



УДК 621.181

АНАЛИЗ РАБОТЫ ПАРОГЕНЕРАТОРА С ДИНАМИЧЕСКИМ РАСПЫЛИТЕЛЕМ ЖИДКОСТИ

ANALYSIS OF STEAM GENERATOR OPERATION WITH DYNAMIC LIQUID SPRAYER

Васильев Пётр Сергеевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Процессы и аппараты химических
и пищевых производств»,
Волгоградский государственный технический университет
nestorvv@mail.ru

Шурак Антон Анатольевич

старший преподаватель кафедры
«Процессы и аппараты химических и пищевых производств»,
Волгоградский государственный технический университет
a-shurak2@mail.ru

Рева Леонид Саввич

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Процессы и аппараты химических
и пищевых производств»,
Волгоградский государственный технический университет
leonidreva46@mail.ru

Аннотация. На основе теоретического анализа процесса капельного кипения определены оптимальные геометрические размеры и технологические параметры работы электрического парогенератора с динамическим распылителем жидкости.

Ключевые слова: водяной пар, капельное кипение, технологический аппарат, динамический распылитель.

Vasilyev Pyotr Sergeevich

Ph. D., associate professor of the department
«Processes and Apparatus of Chemical
and Food Production»,
Volgograd State Technical University
nestorvv@mail.ru

Shurak Anton Anatolevich

Senior Lecturer of the Department
«Processes and Apparatus of Chemical
and Food Production»,
Volgograd State Technical University
a-shurak2@mail.ru

Reva Leonid Savvich

Ph. D., associate professor of the department
«Processes and Apparatus of Chemical
and Food Production»,
Volgograd State Technical University
leonidreva46@mail.ru

Annotation. Based on a theoretical analysis of the drip boiling process, the optimal geometric dimensions and technological parameters of the electric steam generator with a dynamic liquid sprayer are determined.

Keywords: water vapor, drip boiling, technological apparatus, dynamic sprayer.

Водяной пар является ключевым теплоносителем, обеспечивающим работу ТЭЦ в химической, нефтяной и газовой отраслях промышленности. Кроме того, его закачивают в нефтяные пласты для повышения выработки остаточных запасов нефти в месторождениях, находящихся в поздней стадии разработки, а также в начальной стадии в условиях крайнего севера [1]. Для выработки водяного пара в больших объёмах необходимо наличие высокопроизводительных парогенераторов, обладающих значительными габаритами и металлоёмкостью, что увеличивает их стоимость, а также тепловые потери в окружающую среду.

На рисунке 1 представлена схема конструкции электрического парогенератора, работающего по технологии капельного кипения, с динамическим распылителем жидкости в виде вращающейся пористой трубы, диаметр и длина которой определяется соотношениями $d = (0,5 \div 0,8) \cdot D$ и $l = (0,5 \div 0,8) \cdot L$.

Необходимо отметить, что для капельного кипения воды под атмосферным давлением максимальные значения температурного напора составляют $140 \div 160$ °С, коэффициента теплоотдачи $90 \div 100$ кВт/(м²·К), а удельного теплового потока $10 \div 12$ МВт/м². Это обстоятельство позволяет поддерживать высокую интенсивность процесса парообразования, обеспечивающую уменьшение габаритов, металлоёмкости и стоимости парогенераторов [2–4].

В таблице приведены основные исходные данные и результаты теоретического анализа работы представленного на рисунке 1 парогенератора с вращающейся пористой трубой при $d = 0,8 \cdot D$ и $l = 0,8 \cdot L$, выполненного с использованием расчётных зависимостей [2–6] на производительность по насыщенному водяному пару 5000 кг/ч.

На основании данных таблицы можно сделать вывод о том, что предлагаемый парогенератор обеспечивает значения температурного напора порядка 110 °С, коэффициента теплоотдачи порядка 65 кВт/(м²·К) и удельного теплового потока порядка 9 МВт/м², в результате чего имеет очень компактные габариты и крайне невысокую металлоёмкость при весьма умеренных энергетических затратах на распыливание жидкости.

На рисунке 2 основные результаты модельного расчёта парогенератора представлены в графическом виде.

