

осадка после третичного осаждения фосфора седиментацией [3–5]. Песочная фильтрация обеспечивает общую концентрацию фосфора в оттоке 0,05 мг/л (при 1 мг/л в притоке) [2]. Известны песочные фильтры, используемые для удаления третичного фосфора, например, непрерывно работающий песчаный фильтр DynaSand или система из двух соединенных непрерывно работающих песчаных фильтров DualSand [2, 6].

Песочная фильтрация используется как отдельная процедура или как дополнительная обработка раствора после седиментации [2]. Однако посредством мембранной фильтрации достигается высокое качество очищенных сточных вод [7]. В США мембранная фильтрация на станциях очистки сточных вод используется для удаления остаточного фосфора, азота и взвешенных частиц, а вода впоследствии используется для производства питьевой воды, промышленных предприятий, орошения городских парков или сельского хозяйства [8]. Производители,

продающие мембранные системы, такие как Zenon ZeeWeed (ультрафильтрация, полые волокна PVDF) или US Filter Memcor (ультрафильтрация, микрофильтрация, полые волокна PVDF), утверждают, что может быть достигнута общая концентрация фосфора в стоках ниже 0,1 мг/л, при начальной концентрации фосфора 1 мг/л [2, 9, 10].

Выбрав подходящую комбинацию отдельного химического осаждения фосфора и последующей фильтрации оттока с очистных сооружений, можно достичь остаточной концентрации общего фосфора 0,02–0,1 мг/л и, таким образом, удовлетворить более строгие требования предлагаемой поправки к постановлению правительства №401/2015 Сб. [11].

Работа выполнена при финансовой поддержке университета (№ A2_FTOP_2020_037; №A1_FTOP_2020_002) и Технологического агентства Чехии в рамках проекта №ТН04030202.

Список литературы

1. Wanner J., *Konkrétní požadavky a příklady řešení terciárního dočištění odpadních vod v EU. 2018: Praha.*
2. Hugh G., P.E. Tozer, and W. Curran, *STUDY OF FIVE PHOSPHORUS REMOVAL PROCESSES SELECT COMAG™*
3. *veoliawatertechnologies.com. ACTIFLO®. [cited 2020].*
4. *suezwaterhandbook.com. Sludge recirculation settling tank. [cited 2020].*
5. *mcdermott.com. ClariCone® Solids Contact Clarifier. [cited 2020].*
6. Fraser, B., *The DynaSand Filter, A. WATER, Editor., aimwater.com.au/.*
7. Wanner, J., *Konkrétní požadavky a příklady řešení terciárního dočištění odpadních vod v EU. 2018: Praha.*
8. National, et al., *Understanding Water Reuse, in Understanding Water Reuse - Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater. 2012.*
9. *evoqua.com. MEMCOR® CP PRESSURIZED ULTRAFILTRATION SYSTEMS. [cited 2020].*
10. *suezwatertechnologies.com. ZeeWeed* Ultrafiltration. [cited 2020].*
11. Foller, J., *Účinné metody srážení fosforu v odpadních vodách.*

ИСПАРЕНИЕ КАПЕЛЬ ВОДО-МЕТАНОЛЬНОГО РАСТВОРА В ОБЛАСТИ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

А.С. Наумкин, Д.Ю. Малышев

Научный руководитель – д.ф.м.н., профессор Б.В. Борисов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, alexnaumserg93@mail.ru

Процессы горения и испарения – одни из основных процессов в энергетике, технологиях химической и газовой промышленности. Так, например, в процессе добычи природного газа и подготовки его к транспортировке образуются отходы в виде водных растворов различных ви-

дов органического сырья и его производных, которые в дальнейшем необходимо утилизировать с учетом нанесения минимального ущерба окружающей среде. В работе [1] проведена серия физических экспериментов, результаты которых используются в модели термического обезвре-

