС), тесно связан с процессами перемешивания многокомпонентных суспензий, частицы которых отличаются друг от друга плотностью, размерами и, следовательно, разной склонностью к седиментации. Для таких суспензий основным требованием является равномерное распределение всех компонентов между собой. От этого в последующем будут зависеть качественные характеристики готового изделия.

Процесс производства гранулированных синтетических моющих средств начинается с дозировки компонентов. Процесс дозировки основан на последовательном взвешивании, семи жидких и трех сухих, компонентов, которое контролируется тензодатчиками (весоизмерителями), расположенными на реакторе с мешалкой (1). На рис. 1 представлена схема процесса производства СМС.

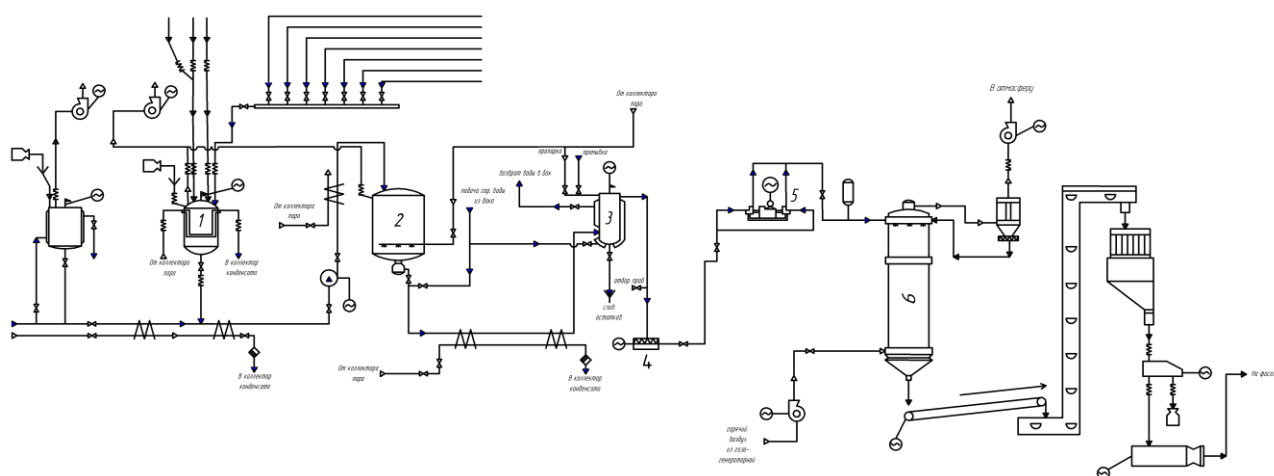


Рис. 1. Схема процесса производства СМС

Порошок выходит из башни при температуре около 70 °С и по конвейеру отправляется к блоку кристаллизации, после которого отправляется на фасовку [1].

При достижении установленного веса суспензии, начинается перемешивание содержимого реактора в течение, не менее 20 минут. После чего суспензия готова к перекачке в расходный смеситель (2). В процессе приготовления температура суспензии поддерживается в диапазоне от 60 до 80 °С. В расходном смесителе суспензия перемешивается и дозревает в течении 40-45 минут. После чего, суспензия проходит через фильтр (3), который задерживает все инородные включения и «комки», иногда присутствующие в суспензии. Затем, насос низкого давления (4), подает суспензию на насос высокого давления (5). Из насосов высокого давления суспензия подается в сушильную башню (6). Сушка композиции осуществляется потоком теплоносителя, поступающим в сушилку противотоком, по отношению к направлению движения суспензии.

Основными аппаратами, участвующими в данном процессе, являются: реактор с лопастной мешалкой, фильтр и сушильная башня. Фильтр (производства: Desmet Ballestra, Италия), чувствителен к фильтруемой среде. При фильтрации неравномерно перемешанной суспензии (с наличием комков), фильтр быстро засоряется, следовательно, уменьшается его пропускная способность и требуется его пропарка с последующей промывкой. Поэтому в данном исследовании, была сделана попытка моделирования гидродинамики реактора с лопастной мешалкой с целью определения условий равномерного распределения поля скоростей по рабочему объёму.

Для моделирования гидродинамики реактора была разработана трехмерная параметрическая модель его рабочей зоны в системе автоматизированного проектирования работ (САПР) «Компас – 3D v17.1». В ходе работы по созданию трехмерной модели реактора, создана геометрия только рабо-

чего объема аппарата, не учитывая толщину стенок. Для упрощения задачи, модель построена одним твердым телом, без использования сборочных единиц.

Далее в качестве инструмента исследования использовался программный комплекс ANSYS 18.2 (Workbench 18.2, пакет Fluid Flow (CFD)).

Для создания расчётной сетки (рис. 2) твердотельной модели рабочего объема реактора использовался модуль Meshing. Для рассматриваемой модели реактора, была построена сетка, состоящая из 850 тысяч элементов. Большое количество элементов потребовалось для более точного отображения, движения компонентов в реакторе.

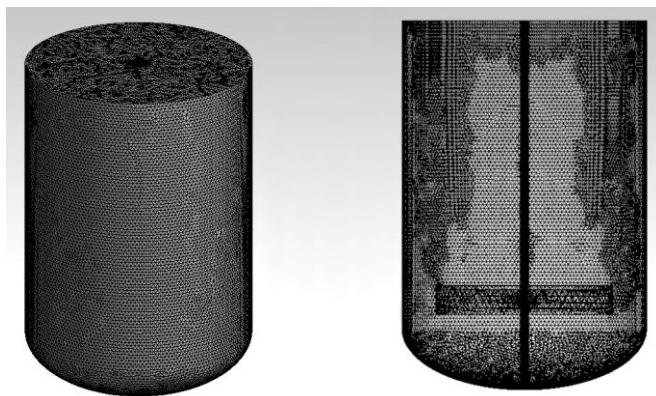


Рис. 2. Расчетная сетка реактора

Для исследования движения суспензии по объёму реактора была использована модель турбулентности SST (Shear Stress Transport) – одна из разновидностей моделей турбулентности $k - \omega$. Модель турбулентности SST – это модель переноса касательных напряжений, применяется, когда требуется хорошее решение в пристеночном слое. Она комбинирует преимущества базовых моделей $k - \omega$, $k - \epsilon$. Энергия турбулентности k и энергия диссипации ϵ связаны между собой соотношением по гипотезе Колмогорова-Прандтля (с константами, переменными и эмпирическими функциями).

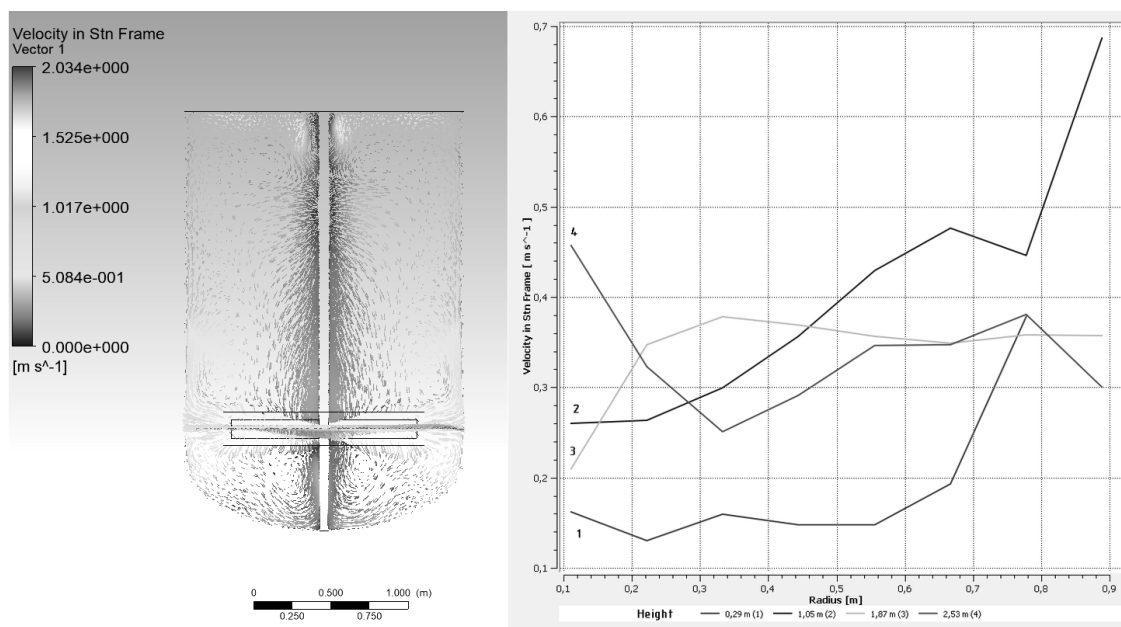


Рис. 3. Гидродинамика реактора с одной лопастной мешалкой

В двухпараметрических моделях решаются два отдельных уравнения переноса, определяющих турбулентную скорость и пространственный масштаб турбулентного движения. Такие модели используют градиентную гипотезу Буссинеска, связывающую рейнольдсовы напряжения с осредненными градиентами скоростей и турбулентной вязкостью.

В ходе исследования гидродинамики реактора было сделано 3 варианта расчета.

Вариант 1. С одной лопастной мешалкой. Высота верхнего свободного объема суспензии над мешалкой – 1990 мм.

Вариант 2. С двумя лопастными мешалками. Расстояние между мешалками – 680 мм. Высота верхнего свободного объема суспензии над мешалкой – 1190 мм.