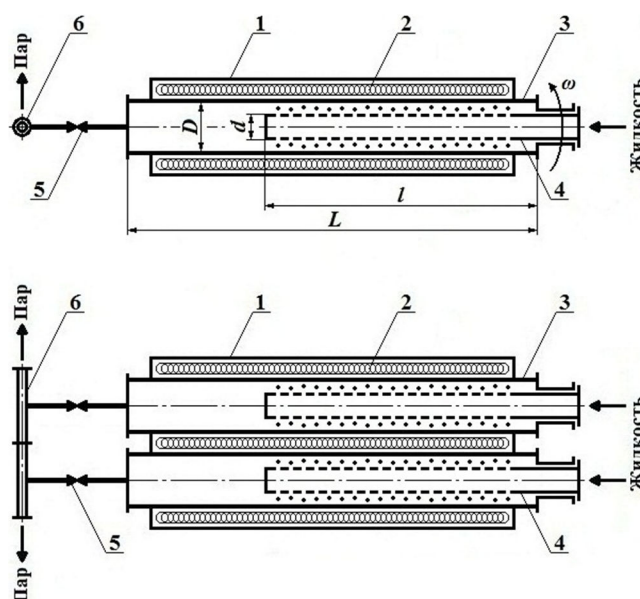


Рисунок 1 – Схема электрического парогенератора с динамическим распылителем жидкости:
 1 – корпус; 2 – электрический нагреватель; 3 – поверхность нагрева; 4 – вращающаяся пористая труба;
 5 – дроссельное устройство; 6 – паровой коллектор

Таблица – Основные исходные данные и результаты модельного расчёта парогенератора с динамическим распылителем жидкости

Исходные данные			
1. Производительность по насыщенному водяному пару	кг/ч	G	5000
2. Температура кипения воды	°С	t _{кип}	100
3. Начальная температура воды	°С	t _н	20
4. Краевой угол смачивания стальной поверхности нагрева водой [3]	град.	θ	46
5. Среднее арифметическое отклонение профиля стальной поверхности нагрева (горячий листовой прокат) [3]	мкм	R _a	2,3
6. Средний шаг неровностей профиля стальной поверхности нагрева (горячий листовой прокат) по средней линии [3]	мкм	S _m	170
7. Характеристический диаметр капель воды при её распыле с помощью вращающейся пористой трубы [5]	мм	d _к	0,29
8. Скорость подачи капель воды на поверхность нагрева с помощью вращающейся пористой трубы [5]	м/с	w	14,6
9. Диаметр зерна абразивного материала пористой трубы [5]	мкм	d _з	2000
10. Пористость абразивного материала трубы [5]	м ³ /м ³	ε	0,5
11. Коэффициент плотности укладки капель воды на поверхности нагрева [6]	–	ε _к	0,4
12. Единичная площадь поверхности нагрева [6]	м ²	F ₁	1
13. Внутренний диаметр испарительной трубы	м	D	0,2
Расчётные параметры			
14. Рабочая температура поверхности нагрева [4]	°С	t _{ст}	213
15. Диаметр пятна контакта кипящих на поверхности нагрева капель воды [3]	мм	d _п	0,76
16. Время испарения капель воды с поверхности нагрева [2]	с	τ	3,8·10 ⁻³
17. Коэффициент теплоотдачи при капельном кипении воды [4]	кВт/(м ² ·К)	α	64,8
18. Площадь поверхности нагрева [6]	м ²	F	0,49
19. Тепловая нагрузка	кВт	Q	3600
20. Удельный тепловой поток	кВт/м ²	q	8780
21. Длина испарительной трубы	м	L	0,79
22. Число испарительных труб	–	n _т	1
23. Частота вращения пористой трубы [5]	об/мин	n	2460