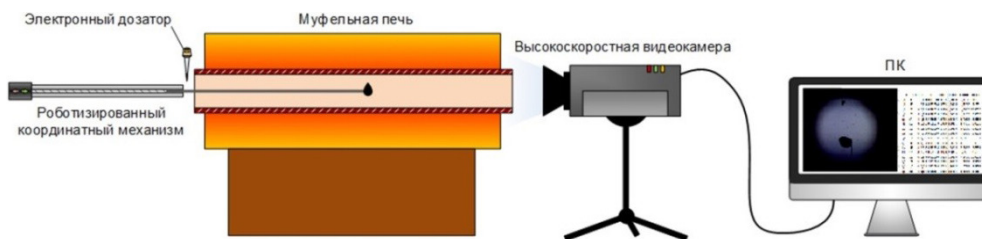


Рис. 1. Схема экспериментального стенда

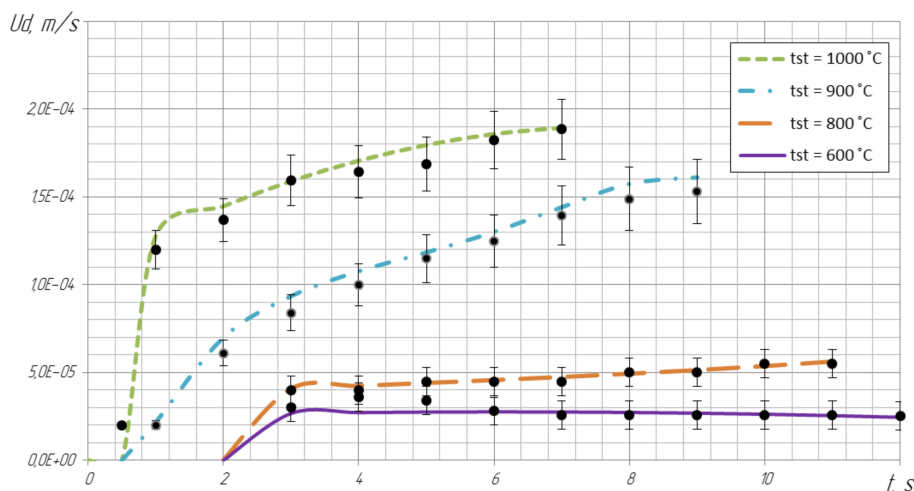


Рис. 2. Удельная скорость испарения капли для 1% ВМР, при различных температурах

живания водо-метанольного раствора (ВМР) в газовой горелке [2].

Эксперименты проведены на установке, схема которой представлена на рисунке 1 [3].

Для исследований испарения каплей ВМР варьируются доли метанола в растворе и температуры поверхности нагрева муфельной печи. Рассматривается водо-метанольный раствор с концентрацией метанола от 1% до 40%. Для определения скорости испарения каплей последние помещаются в муфельную печь Nabertherm R 50/250/13, производительностью 1,6 кВт. Температура внутри печи поддерживается постоянной с помощью встроенного в печь терморегулятора.

Скорость испарения определена путем дифференцирования аппроксимирующей функции определенных средних диаметров. Полученное значение скорости испарения определено соотношением [4]:

$$U_d = \left| \frac{V_{i+1} - V_i}{\Delta t (s_i + s_{i+1})/2} \right| = \left| \frac{4/3\pi (r_{i+1}^3 - r_i^3)}{\Delta t \cdot \pi (r_{i+1}^2 + r_i^2)/2} \right| = \left| \frac{2 (r_{i+1}^3 - r_i^3)}{\Delta t \cdot 3 (r_{i+1}^2 + r_i^2)/2} \right| \quad (1)$$

Определенная скорость испарения представлена на рисунке 2.

Необходимо отметить, что при помещении капли ВМР с концентрацией 1% метанола в полость печи, с указанными ранее температурами, возгорание замечено не было. Это объясняется недостаточной концентрацией в образовавшейся горючей смеси.