Вариант 3. С тремя лопастными мешалками. Расстояние между мешалками – 680 мм. Высота верхнего свободного объема суспензии над мешалкой – 390 мм.

Полученные результаты расчета представлены на рис. 3-5.

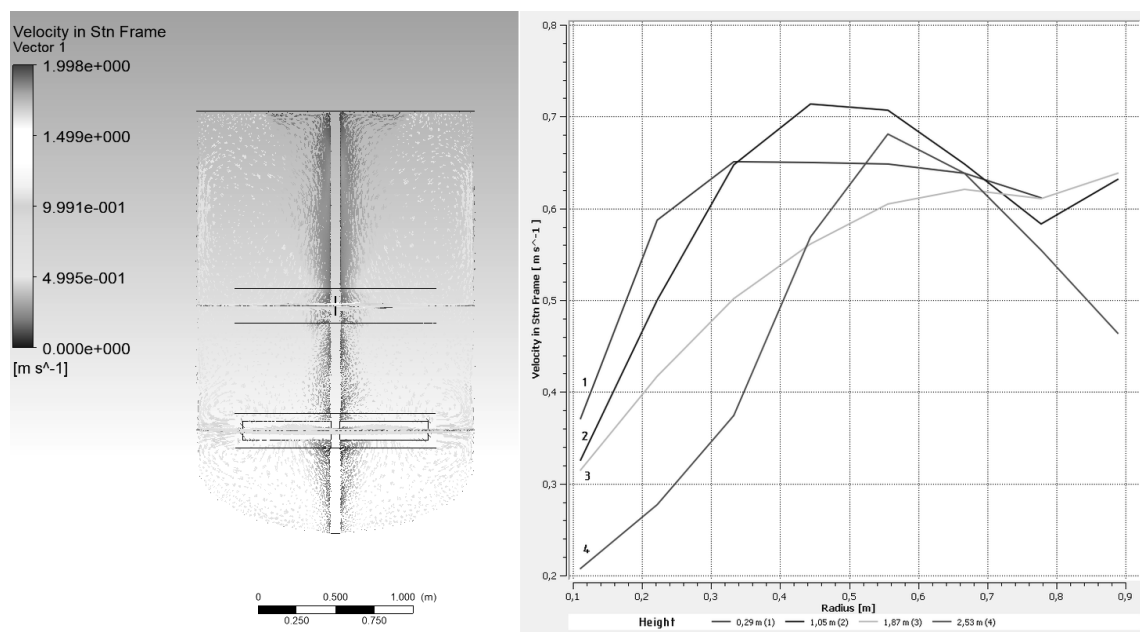


Рис. 4. Гидродинамика реактора с двумя лопастными мешалками

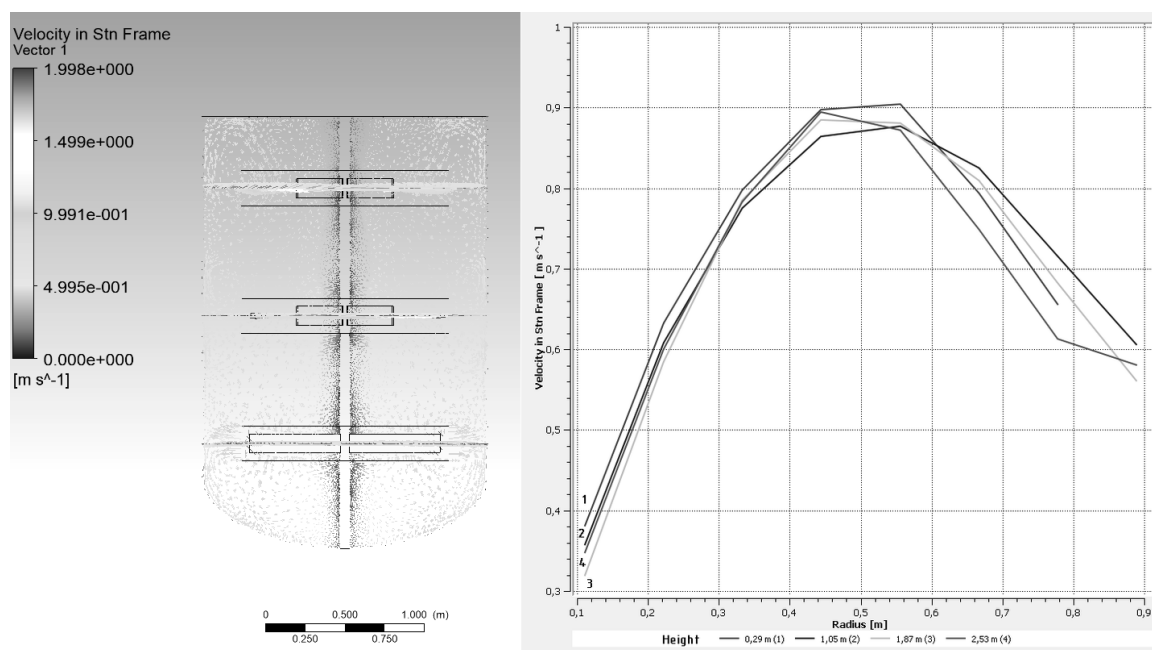


Рис. 5. Гидродинамика реактора с тремя лопастными мешалками

Из рис. 3 видно, что у реактора с одной лопастной мешалкой в верхней части, очень низкий градиент скоростей, а в нижней части, низкая абсолютная скорость движения суспензии. Это приводит к образованию частиц более крупного размера, а также возможному появлению «комков» в суспензии. Также, из-за неравномерного распределения поля скоростей по объему реактора, невозможно поддержание твердых частиц во взвешенном состоянии, препятствуя их осаждению.

У реактора с двумя лопастными мешалками (рис. 4), зона с низкой абсолютной скоростью движения суспензии отсутствует, так же у данного реактора более высокий градиент скоростей. Но распределение поля скоростей по объёму реактора, является не равномерным.

Добавление третьей лопасти в верхней части мешалки, приводит к стабилизации профиля скоростей по всей высоте аппарата, с максимумом на радиусе 0,5 м, что видно из рис. 5. Из графика на рис. 5 видно, что в приосевой зоне скорости колеблются от 0,3 до 0,4 м·с⁻¹, а в пристеночной области на радиусе 0,8 м, абсолютная скорость движения смеси колеблется от 0,6 до 0,7 м·с⁻¹.

Проведенные исследования показали, что реактор с одной и двумя лопастными мешалками могут оказаться малоэффективны, т.к. гранулы будут концентрироваться в нижнем объёме аппарата. Для получения суспензий на основе крупнодисперсных гранул ($D > 1$ мм) необходимо применение реактора с тремя лопастными мешалками.

Из результатов расчетов видно, что с увеличением количества лопастей, происходит выравнивание поля скоростей по объёму реактора, что способствует более равномерному распределению частиц по размеру, а также создает благоприятные условия для перемешивания суспензий.

Литература

[1] Ковалев В.М., Петренко Д.С., Технология производства синтетических моющих средств. М.: Химия, 1992, 272 с.

ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКООЧИЩЕННОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ЗАМЕЩЕНИЯ ДЕФЕКТОВ КОСТИ МЕТОДАМИ СЕЛЕКТИВНОЙ СВЕРХКРИТИЧЕСКОЙ ЭКСТРАКЦИИ И ИМПРЕГАЦИИ

Файзетдинов С.Р., Колсанов В.С., Максудов Р.Н.

Казанский национальный исследовательский технологический университет

E-mail: maxoudov@kstu.ru

В настоящее время реконструктивный характер хирургической помощи во многом обусловлен развитием биотехнологий и широким применением различных материалов, в том числе – на основе природных. Средняя потребность в костном матриксе для проведения хирургических вмешательств по исправлению дефектов костной ткани составляет от 10 до 30 граммов на операцию. При количестве больных в России (по данным Госкомстата РФ в среднем более 10 млн. пострадавших за год) высокая потребность в высокоочищенном костном матриксе очевидна.

