

Исследование тепловых режимов на экспериментальной установке подогрева мазута с импульсным потоком теплоносителя

Д.В. Тиханкин, К.А. Миндров, А.А. Кузнецов, И.Н. Москалёв,

П.Н. Кузнецов, Д.С. Тиханкина

*Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им.
Н. П. Огарёва, Саранск*

Аннотация: Статья посвящена моделированию подогрева мазута с помощью импульсного потока течения жидкости в программном модуле SolidWorks Flow Simulation. В дальнейшем, использование данного технологического решения могут рассматривать целый ряд отраслей в РФ и за рубежом. Целью данной статьи является описание результатов компьютерной модели исследуемого технологического процесса. Компьютерный расчет модели подогрева мазута с помощью импульсного потока позволяет оценить эффективность процесса и определить оптимальные параметры для достижения максимальной эффективности, что поможет снизить затраты на подогрев мазута и повысить эффективность работы промышленного оборудования предприятий.

Ключевые слова: Мазут, масло, теплоноситель, ударный узел, мембранный насос, импульсный поток, турбулентный режим, кавитация, SolidWorks Flow Simulation.

Мазутное хозяйство любого предприятия представляет собой целый комплекс промышленных сооружений и технологического оборудования, которые должны обеспечивать своевременную подачу мазута на собственные нужды предприятия. В условиях современного развития, реализация энергоэффективной технологии подготовки мазута, обеспечение теплового и гидравлического режимов для нефтепродукта, представляют собой достаточно сложный и дорогостоящий процесс [1].

В настоящее время, энергоэффективность мазутной промышленности отстаёт от современных темпов технологического развития, порядка на 20%, по сравнению с остальными отраслями. Обусловлено это тем, что мазутная промышленность, по-прежнему, в основной своей массе, использует устаревшие технологии и оборудование.

Сжигание жидких топлив (мазута разных марок, дизеля, и др.) осложняется тем, что мазут необходимо предварительно подогреть до температуры порядка 80 – 110 °С. Приемные цистерны должны находиться в подогретом состоянии, что на порядок увеличивает затраты на поддержание данного процесса, например, обслуживание подогревателей [2].

С целью повышения качества подогрева мазута и обеспечения гарантированного результата в техническом и экономическом аспекте, была предложена модель экспериментальной установки для подогрева мазута импульсным потоком теплоносителя [3-5].

При настройке модели в отдельном модуле SolidWorks Flow Simulation имеется возможность имитировать импульсный поток теплоносителя, рассчитав тепловые характеристики системы, оценив распределение температуры, давления в целом по установке, и в её отдельных точках, а также скорости подогрева нефтепродукта (рис.1) [6, 7].

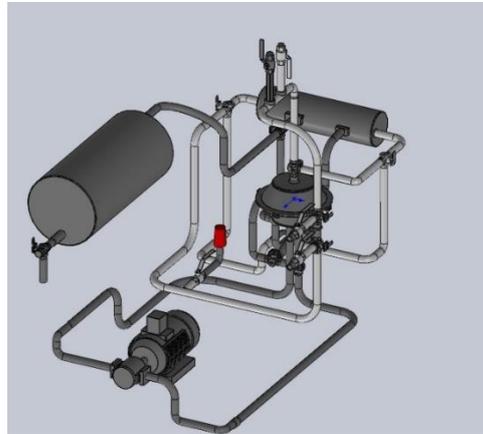


Рис. 1. – Модельный вид установки

По начальным значениям, представленным в таблице 1, а именно - заданию расхода, давления в начальном трубопроводе и частоты изменения, определим период захлопывания мембраны [8, 9].

Таблица 1

Начальные значения расхода на линии мазутопровода и водного контура

Начальное давление, атм.	Расход в корректирующей линии воды, (л/с)	Расход в корректирующей мазутной линии, (л/с)	Частота, Гц	Доля возвращающего расхода, %
0,56	0,132	0,091	3,0	12,14
0,9	0,177	0,133	3,6	22,33
1	0,198	0,146	3,8	30,01
1,5	0,263	0,208	4,8	33,4
1,32	0,278	0,216	5,0	35,32
1,5	0,315	0,239	6	37
1,26	0,132	0,121	3,0	18,99
1,02	0,156	0,128	3,2	15,22

Анализируя зависимость расхода в трубопроводе от его давления, рассчитаем условия для импульсного режима подачи теплоносителя. Применение оборудования для создания импульсов, позволит повысить давление в мазутной магистрали на 20-30%, что улучшило процесс нагрева мазута, в том числе за счет оптимального расхода теплоносителя. На рисунке 2а, 2б) показан процесс выполнения одного из опытов.