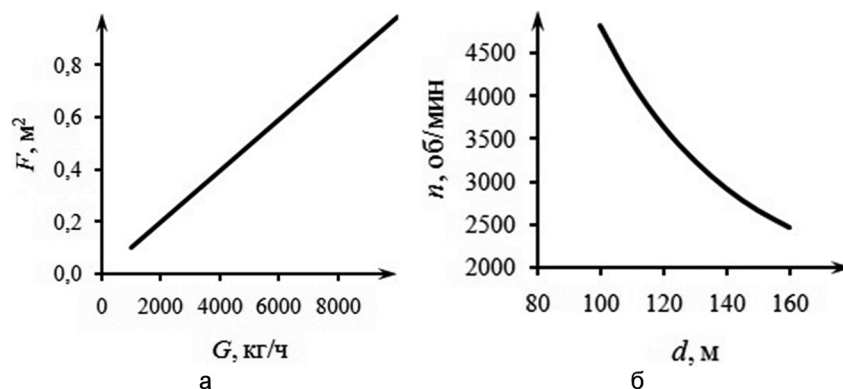


Рисунок 2 – Основные результаты расчёта:

а – график зависимости $F = f(G)$ при $n = 2460$ об/мин; б – график зависимости $n = f(d)$ при $G = 5000$ кг/ч

Из рисунка 2 видно, что площадь поверхности нагрева линейно зависит от расхода насыщенного водяного пара, практически так же, как и частота вращения пористой трубы от её диаметра, что делает процесс проектирования предлагаемого парогенератора менее затратным по времени.

Таким образом, использование технологии капельного кипения обеспечивает работу предлагаемого парогенератора с динамическим распылителем жидкости в эффективном режиме, что позволяет рекомендовать его к использованию в различных отраслях промышленности.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ МК-1603.2022.4 «Разработка энергоресурсоэффективного оборудования для реализации тепломассообменных процессов с использованием множественного капельного кипения и высокопористых материалов на основе экспериментально-теоретических исследований».

Список литературы:

1. Шурак А.А., Васильев П.С., Рева Л.С. Повышение энергоэффективности и экологичности процесса разработки нефтяных месторождений за счёт утилизации тепла попутного нефтяного газа // Сборник докладов IV международной научно-практической конференции «Повышение эффективности сопровождения нефтегазовых активов» (г. Пермь, 19–21 октября 2022 г.) / под ред. Н.В. Мельниковой; ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг». – Сыктывкар, 2022. – С. 271–275.
2. Определение времени испарения кипящей на поверхности нагрева капли жидкости / П.С. Васильев [и др.] // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 5. – С. 121–126.
3. Определение площади пятна контакта кипящей на поверхности нагрева капли жидкости / П.С. Васильев [и др.] // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 13. – С. 116–123.
4. Экспериментальное исследование теплоотдачи при кипении капли жидкости на поверхности нагрева / П.С. Васильев [и др.] // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20. – № 22. – С. 28–33.
5. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыливания жидкостей. – М.: Химия, 1984. – 254 с.
6. Энергоэффективная конструкция испарителя в производстве стирола / П.С. Васильев [и др.] // Булатовские чтения. – 2022. – Т. 2. – С. 52–56.

List of references:

1. Shurak A.A., Vasiliev P.S., Reva L.S. Improvement of energy efficiency and environmental friendliness of the oil field development process through utilization of associated petroleum gas heat // Collection of reports of the IV International Scientific-Practical Conference «Improving the efficiency of oil and gas assets support» (Perm, 19–21 October 2022) / edited by N.V. Melnikova; LLC «LUKOIL–Engineering». – Syktyvkar, 2022. – P. 271–275.
2. Determination of the evaporation time of boiling on the heating surface of the liquid drop / P.S. Vasiliev [et al.] // Bulletin of technological university. – 2016. – V. 19. – № 5. – P. 121–126.
3. Determination of the contact area of the liquid droplet boiling on the heating surface / P.S. Vasiliev [et al.] // Bulletin of technological university. – 2016. – V. 19. – № 13. – P. 116–123.
4. Experimental study of heat transfer at boiling a liquid drop on the heating surface / P.S. Vasiliev [et al.] // Bulletin of technological university. – 2017. – V. 20. – № 22. – P. 28–33.
5. Pazhi D.G., Galustov V.S. Fundamentals of fluid atomization technique. – M.: Chemistry, 1984. – 254 p.
6. Energy Efficient Evaporator Design in Styrene Production / P.S. Vasiliev [et al.] // Bulatov Readings. – 2022. – V. 2. – P. 52–56.