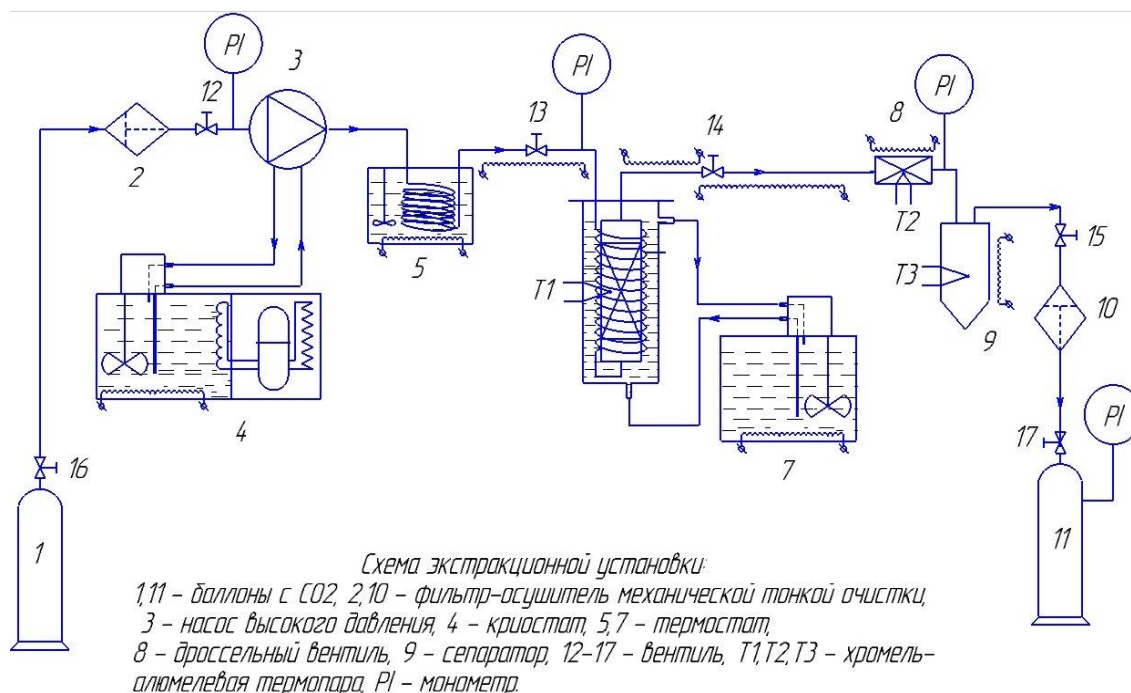


Рис. 1

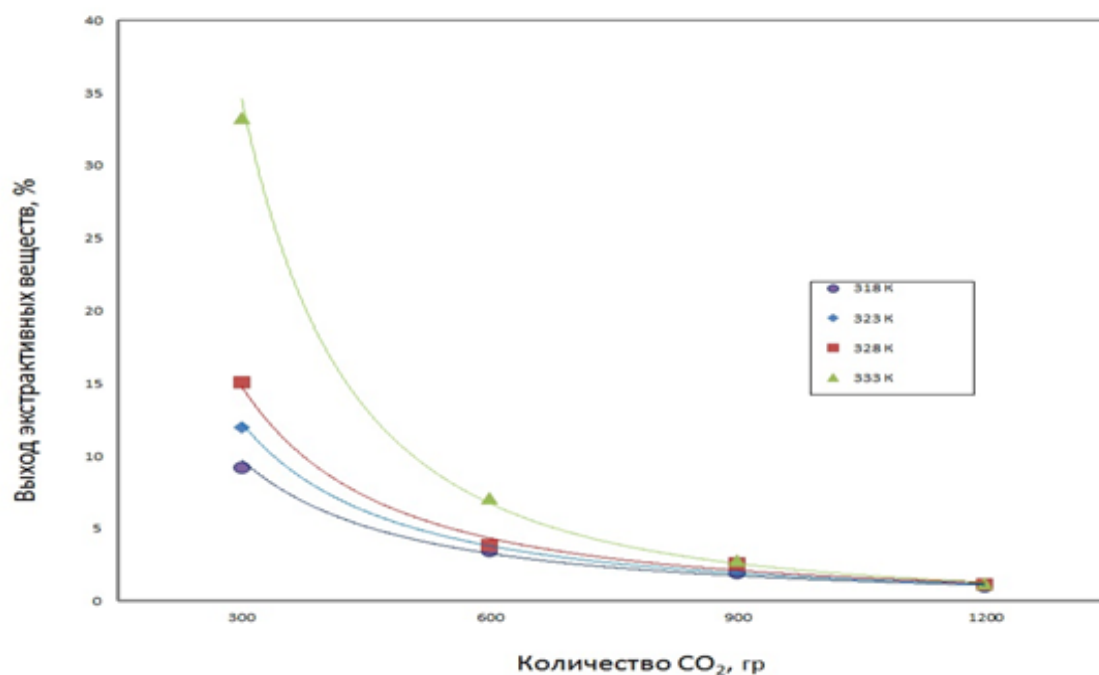


Рис. 2

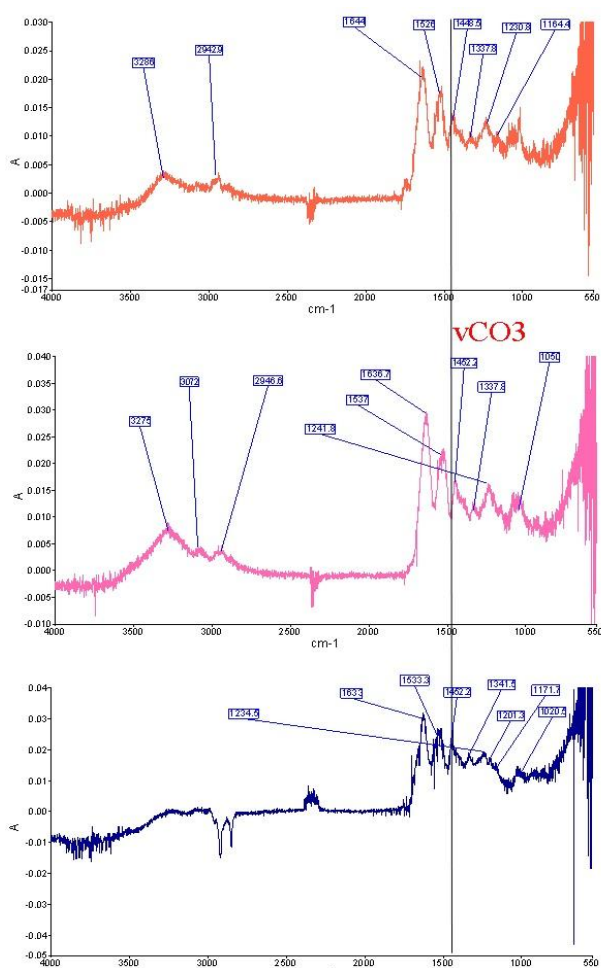


Рис. 3

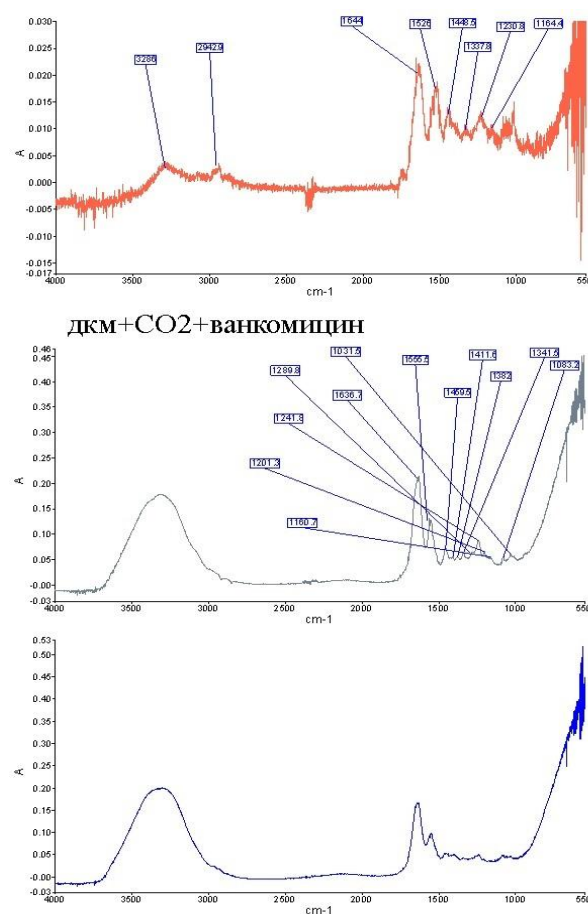


Рис. 4

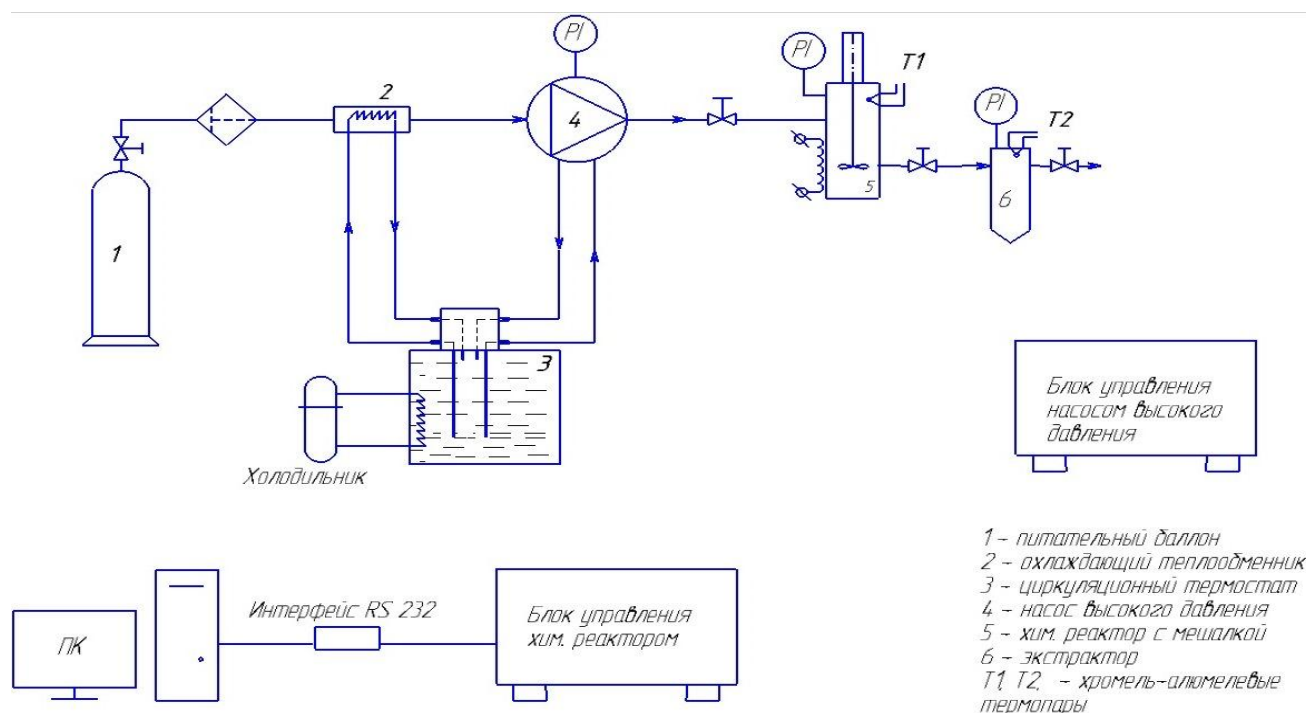


Рис. 5

Настоящая работа направлена на решение этой задачи методами селективной сверхкритической очистки и импрегнации. Осуществляется очистка исходного материала сверхкритической экстракцией жиров и липидов для последующей импрегнации деминерализованного костного матрикса (ДКМ) стимуляторами, цитостатиками и антибиотиками. В качестве растворителя используется диоксид углерода при сверхкритических параметрах состояния (СК CO_2 , $P_{\text{кр}} = 7.3 \text{ МПа}$; $T_{\text{кр}} = 304.2 \text{ К}$). Его преимуществами для решения этой задачи являются инертность и невысокие критические параметры.