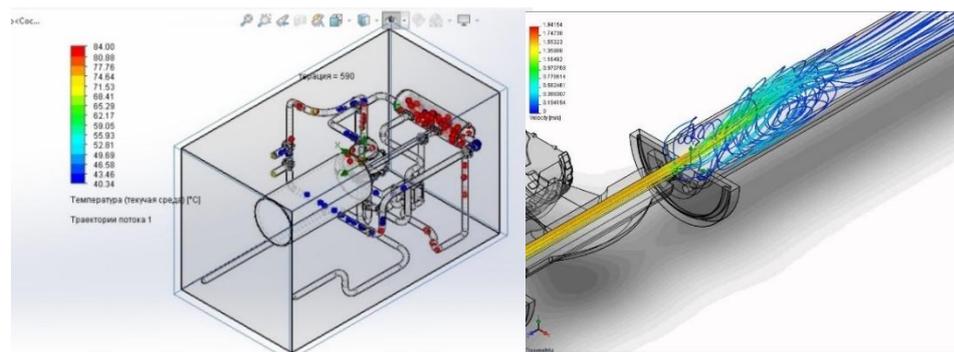


Рис. 2. – Результаты: а) температура текучести среды (вода) стационарный режим; б) давление в начале мазутопровода

При условии предварительного нагрева данной среды на 20°С, плотность её составляет 883,1 кг/м³. За счет низкой вязкости существует

возможность создать импульсный поток [10]. Расчетный режим в мазутной магистрали, достигается при значении давления порядка 2 атм.

Создав режим импульсного потока частиц для контура воды в мембранном нагнетателе, мы достигаем увеличения частоты ударов в два раза, до 30 - 50 уд. в мин. На рис. 3 представлены рабочие процессы мембранного преобразователя, а также давление на камеру мембраны.

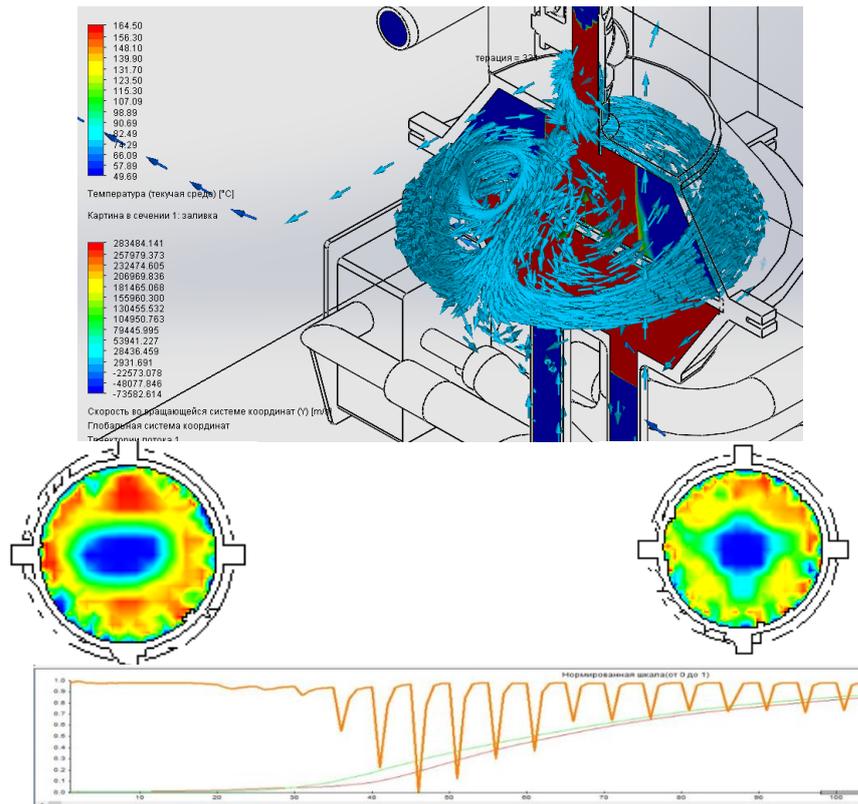


Рис. 3. – Рабочие параметры мембранного нагнетателя

В качестве параметров, характеризующих эффективность исследуемых областей потока, выделим расчетные области по преобразованию импульсов в мембранном нагнетателе в пределах от 1 до 3 Гц. Начальные параметры для нефтепродукта: $t_{\text{нач.масл}} = 62 \text{ } ^\circ\text{C}$ и воды $t_{\text{нач.вода}} = 82 \text{ } ^\circ\text{C}$. При изменении параметров обратного-поступательных действий ударного узла, постоянный момент инерции составил $J = 0,192 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, а активное сопротивление $r = 0,042 \frac{\text{Н} \cdot \text{М} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$. В переходных процессах с гладкой трубой, сопротивление составляло в 2-3 раза меньше, чем в преобразователе энергии потока. Расход