По результатам проведения физического эксперимента определены изменение геометрических параметров и зависимость скорости испарения каплей ВМР при различных концентрациях метанола и температуры внешней среды, создаваемой в условиях муфельной печи. Необходимо отметить нелинейность изменения геометрических характеристик капли. Полученные данные используются для снижения погрешностей в разработанных ранее математических моделях процесса.

Список литературы

1. Naumkin A.S., Borisov B.V., Nigay A.G. Influence of water-methanol solution additives on hydrocarbon fuel combustion in burner // *MATEC Web of Conferences*.– EDP Sciences, 2018.– V.194.– С.01042.
2. Созонов Н.А., Белобородов А.В., Теньковский Д.В. Горизонтальные факельные установки ООО «ТЮМЕННИИГИПРОГАЗ» // *Экспозиция Нефть Газ*, 2012.– №7(25).
3. Naumkin A., Borisov B., Razva A. Study process of evaporation drop water-methanol solution with exposed high temperature // *AIP Conference Proceedings*.– AIP Publishing, 2019.– V.2135.– №1.– С.020041.
4. Е. Ya. Gatapova, A.A. Semenov, D.V. Zaitsev, O.A. Kabov. Evaporation of a sessile water drop on heated surface with controlled wettability // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2014.– V.441.– P.776–785.

ИЗУЧЕНИЕ ПРИРОДНОГО МИНЕРАЛА ШУНГИТА КАК СОРБЕНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

А.Л. Новикова

Научный руководитель – д.т.н., профессор О.Б. Назаренко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, furia.08@mail.ru

В настоящий момент существует проблема ухудшения качественных показателей состояния окружающей среды, в том числе водных объектов. Загрязняющие вещества в сточных водах включают биогенные, радиоактивные и органические микроэлементы, тяжелые металлы, микропластик, микробные массы [1]. В связи с загрязнением водной среды поиск эффективных, недорогих и простых методов удаления загрязняющих веществ является одной из важнейших задач в области защиты окружающей среды. Одним из простых и эффективных методов очистки воды является фильтрация воды через природные или модифицированные сорбенты [2].

В данной работе используется природный минерал Шунгит Зажогинского месторождения (Карелия). На данном этапе исследовались площадь поверхности, радиус и объем пор и морфология поверхности.

Исследования проводили, используя анализатор сорбции газа серии NOVAtouch™, анализ площади поверхности и размера пор по методу BET. BET – классический метод определения объема пустот с азотом.

Шунгит измельчали, взвешивали и помещали в аналитическую станцию, устанавливали температуру 150 °С на 8 часов, тем самым убрали из пор влагу. Затем пробы доставали, снова взвешивали и помещали в следующую станцию. В специальную емкость заливали 2 литра жидкого азота, помещали под станцию с пробами и

включали программу измерений. Полученные значения представлены в таблице 1.

При изучении поверхности природного минерала методом сканирующего микроскопирования (SEM), было выявлено, что на поверхности Шунгита поры присутствуют, но в малом количестве, что подтверждает данные полученные исследованием Шунгита BET методом.

Таблица 1. Размер пор Шунгита

Радиус нм	Объем пор см ³ /г	Площадь поверхности пор м ² /г
1,48893	5,401492 e-06	7,255554 e-03
1,61444	1,413507 e-05	1,807487 e-02
1,81225	3,227887 e-05	3,809837 e-02
2,03938	7,167573 e-05	7,673457 e-02
2,31105	9,974202 e-05	1,010232 e-01
2,65334	1,148490 e-04	1,124104 e-01
3,09132	1,338026 e-04	1,246729 e-01
3,63579	1,526529 e-04	1,350422 e-01
4,41447	1,756091 e-04	1,454426 e-01
5,60480	1,984448 e-04	1,535926 e-01
7,76356	2,352027 e-04	1,606090 e-01
13,1542	2,997208 e-04	1,728704 e-01
Суммарные значения		
Радиус , г нм	Объем пор, V см ³ /г	Площадь поверхности пор S м ² /г
2,03938	0,000299721	0,17287