Эксперименты по очистке ДКМ проводятся на лабораторной проточной установке, реализующей взаимодействие потока сверхкритического флюида с обрабатываемым материалом [1] (рис. 1).

К настоящему времени проведена серия пробных экспериментов при различных параметрах процесса. Кривые выхода экстрактивных веществ показаны на (рис. 2). Данные ИК-спектроскопии очищенных образцов обнаруживают удаление из них воды (νOH), снижение содержания белков (NH) и липидов (рис. 3). При этом выражено возрастает содержание карбонатов. Уменьшение содержания белков обеспечивает лучшую приживаемость, сдерживая иммунные реакции отторжения.

Результаты имплантации полученного нами образца ДКМ лабораторному животному представлены на рис. 4. Результаты обнаруживают, что высокоочищенный костный матрикс не влияет на коэффициент жизнеспособности клеток, значительно влияет на пролиферативную активность, не обладая токсичностью в отношении клеток лабораторных животных [2].

Импрегнация очищенного деминерализованного костного матрикса лекарственными препаратами осуществляется на экспериментальной установке с химическим реактором для осуществления реакций в среде СК CO_2 (рис. 5). Установка позволяет осуществлять импрегнацию в чистом и модифицированном сверхкритическом CO_2 . В настоящее время осуществляется разработка методики импрегнации антибиотика модифицированным полярным соразтворителем (этанол, ДМСО) СК CO_2 в предварительно экстрагированный ДКМ.

Литература

- [1] Колсанов В.С., Максудов Р.Н. и др. Вестник Казанского технол. ун-та. – 2016, № 20, С. 177 - 178.
- [2] Миронов, А.Н. и др. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. М.: 2012. – ISBN 978-5 – 944 с.

УСТАНОВКА ДЛЯ ДЕГАЗАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Тураев И.Р., Лукоянов Н.П., Гаврилов А.В.

Казанский национальный исследовательский технологический университет

E-mail: ixa094@mail.ru

Дегазация – это процесс отделения сорбированных газов или паров из материала в вакууме. Процесс дегазации довольно простой: вакуумный насос откачивает газ из камеры, а так как в ней размещается обрабатываемый материал, в этом случае лишние примеси откачиваются также. Совершается это под влиянием невысокого давления, что приводит к очищению субстанции.

Разработанная установка предназначена для дегазации солнечных батарей в вакууме и используется для устранения вредных примесей с клеевых и лакокрасочных покрытий непосредственно на самой панели, поскольку эти примеси будут мешать при прохождении спутником, либо кораблем атмосферы Земли, а также при нахождении их в космосе, что может привести к выходу их из строя.

Основные параметры установки приведены в таблице.

Камера изготовлена в климатическом исполнении УХЛ категории размещения 4.2 по ГОСТ 15150 - 69 для эксплуатации при температуре окружающего воздуха от плюс 10 °С до плюс 35 °С [1]. Рабочая среда – воздух и неагрессивные газы. Камера не предназначена для использования на пожаро – и взрывоопасных производствах.

Размещение камеры в помещении заказчика выполнить в соответствии со строительным заданием ЦП2.950.265-00 7 Д1 (см. ЦП2.950.265-00 7 ВЭ). При подготовке помещения к монтажу особое внимание обратить на соблюдение общих требований безопасной эксплуатации вакуумного оборудования и общих правил размещения промышленного оборудования.

Установка включает в себя следующие основные составные части:

а) камера в сборе поз. 2 (рис. 1) – основной блок камеры, в который входят: камера прямоугольного типа; дверь с поворотным механизмом (петли); днище.

б) автоматизированная система контроля и управления камерой ВК-8 (далее пульт управления) поз. 37 – блок для питания и управления откачной системой, вакуумной арматурой, системой датчиков и т. д.

в) агрегат форвакуумный механический АВД-150/63 поз. 23 – блок для обеспечения работы высоковакуумной и промежуточной откачки обрабатываемых изделий;

Таблица. Технические характеристики камеры дегазации

№ п/п	Наименование параметра	Величина
1	Внутренний объем камеры, м ³	7,65
2	Время выхода на предельный вакуум, не более, ч	3
3	Рабочее давление, Па (мм рт. ст.)	0,01 (7,5·10 ⁻⁵)
4	Максимальная потребляемая мощность вакуумного оборудования, кВт	19,5
5	Выделение продуктов дегазации (компоненты каучука синтетического СКТНФ), кг/цикл	0,1
6	Расход воды, м ³ /ч, не более	0,94
7	Габаритные размеры камеры, не более, мм, длина ширина высота	7500 2300 3300
8	Внутренние размеры камеры, не более, мм длина ширина высота	4700 600 2700
9	Масса, кг, не более	9000

г) блок высоковакуумной откачной БВО-630Э поз. 15 – блок для финишной откачки изделий;

д) азотный питатель ПА-25 поз. 34 – блок подачи жидкого азота в ловушку с ручным/автоматическим управлением;

- е) система вакуумной арматуры, обеспечивающая коммутацию откачных средств в процессе работы камеры;
- ж) система подвода и слива охлаждающей воды;
- и) комплекты ЗИП и монтажных частей.

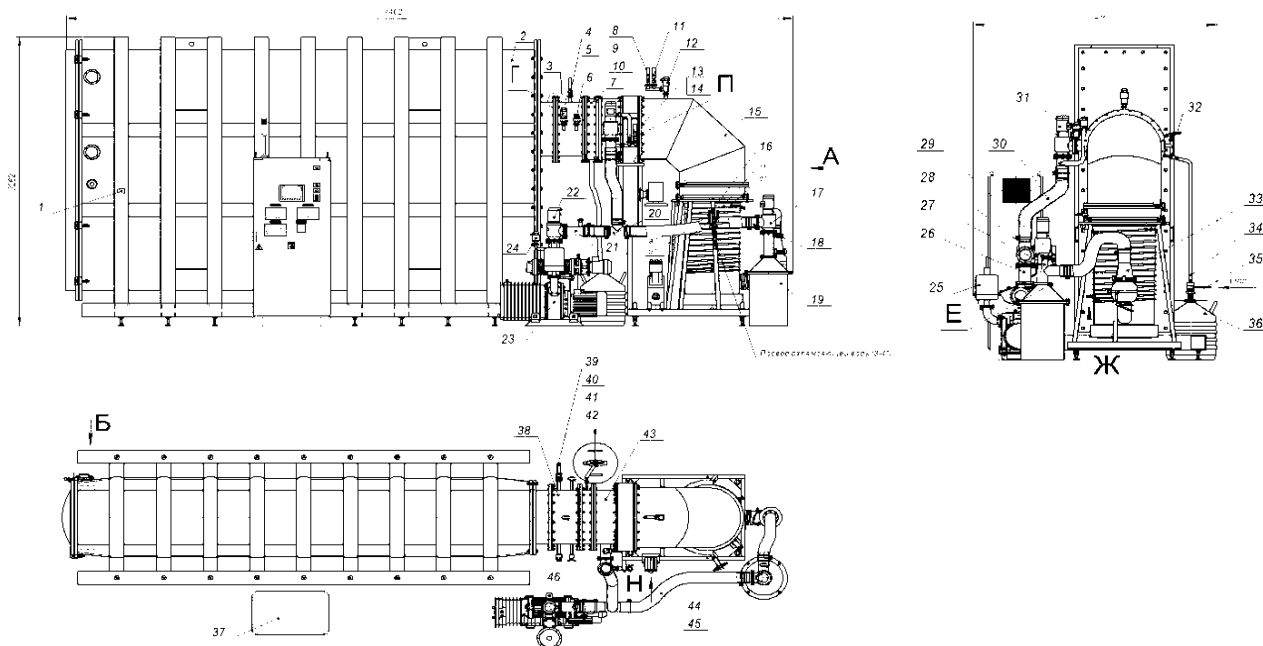


Рис. 1. Установка для дегазации солнечных батарей

Камера по принципу действия относится к вакуумным установкам периодического действия.

Камера представляет собой сварную конструкцию, состоящую из камеры прямоугольного типа с дверью, днищем и фланцевым уплотнением (уплотнение – вакуумная резина).