в мазутопроводе равен $4,68 \text{ м}^3/\text{ч}$ (78 л/м). В результате создания только в водном контуре импульсного потока, увеличение коэффициента теплопередачи $k_{1 \text{ вод.а}}$, изменялось от $814,58$ до $4977,61 \text{ Вт} (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, при этом нет сильного перепада между греющей и нагреваемой средой. На рисунке 4 представлены гидравлические и температурные режимы в модуле установки.

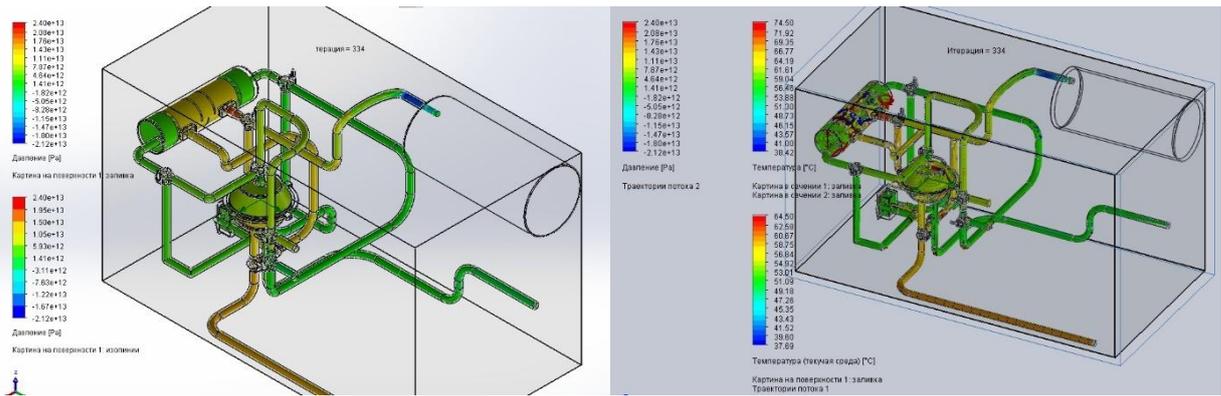


Рис. 4. – Параметры давления в экспериментальной установке

Путем изменения частоты и положения регулирующих вентилей, гидравлическое сопротивление увеличивается порядка в 1,5 раза. При изменении частоты работы ударных узлов, удельный тепловой поток мазута увеличивается с $k_{2 \text{ oil}} = 2700 \text{ Вт/м}^2$ до 5700 Вт/м^2 . На рисунке 5 представлены коэффициенты скорости, давления и объемного расхода в импульсном режиме в период проведения опыта.

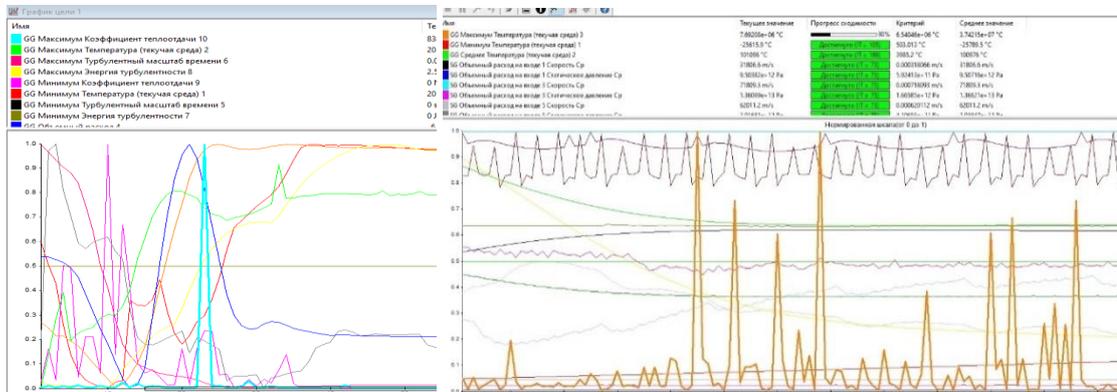


Рис 5. – Изменение показаний в импульсном режиме для водного контура и стационарном для маслопровода

На рисунке 6 представлены коэффициенты теплоотдачи в импульсном режиме для воды и мазута в заданных условиях проведения опыта.