Система откачки (рис. 2) выполнена на базе:

- форвакуумная откачка – агрегат вакуумный двухроторный АВД-150/63, состоящий из последовательно соединенных двухроторного насоса НВД-600 и пластинчато-роторного насоса 2НВР - 250Д;

- высоковакуумная откачка – диффузионный насос НД-630Э и водоохлаждаемая проточная ловушка ЛП - 630;

- вакуумная арматура – с электромеханическим приводом в запорной переключающей арматуре, с электромагнитным приводом в аварийных клапанах и клапанах – натекателях, с ручным приводом в клапанах для выполнения дополнительных технологических операций (подключение течесчетчика).

Автоматизированная система контроля и управления камерой выполнена в виде пульта управления, который вместе с датчиками вакуума и температуры составляет информационно-управляющую систему, обеспечивающую работу камеры во всех заданных режимах работы.

Система подвода и слива охлаждающей воды включает в себя:

- а) водораспределитель поз. 16 (рис. 1), в составе которого имеются: механический фильтр; коллектор с регулирующими вентилями; электромагнитный клапан.

- б) коллектор слива поз. 56, в составе которого имеются: ёмкость со сливным патрубком (1 1/4"); четыре линии слива с датчиком воды в каждой линии.

Работа установки (цикл) проходит в несколько этапов: создание в камере давления 4 Па и выдержка при этом давлении изделия в течение 60 мин при комнатной температуре; создание в камере давления не более 0,1 Па, время изменения давления от 4 до 0,1 Па должно быть не более 30 мин; по достижении установившегося давления в камере не более 0,1 Па, система управления вакуумной частью камеры формирует сигнал разрешения на включение термообработки изделия; по завершении технологического процесса по команде системы управления термообработкой вакуумная часть камеры выключится; по команде системы управления термообработкой осуществляется напуск воздуха да атмосферного давления.



Рис. 2. Откачная система установки для дегазации солнечных батарей

Литература

[1] Руководство по эксплуатации установки для дегазации солнечных батарей.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО СЕПАРАТОРА ДЛЯ ИЗБЕЖАНИЯ РАЗРУШЕНИЯ ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ

Мингалева Р.С., Гришин Н.С.

Казанский национальный исследовательский технологический университет.

E-mail: mingalev95@gmail.com

В настоящее время механические примеси являются причиной 20-50% отказов электроцентробежных насосов (ЭЦН) [1]. Для защиты ЭЦН от механических примесей обычно применяют фильтры с характерным диаметром отверстий не менее 100 мкм и, также оптимизированные на сепарацию частиц размером более 100 мкм. Однако имеются скважины и даже месторождения, в которых в основном частицы более мелкие. Например, в работе [2] описаны примеры выноса мелкодисперсных (диаметром приблизительно 50 мкм) примесей. В России подобные выносы характерны для многих месторождений Западной Сибири. Попадание в насос частиц примесей способствуют его износу и осаждаются на стенках проточной полости [3].

Сепарацию мелкодисперсных примесей целесообразно проводить центробежными сепараторами, поскольку создаваемые в них ускорения могут быть примерно в 100 раз больше, чем в гидроциклонах. Обычно сепараторы монтируются в нижней части погружной установки, чтобы обеспечить возможность сбора отсепарированных частиц в контейнер. Современные центробежные сепараторы механических примесей включают сепарационный барабан примерно такой же конструкции, как в газосепараторах. В них скважинная жидкость с механическими примесями приводится во вращение и перемещается вверх. Твердые частицы, движущиеся с жидкостью, под действием центробежных сил смещаются к стенкам сепаратора. Далее через кольцевой зазор они поступают из сепарационного барабана в коаксиальный цилиндрический канал, закрытый сверху и открытый снизу. Двигаясь по этому каналу вниз, частицы попадают в контейнер [4, 5]. Верхняя часть коаксиального цилиндрического канала разделена спиралевидными лопастями на два протока (первая лопастная система). Ниже расположена часть канала, разделенная на три протока (вторая лопастная система), еще ниже – на десять протоков (третья лопастная система) [4] (рис. 1).



Рис. 1. Схема движения частиц и жидкости

Применение центробежных сепараторов показал [5, 6], что характерное время их безотказной работы составляет около 30–100 сут. Это существенно меньше среднего времени безотказной работы ЭЦН. Причина отказа – сквозное разрушение корпуса (рис. 2, а), характерное и для газосепараторов [7, 8].

В статье рассмотрены результаты стендовых исследований разрушения сепаратора механических примесей и предложена новая износостойкая конструкция.

Исследования проводились на стенде, моделирующем скважинные условия. В сепаратор подавалась смесь воды и кварцевого песка концентрацией 10 г/л. Частицы были двух фракций: 0,01 – 0,03 и 0,5–1 мм в соотношении 1:1. В ходе испытаний смесь многократно прокачивалась через сепаратор. Каждый час ее заменяли на новую, поскольку частицы песка измельчались. Испытания выполнялись при повышенной частоте вращения вала, равной 4500 мин⁻¹. После 4 ч испытаний на защитной гильзе образовались сквозные отверстия (рис. 2, б) примерно такие же, как при эксплуатации в скважине (см. рис. 2, а). Отверстия располагались в местах перехода между всеми лопастными системами (см. рис. 1). Разрушения происходили на стыках лопастных систем, где формировались вихри, являющиеся ловушками твердых частиц. В вихрях возрастала концентрация частиц, а следовательно, и скорость износа. Подобный механизм разрушения авторы наблюдали ранее в газосепараторах и ступенях ЭЦН [9-12].

Для того, чтобы снизить вероятность захвата частиц вихрями, были предложены следующие варианты модернизации конструкции сепаратора для увеличения вертикальной компоненты скорости частиц в нисходящем потоке и уменьшения центробежных сил, действующих на частицы:

- 1) уменьшение диаметров сепарационных шнеков на 30% (для уменьшения центробежных сил);
- 2) использование лопастных систем с одинаковыми числом лопастей и шагом (для снижения вихреобразования);
- 3) то же, что и вариант № 2, кроме того, увеличение в 2 раза высоты спиральных лопастей (для снижения вихреобразования и увеличения скорости частиц).

Результаты испытаний показали, что изменение диаметров сепарационных барабанов (вариант № 1) не повлияло на износостойкость конструкции. Согласование лопастных систем (варианты № 1, 3) примерно в 2 раза увеличило стендовую наработку сепаратора (до появления сквозных отверстий). Однако полученный эффект оказался, так как наработка базовой конструкции сепаратора в эксплуатационных условиях не превышала 100 сут.

В качестве сепарационного блока был использован геликоидальный шнек переменного шага [13], лопастная система которого устроена так, что твердые частицы, движущиеся под действием центробежных сил в направлении, перпендикулярном оси вращения, прежде чем достичь корпуса, сталкиваются с лопастями. Последние частично экранируют корпус, защищают его от гидроабразивного износа.

После входа в сепаратор (рис. 3) смесь жидкости и твердых частиц движется вниз, в направлении ускорения свободного падения. Если в проточных каналах сепаратора возникнут вихри, то они не будут ловушками твердых частиц, так как вертикальная компонента скорости частиц и сила тяжести

направлены в одну сторону – вниз. Если скорость частиц в нисходящем потоке превысит скорость их вихревого движения (внутри вихря), то частицы не будут накапливаться в вихрях. По мере движения вниз частицы прижимаются к защитной гильзе сепаратора, попадают в вертикальные каналы и далее перемещаются вниз в контейнер под действием силы тяжести.

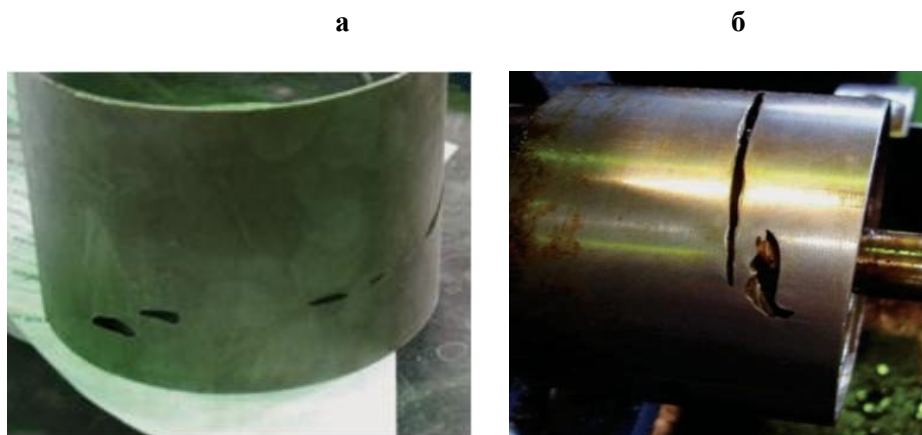


Рис. 2. Разрушение деталей сепаратора при эксплуатации скважины (а) и стендовых испытаниях (б)

Жидкость, очищенная от механических примесей, достигнув нижней части сепарационного блока, попадает в наружный кольцевой канал, по которому поднимается к выходным отверстиям сепаратора. Для предотвращения проникновения жидкости через выходные отверстия внутрь сепаратора напор шнека должен быть таким, чтобы в рабочем диапазоне подач сепаратора давление на выходных отверстиях превышало давление на входных отверстиях.