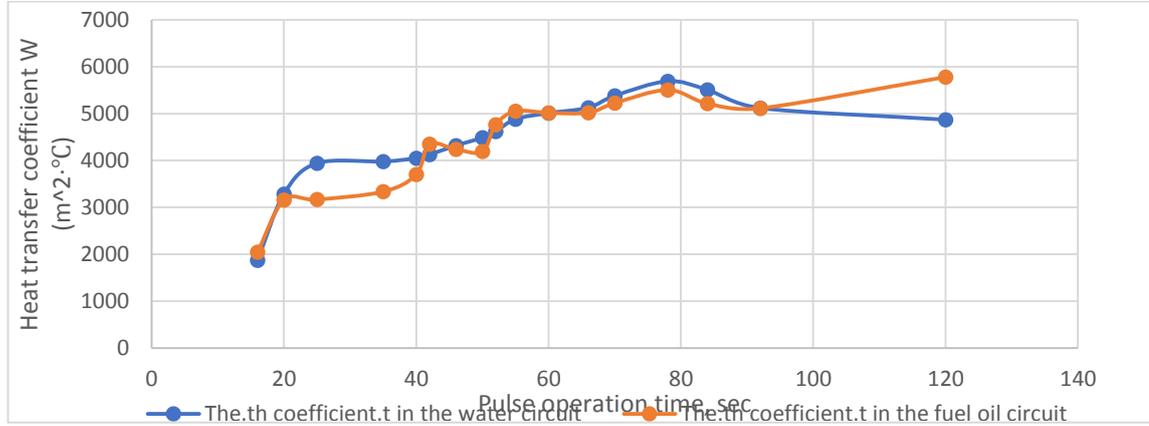


Рис. 6. – Показатели коэффициента теплоотдачи в импульсном режиме в ходе эксперимента

Второй опыт выполнен за счет изменения частоты работы ударных агрегатов. При выполнении расчета в течение 2 минут, с импульсным потоком теплоносителя, при частоте 4,62 Гц, увеличение коэффициента теплоотдачи от стенок макетного образца составляет от 5 до 18,5 %. Удельный тепловой поток мазута практически не меняется с расходом и находится на уровне 5000 Вт/м².

На рисунке 7 показан рабочий процесс проведения опыта в импульсном режиме. Температура нагреваемого вещества изменяется в пределах от 62 °С до 95 °С и выше, что свидетельствует о повышении теплового режима нефтепродукта в 3 раза, с 2232,03 до 7626,07 Вт (м² · °С).

В результате исследования тепловых режимов изменения экспериментальной установки подогрева мазута импульсным потоком теплоносителя, мы определили установившиеся коэффициенты теплоотдачи в объемном контуре установки. Также получены значения поля скоростей, плотность среды, температурные режимы, давлений и температурного расхода в проточной части рассматриваемых модулей.

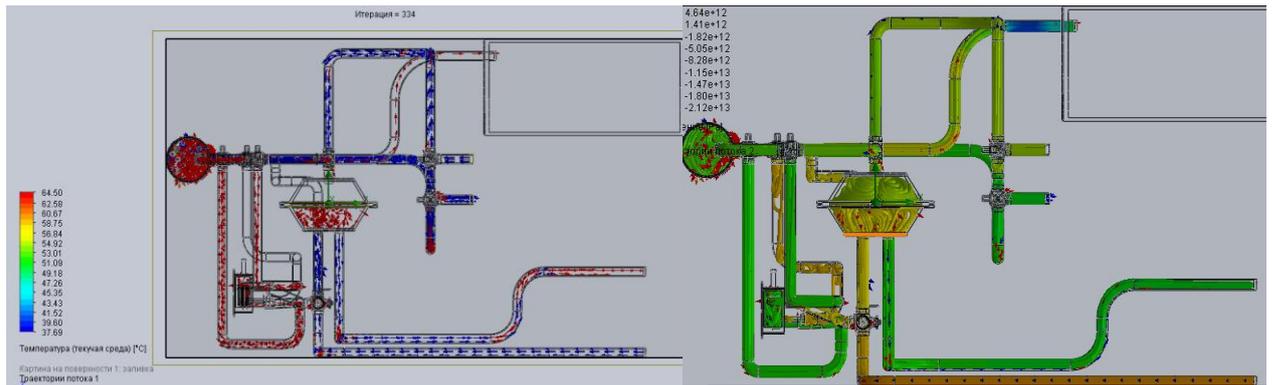


Рис. 7. – Расчетный вид показания выполнения второго опыта с импульсным режимом для водного контура и стационарного режима для нефтепродукта

Показатели для мазута составили по приведённым режимам:

- в импульсном режиме теплоносителя: $5505,7 \text{ Вт} (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$;
- в импульсном режиме для воды, и стационарном для нефтепродукта: $7626,07 \text{ Вт} (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$;

Также стоит отметить, что данную модель можно применить в новых отраслях нефтяной и энергетической промышленности страны.