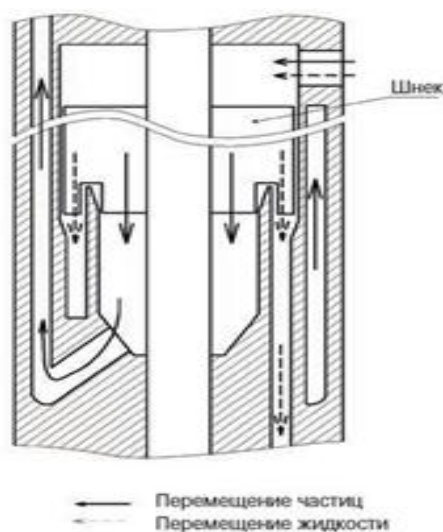


Рис. 3. Схема новой конструкции сепаратора
механических примесей

Новая конструкция сепаратора была испытана в тех же условиях, что и серийная. Установлено, что для новой конструкции сепаратора характерен равномерный износ гильзы по всей ее длине, тогда как в серийной конструкции износ локализован в узких областях на стыках лопастных систем. Средняя скорость износа уменьшилась примерно в 10 раз. Коэффициент сепарации частиц размером от 10 до 100 мкм при подаче до 200 м³/сут составил более 95 %.

Выводы

1. Причиной разрушения серийной конструкции сепаратора является накопление механических частиц в вихрях, локализованных вблизи поверхностей стыков лопастных систем.

2. В новой конструкции сепаратора осевая (в направлении оси сепаратора) компонента скорости твердых частиц выше скорости их вихревого движения (внутри вихря), что исключает накопление частиц в вихрях.
3. Применение новой конструкции сепаратора позволило снизить среднюю скорость износа и значительно увеличить коэффициент сепарации для частиц размером от 10 до 100 мкм.

Литература

- [1] Девидский В.Н. Промысловые испытания оборудования в осложненных условиях//Инженерная практика. – 2011. – № 2. – С. 90 – 92.
- [2] Предотвращение выноса песка из добывающих скважин/Р.Дж. Арментор, М. Боумен, Г. Кавацолли [и др.]// Нефтегазовое обозрение (Schlumberger). – 2007. – Лето. – С. 4 – 17.
- [3] Соболева Е.В. Анализ условий образования и методы борьбы с асфальтеносмолопарафиновыми отложениями в скважинах при добыче нефти на месторождениях Верхнего Прикамья//Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – № 8. – 2013. – С. 71 – 77.
- [4] Разработка принципов центробежной сепарации механических примесей на приеме УЭЦН/ А.В. Деньгаев, В.С. Вербицкий, А.Н. Дроздов [и др.]//Территория Нефтегаз. – 2007. – № 10. – С. 26–28.
- [5] Маркелов Д.В. Центробежная сепарация газа и твердых частиц в приемных устройствах погружных насосных установок для добычи нефти: дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – М., 2007. – 118 с.
- [6] Булат А.В. Повышение эффективности работы скважинного насосного оборудования за счет применения сепараторов механических примесей: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – М., 2013.
- [7] Деньгаев А.В., Дроздов А.Н., Вербицкий В.С. Исследование причин «полетов» газосепараторов в составе УЭЦН// Территория Нефтегаз. – 2005. – № 11. – С. 50 – 54.
- [8] Ламбин Д.Н., Свицерский С.В. Сравнительные испытания на износоустойчивость отечественных центробежных газосепараторов// Нефть, Газ, Бизнес. – 2010. – № 4. – С. 78 – 83.
- [9] Островский В.Г., Перельман М.О., Пещеренко С.Н. Механизм гидроабразивного износа погружных газосепараторов//Нефтепромысловое оборудование. – 2013. – № 5. – С. 100–102.
- [10] Островский В.Г., Перельман М.О., Пещеренко С.Н. Механизм гидроабразивного износа ступеней нефтяных насосов//Бурение и нефть. – 2012. – № 10. – С. 36–38.
- [11] Островский В.Г., Пещеренко С.Н. Расчет скорости гидроабразивного износа межступенчатых уплотнений погружного насоса// Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2012. – № 5. – С. 70–75.
- [12] Бруслова О.М. К вопросу повышения срока службы грунтовых насосов// Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2014. – № 10. – С. 98–106.
- [13] Пат. РФ № 2379500. Абразивостойкий центробежный газосепаратор/ С.Н. Пещеренко, М.П. Пещеренко, А.И. Рабинович, М.О. Перельман, Г.Л. Дорогокупец, О.Е. Иванов, П.Б. Куприн, М.Ю. Мельников, А.М. Гуркин, А.Т. Нагиев, А.Л. Каплан; заявитель и патентообладатель ЗАО «Новомет-Пермь». – № 2008108374/03; заявл. 03.03.08, опубл. 20.01.10.

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОЦИКЛОНОВ В ХИМИЧЕСКОЙ И НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Хамизуллин Ф.Ф., Валеев С.И.

Казанский национальный исследовательский технологический университет.

E-mail: khamizullin95@mail.ru

В первый раз гидроциклон был применен в промышленности на углеобогатительной фабрике Голландии в 1939 году. Серийное производство гидроциклонов в СССР начато в 1956 году. Широкое применение гидроциклоны приобрели из-за простоты конструкции и высокой эффективности работы [1].

Гидроциклон – аппарат, предназначенный для обесшламливания, сгущения шламов и продуктов флотации, осветления оборотных вод, классификации рудной пульпы в стадиях тонкого измельчения в замкнутом цикле с шаровыми мельницами и обогащение тонких фракций угля и руды в водной среде и тяжелых суспензиях в центробежном поле, создаваемом в результате вращения пульпы. В последнее время все чаще в технологии обогащения применяют кластер гидроциклонов, что позволяет существенно повысить производительность по потоку, при сохранении тонкости классификации, а также снизить давление пульпы в питании кластера и соответственно уменьшить потребляемую мощность питающих пульповых насосов.

Применение гидроциклонов вследствие их небольшой стоимости позволяет сократить затраты на строительство и эксплуатацию сооружений для предварительного осветления воды. Если говорить проще, то гидроциклон – это своего рода сепаратор, который выполняет работу при помощи действия центробежных сил.

Следует различать такие типы гидроциклонов, как гидроциклоны классификаторы, гидроциклоны-сгустители и гидроциклоны-сепараторы. Гидроциклоны-классификаторы применяются для разделения зерен по крупности; гидроциклоны-сгустители – для отделения части воды от зерен; гидроциклоны-сепараторы – для обогащения полезных ископаемых в минеральных суспензиях.

В настоящее время гидроциклоны часто применяются в нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности. Чаще всего гидроциклоны используют для механического разделения полидисперсных гетерогенных систем (нефтедержащие воды, например). Другой технологией в нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности является использование гидроциклона при стабилизации нефти [2]. В состав нефти входят низкокипящие углеводороды, содержание которых может быть очень большим (до 15%). В этом случае нефть необходимо стабилизировать, чтобы не снизился выход легких фракций при дальнейшей ее переработке. Стабилизация нефти в зависимости от применения продуктов в процессе производится по двум вариантам: 1. стабилизация с использованием газа в качестве топлива печей или подачей ее на газокompрессорную станцию; 2. стабилизация нефти с получением широкой фракции легких углеводородов.

Общеизвестно, что стабилизация нефти методом ректификации является энергоемким, металлоемким процессом, для проведения которого необходимы сложные расчеты. При замене ректификационной колонны на гидроциклонную установку резко снижаются энергетические и материальные затраты. Температура нефти перед подачей в гидроциклон не превышает 343К, в то время как температура нефти в зоне питания ректификационной колонны, обеспечивающая аналогичную эффективность стабилизации по показателю давления насыщенных паров, составляет 523-573 К.

Давление нефти на входе в гидроциклон составляет 0,25-0,6 МПа. Работа гидроциклонной установки стабилизации при таких невысоких давлениях дает возможность при подключении непосредственно после блока обезвоживания-обессоливания исключить использование дополнительных печных насосов, характерных для установок с блоком ректификации. В отличие от стабилизации нефти в ректификационной колонне, при которой значительная часть получаемого нестабильного бензина возвращается в колонну в качестве орошения, в случае обработки нефти в гидроциклоне весь отобраный в центробежном поле бензин идет потребителям, чем в значительной степени снижаются затраты, связанные с захлаживанием продуктов стабилизации.

Расчет и проектирование гидроциклонных аппаратов для разделения неоднородных гетерогенных систем, определение оптимального режима эксплуатации возможны только на основе знания поведения разделяемых систем в рабочей зоне устройства. Основное влияние на поведение капель в гидроциклоне оказывает турбулентная составляющая [2]. Таким образом, располагая данными по гидродинамике гидроциклонов, можно определить локальные значения касательных напряжений в любой точке объема аппарата.

Только в последние годы гидроциклоны внедряют в производство для разделения несмешивающихся жидкостей (например, для воды от нефтепродуктов), вытесняя в некоторых случаях отстаивники, фильтры и центрифуги. Это связано с более сложным по сравнению с суспензиями механизмом процесса разделения, а также отсутствия достаточно точных методов расчета конструктивных и технологических параметров. Основной трудностью процесса разделения эмульсий по сравнению с суспензиями является значительно меньшая разница плотностей компонентов, составляющих систему, что требует большего времени разделения. Однако большинство известных гидроциклонов для разделения эмульсий мало чем отличаются от гидроциклонов для разделения суспензий, тем не менее, некоторые конструктивные изменения просматриваются.

Так, например, [4] для разделения жидких неоднородных систем в химической и нефтеперерабатывающей промышленности, а также для очистки нефтесодержащих жидкостей, используется гидроциклон содержащий корпус с тангенциальным входным, сливным патрубками, камеру сбора флотопродуктов, цилиндрический стакан и лопастной завихритель, установленный соосно сливному патрубку во флотационной камере, отличающийся тем, что к цилиндрическому стакану с лопастным завихрителем примыкает соосно полый цилиндр, сообщенный верхним основанием с камерой сбора флотопродуктов (рис. 1).

При этом боковая поверхность цилиндра перфорирована, образуя, таким образом, цилиндрическую решетку, причем диаметр отверстий уменьшается сверху вниз от 10 до 0,01 мм, внутренняя полость цилиндра выполняет функцию флотационной камеры, в нижней конусообразной части гидроциклона соосно с ним установлена полая вставка каплевидной формы, закрепленная на трубе, соосной песковому патрубку, на выходе которого установлен отбойник, имеющий форму усеченного конуса, снабженного внутренней резьбой, соответствующей резьбе на конце трубы, выходящем из пескового патрубка, что обеспечивает возможность перемещения отбойника вдоль трубы.

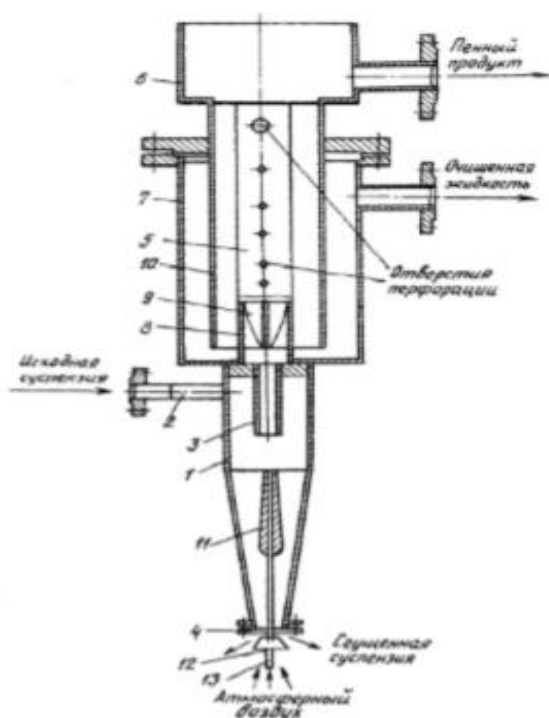


Рис. 1. Гидроциклон

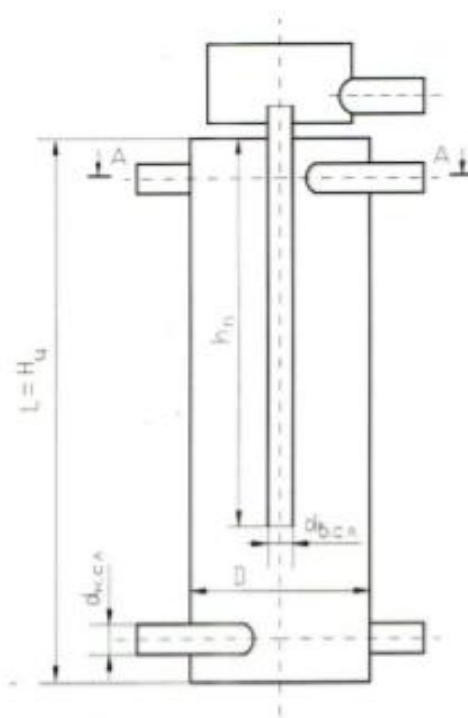


Рис. 2. Гидроциклон

Корпус 1, тангенциальный входной патрубок 2, сливной патрубок 3, кольцевой песковой патрубок 4, полый цилиндр 5, камера сбора флотопродуктов 6, камера сбора 7, стакан 8, развихритель 9, камера сбора 10, каплевидная вставка 11, внутренняя резьба отбойника 12, внутренняя резьба отбойника трубы 13.

Альтернативой сложных конструкций для разделения несмешивающихся жидкостей является гидроциклон с удлиненным верхним сливным патрубком [1].

Исследуемый гидроциклон имел следующие геометрические размеры (рис. 2): длина гидроциклона (в данном случае равняется высоте цилиндрической части) – 350 мм, два диаметрально противоположно расположенных нижних сливных патрубка, эквивалентный диаметр которых равнялся 11 мм, диаметр верхнего сливного патрубка составлял 4 мм, высота погружения верхнего сливного патрубка ($h_{сл}$) равнялась 300 мм [1].

Несмотря на то, что конструкция и принцип работы гидроциклона была описана и разработана более 100 лет назад, основные принципы работы не изменились. Гидроциклонные аппараты зарекомендовали себя простыми и недорогими аппаратами высокой эффективности. Степень необходимости и актуальности этого аппарата высока и на сегодняшний день. Именно поэтому его исследования ведутся по сей день и разрабатываются новые модели.

Литература

- [1] Валеев С.И. Очистка сточных вод в гидроциклонах систем оборотного водоснабжения: дисс. к.т.н. / С.И. Валеев. - КГТУ, Казань. 2000. С. 6 - 12.
- [2] Баранов Д.А. Принципы расчета и конструирования гидроциклонов для разделения эмульсий: автореферат. Д.А. Баранов М., 1996. С. 3 - 7.
- [3] Пат. 2393926 РФ, МПК В04С. Гидроциклон / Ф.С. Собачкин, К.А. Собачкин, А.Ф. Собачкин; заявитель и патентообладатель Пинтюшенко А.Д.; заявл. 26.01.09; опубл. 10.07.2010. Бюл. № 19.
- [4] Пат. 2385190 РФ, МПК В04С. Гидроциклон / А.Н. Скворцов, А.Д. Пинтюшенко, В.К. Тучков, Л.Е. Герцман; заявитель и патентообладатель Пинтюшенко А.Д.; заявл. 05.03.08; опубл. 27.03.2010. Бюл. № 19.
- [5] Валеев С.И., Верин Д.Ю., Булкин В.А. Экспериментальное определение гидродинамики цилиндрического гидроциклона для разделения эмульсий // В сборнике: Будущее науки 2014. Сборник научных статей 2-й Международной молодежной научной конференции, в 3-х томах. Курск, 2014. Т.1, с. 52 - 56.

ОЧИСТКА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НЕФТЯНЫХ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКРЕБКОВ ЛОПАТОЧНОГО ТИПА СО ЩЕТКАМИ

Игенов Ж.Ж.*, Алексеев В.В.

*Кызылординский государственный университет им. Коркыт-Ата, Казахстан**

E-mail: Zhuba27@mail.ru

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Нефть из нефтяных или нефтегазовых месторождений после ее предварительной переработки: сепарации, обезвоживания и обессоливания транспортируется на дальнейшую переработку – стабилизацию и фракционное разделение методом ректификации на нефтеперерабатывающем заводе.

При транспортировке нефти от промысла до нефтеперерабатывающего завода на внутренней поверхности могут откладываться различные вещества: песок, глина, продукты коррозии, смолистые вещества, асфальтены, церезины, парафины, которые уменьшают проходное сечение трубопровода, увеличивают гидравлическое сопротивление потока нефти и могут повлиять на производительность трубопровода.

При добыче и перекачке парафиновых видов нефти на внутренних стенках трубопровода происходит значительное отложение парафина, который уменьшает проходное сечение трубы, что сказывается на производительности перекачки и может привести к полной закупорке нефтепровода и остановке процесса перекачки.

Парафин выделяется из нефти в виде кристаллов, которые соединяясь между собой, образуют парафиновую массу. Она представляет собой пористый скелет, поры которого заполнены нефтью и водой. Температура плавления такой массы зависит от ее состава и колеблется от 40 до 50 °С. Вязкость застывающей парафинистой нефти зависит от количества, находящегося в ней парафина и температуры. Чем больше содержания парафина и ниже температура нефти, тем больше увеличивается ее вязкость.

Основными причинами отложения парафинов в трубопроводе являются: изменение температуры (охлаждение) нефти в процессе перекачки; изменение состояния растворенных газов; изменение физико-химических свойств перекачиваемой нефти.

Отложения парафинов происходит по диаметру трубопровода и по его длине неравномерно, что требует учета и выбора соответствующего способа очистки.

Отложение парафина по диаметру трубопровода происходит неравномерно: в нижней части трубопровода парафина откладывается, как правило, меньше, чем в верхней части. Это объясняется тем, что верхняя поверхность трубы имеет более низкую температуру и что механические примеси сдирают с нижних стенок трубопровода отложившийся парафин.

Отложение парафина по длине трубопровода неравномерно. На начальном участке нефтепровода, где температура нефти выше температуры начала выделения кристаллов, его отложения незначительны. С понижением температуры парафин начинает интенсивно выделяться и откладываться на стенках трубы. Затем толщина отложения парафина по длине нефтепровода уменьшается, так как

нефть движется с постоянной температурой, равной температуре грунта (или морской воды с учетом теплоизоляции) и основная масса парафина уже выпала из потока на предыдущем участке.

Асфальто-смолистые вещества, присутствующие в сырой нефти, способствуют возникновению плотных отложений на стенках нефтепроводов.

Для борьбы с парафиновыми отложениями в нефтепроводах проводят диагностические, профилактические и очистные мероприятия.

Поэтому периодически проводится очистка внутренней поверхности трубопровода для восстановления производительности и уменьшения гидравлического сопротивления потока нефти.

В данной статье рассматриваются конструкции существующих внутритрубных средств очистки, проводится сравнительный анализ их применимости и предлагается модернизированная конструкция щеточного скребка (скребка лопаточного типа со щетками) для эффективной очистки внутренней поверхности нефтепровода.