Литература

1. Попов И.А. Махьянов Х.М., Гуреев В.М. Физические основы и промышленное применение интенсификации теплообмена. Казань: Центр инновационных технологий, 2009. 560 с.
2. Макеев А.Н. Импульсные технологии в энергетике: проектирование систем теплоснабжения. Саранск: Изд-во Мордов. Ун-та, 2020. 248с.
3. Левцев А.П. Макеев А.Н. Импульсные системы тепло- и водоснабжения. Саранск: Изд-во Мордов. Ун-та, 2015. 172с.
4. Панов А.В., Кузнецов А.А. Исследование конвективных процессов в емкостных теплообменниках // Инженерный вестник Дона, 2015, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3134.
5. Кузнецов А.А., Миндров К.А. Разработка схемного решения элеваторного узла с импульсным подмесом теплоносителя // Инженерный вестник Дона, 2021, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2021/6903.

6. Бакластов А.М. Горбенко В. А., Удыма П. Г. Проектирование, монтаж и эксплуатация тепломассообменных установок. М.: Энергоиздат, 1981. 336 с.

7. Бухмиров В.В., Ракутина Д.В., Солнышкова Ю.С. Пророкова М.В. Тепловой расчет рекуперативного теплообменного аппарата. Иваново, Издательство Ивановского Университетата 2013. 124 с.

8. Бухмиров В.В., Ракутина Д.В., Солнышкова Ю.С. Справочные материалы для решения задач по курсу «Тепломассообмен». Иваново, Издательство Ивановского Университетата 209. 102 с.

9. Hartmann H. Wärmeübergang bei der Kondensation strömender Sattedämpfe in senkrechten Rohren. Chemie-Ingenieur-Technic. Berlin, 1961. Bd. 33, volume 5. pp. 343-348.

10. Skripov P.V., Starostin A.A., Volosnikov D.V., Zhelezny V.P. Comparison of thermophysical properties for oil refrigerant mixtures by use the pulse heating method // International Journal of Refrigeration. 2003. p.26.

References

1. Popov I.A. Makhyanov Kh.M., Gureev V.M. Fizicheskie osnovy i promyshlennoe primeneniye intensivatsii teploobmena [Physical basis and industrial application of heat exchange intensification]. Kazan': Tsentr innovatsionnykh tekhnologiy, 2009. 560 p.

2. Makeev A.N. Impul'snye tekhnologii v energetike:proektirovanie sistem teplosnabzheniya [Pulse technologies in the energy sector: design of heat supply systems]. Saransk: Izd-vo Mordov. Un-ta, 2020. 248p.

3. Levitsev A.P. Makeev A.N. Impul'snye sistemy teplo- i vodosnabzheniya [Pulse heat and water supply systems]. Saransk: Izd-vo Mordov. Un-ta, 2015. 172p.

4. Panov A.V., Kuznetsov A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2015, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3134.

5. Kuznetsov A.A., Mindrov K.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2021/6903.

6. Baklastov A.M. Gorbenko V. A., Udyma P. G. Proektirovanie, montazh i ekspluatatsiya teplomassoobmennykh ustanovok [Design, installation and operation of heat and mass transfer installations]. M.: Energoizdat, 1981. 336 p.

7. Bukhmirov V.V., Rakutina D.V., Solnyshkova Yu.S. Prorokova M.V. Teplovoy raschet rekuperativnogo teploobmennogo apparata [Thermal calculation of the regenerative heat exchanger]. Ivanovo, Izdatel'stvo Ivanovskogo Universitetata 2013. 124 p.

8. Bukhmirov V.V., Rakutina D.V., Solnyshkova Yu.S. Spravochnye materialy dlya resheniya zadach po kursu «Teplomassoobmen» [Reference materials for solving problems in the course «Heat and mass transfer»]. Ivanovo, Izdatel'stvo Ivanovskogo Universitetata 209. 102 p.

9. Hartmann H. Wärmeübergang bei der Kondensation strömender Sattedämpfe in senkrechten Rohren. Chemie-Ingenieur-Technic. Berlin, 1961. Bd. 33, volume 5. pp. 343-348.

10. Skripov P.V., Starostin A.A., Volosnikov D.V., Zhelezny V.P. Comparison of thermophysical properties for oil refrigerant mixtures by use the pulse heating method // International Journal of Refrigeration. 2003. p.26.