В качестве внутритрубных средств очистки, которые имеют разную форму и размеры, могут применяться манжетные, шаровые, очистные пенополиуретановые, очистные пенополиуретановые щеточные и щеточные скребки или поршни.

Износоустойчивость скребка характеризуется эффективной длиной очистки трубопровода. В настоящее время при регулярной очистке нефтепровода металлические очистные скребки могут проходить до 100 км без чрезмерного износа. Проходимость скребков характеризуется способностью проходить через различные препятствия внутри трубопровода: через задвижки, фланцы, выступы корней сварочных швов, переходы, подкладные кольца и т.п.

Применение внутритрубных средств очистки требует создания определенного давления и скорости движения потока нефти более 1,2-1,5 м/с. Поэтому при прохождении скребка по трассе должен осуществляться постоянный контроль за его движением по длине нефтепровода.

При выборе типа скребка также необходимо учитывать его геометрические размеры: диаметр и длину, определяемые внутренним диаметром трубопровода и кривизной траектории нефтепровода.

Манжетный скребок представляет собой конструкцию, состоящую из осесимметричной цилиндрической вставки меньшего диаметра, чем внутренний диаметр трубопровода. На цилиндрической вставке размещаются от 2 до 6 эластичных манжетов. Наружный диаметр манжетов совпадает с внутренним диаметром трубопровода. С передней стороны такого скребка устанавливается обтекатель, создающий разрывающий поток транспортируемой среды.

Манжетный скребок может использоваться для различных целей: для отделения различных жидкостей: нефти, нефтепродуктов и газов друг от друга, при заполнении или опорожнении трубопроводов, для поверхностной чистки или для вывода воды из газопроводов.

Шаровой скребок представляет собой полую сферу с малым отверстием для наполнителя. Такой скребок может изготавливаться из износоустойчивой резины с пластиковыми и металлическими резцами закругленной формы, запрессованными во внешнюю оболочку скребка. Скребок имеет клапан, через который закачивается рабочая жидкость. Под давлением рабочей жидкости наружный диаметр скребка увеличивается, и резцы выступают над поверхностью. Резцы расположены таким образом, что скребок, находясь в любом положении в полости трубопровода, очищает всю ее внутреннюю поверхность. Также могут применяться резиновые шары, оплетенные металлической стальной цепью или без нее.

Шаровой скребок, как правило, применяется для очень легкой очистки нефтепроводов, но иногда используется для вывода воды из газопроводов.

Очистной пенополиуретановый скребок конструктивно представляет собой устройство, состоящее из сплошного цилиндра с плавно заостренной носовой частью, а на цилиндрической поверхности изготавливаются винтовые канавки малой глубины. Применение винтовых канавок придает скребку вращательно – поступательное движение. Очистной пенополиуретановый скребок очень часто используется для легкой предварительной очистки трубопроводов или удаления воды. Любые инородные предметы: сварочные электроды, любые острые предметы, оставленные в трубопроводе, втыкаются в этот скребок и удаляются совместно. Такой скребок имеет малый срок эксплуатации, так как часто приходит в негодность из-за малой прочности его материала.

Очистной пенополиуретановый щеточный скребок конструктивно отличается от очистного пенополиуретанового скребка размещением в пазах на винтовой поверхности чистящих щеток. В результате чего, эффективность очистки очистным пенополиуретановым щеточным скребком при вращательно-поступательном движении возрастает за счет “наждачного” действия щеток.

Скребок такой конструкции используется для легкой очистки трубопроводов от жидкостей, а также для удаления жидкостей из газопроводов. Время эксплуатации такого скребка также мало, и примерно равно времени эксплуатации очистного пенополиуретанового скребка.

Щеточный скребок используется для очистки и для удаления парафина из трубопроводов. В его конструкции также могут использоваться манжеты.

Щеточный скребок при работе с жидкостями состоит из последовательно соединенных труб, которые проводят жидкость через центр очистного поршня (скребка). Некоторое количество жидкости проходит по трубам сзади скребка, и он начинает вращаться, потому что эти трубы соединены под углом. Таким образом, повышается эффективность очистки щетками. Кроме того, размывающий эффект, создающийся перед очистным поршнем, предотвращает формирование засорения в этой точке. Такой скребок рекомендуется для внутренней очистки нефтепроводов от парафинов и смолистых веществ.

При движении под напором жидкости скребки (поршни) должны плотно прилегать к стенкам трубопровода изнутри, чтобы они эффективно очистили внутреннюю поверхность при перемещении по трубопроводу.

Для организации процесса очистки скребками или диагностики внутреннего состояния трубопровода диагностическими скребками применяются камеры запуска, с одной стороны трубопровода, и камеры приема скребка, - с другой стороны.

Внутритрувные средства очистки начинают свой путь из камеры запуска скребка, проходят внутри трубопровода и удаляют из него воду, осадочные отложения – продукты коррозии, парафины и т. п.

Всевозможные виды очистки от парафинов и других отложений в значительной степени отличаются друг от друга, но все сводятся к одному – очистке и их удалению, а долговечность и экономичность эксплуатации всех элементов трубопровода напрямую зависит от состояния его внутренней поверхности.

Без применения механической очистки на коротких участках нефтепровода до 2,6 км может быть использована установка “ШТОРМ УКМ НП”, используемая радиочастотный принцип воздействия для удаления парафина с внутренней поверхности нефтепроводов. На более длинных участках нефтепровода, по-прежнему, рекомендуется использовать щеточные скребки.

Анализ работы скребков показывает, что для эффективной очистки нефти от продуктов коррозии, твердых парафинов могут использоваться, в основном, только щеточные скребки. Однако щеточные скребки имеют следующие недостатки:

- а) низкая скорость вращения;
- б) быстрый износ щеток;
- в) уменьшающееся давление щеток на внутреннюю поверхность трубопровода со временем эксплуатации за счет их износа.

Для устранения вышеуказанных недостатков такая конструкция может быть усовершенствована.

Низкая скорость вращения щеточного скребка связана с подачей нефти по винтовому каналу трубы, создающим вращательно-поступательное движение скребка с постоянным давлением на поверхности щеток. Последнее уменьшает эффект давления щетки на внутренние стенки трубопровода при их истирании, и эффективность очистки такими щетками существенно снижается.

Ниже дается краткое описание конструкции скребка лопаточного типа со щетками без схематического изображения, поскольку данная конструкция будет запатентована в качестве изобретения.

Основными элементами данной конструкции являются осесимметричная внутренняя цилиндрическая вставка с отверстиями, наружная цилиндрическая вставка, лопатки объемно профилированные, торцевая поверхность, находящаяся под давлением транспортируемой нефти, щетки гидродинамические, каналы радиального (для вращения) и осевого (для смыва отделенных отложений) типа.

В кольцевое пространство через отверстия в торцевой поверхности поступает часть транспортируемой жидкости, которая по радиальным и осевым перетокам поступает на лопатки, создавая давление на щетки, с одной стороны, и осевое давление, с другой стороны, смывая отложения с очищенной внутренней поверхности трубопровода.

Щетки крепятся к лопаткам и, находясь под нормальным давлением транспортируемой среды, контактируют с внутренней поверхностью трубопровода, совершая вращательно-поступательное движение как единое целое совместно со скребком.

В предлагаемой конструкции поток жидкости создает нормальное давление на поверхность щеток, и при их износе будет осуществляться постоянное воздействие на очищаемую поверхность. Дру-

гой внутренний поток обеспечивает вращение лопаток со щетками с постоянной скоростью, пропорциональной давлению потока.

Выводы

Использование скребков лопаточного типа со щетками:

- 1) может быть более эффективным очистным средством по сравнению со щеточными скребками при комплексной очистке от парафинов и других отложений;
- 2) может позволить сократить количество механических чисток оборудования от парафинов и других отложений;
- 3) сократить издержки на эксплуатационные расходы по очистке оборудования;
- 4) может увеличить срок службы оборудования.

Литература

- [1] Справочник по проектированию магистральных трубопроводов /Под ред. А.К. Дерцакяна. - Л.: – Недра, 1977. - 519 с.
- [2] Фролов Ю.А., Новоселов В.Ф. Очистка полости действующих магистральных трубопроводов. – Уфа: Изд. Уфим. нефт. ин – та, 1989. – 92 с.
- [3] Тугунов П.И., Новоселов В.Ф. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепродуктов. – М.: Недра, 1981. – 177 с.
- [4] Руководство по очистке магистральных нефтепроводов. РД 39-30-295-79. – Уфа: Изд. ВНИИСПТНефть, 1980. – 44 с.
- [5] Галеев В.Б., Карпачев М.З., Харламенко В.И. Магистральные нефтепродуктопроводы – 2 –е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1988. – 296 с.
- [6] Вернуй Б. Трубопроводные скребки// Нефть, газ и нефтехимия за рубежом. – 1980, № 9, с. 84 – 86.
- [7] Вернуй Б. Трубопроводные скребки// Нефть, газ и нефтехимия за рубежом. – 1980, № 10, с. 47 – 49.
- [8] Ахмадуллин К.Р., Новоселов В.Ф. Оценка степени загрязненности трубопровода по данным эксплуатации // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. - 1997. - №11-12. - С. 19-21.
- [9] Зайцев Л.А. Регулирование режимов работы магистральных трубопроводов. М.: Недра, 1982. – 240 с.
- [10] Использование внутритрубных снарядов на трубопроводах//Трубопроводный транспорт нефти. – 1996, №12, с. 14 – 18.