

Автоматизация технологического процесса добычи нефти с высоким содержанием парафина

Ю. В. Ильюшин

Санкт-Петербургский горный университет
ilyushin_y@bk.ru,
ilyushin_yuv@pers.spmi.ru

И. М. Новожилов

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
novozhilovim@list.ru

Аннотация. В статье рассматриваются решение проблемы удаления асфальтосмолопарафиновых отложений с помощью модификации насосно-компрессорной трубы и технологической цепочки депарафинизации. Получена функция начального нагрева и проведено математическое моделирование процесса при различных условиях, проведен анализ полученных результатов. С помощью полученного регулятора разработан программно-аппаратный комплекс на языке программирования Pascal позволяющий моделировать поведение температурных полей в изотропном стержне. Практические результаты данных исследований позволяют сделать вывод о возможности построения насосно-компрессорной трубы с импульсными источниками нагрева для депарафинизации скважин с низким дебитом.

Ключевые слова: управление; системный анализ; электромеханика; регулятор

Вопросы удаления и предотвращения асфальтосмолопарафиновых отложений, в силу своей специфики, постоянно сопровождают промысловых работников на всех этапах разработки и эксплуатации нефтяных месторождений. Значимость и острота проблемы обуславливается вступлением большинства крупных месторождений России в позднюю стадию разработки и ухудшением запасов нефти, вовлекаемых в разработку. В связи с ростом в общем объеме получаемого нефтесодержащего сырья в России, происходит возрастание количества осложненных нефтяных территорий, характеризующихся высоким содержанием парафиновых углеводородов и смолисто-асфальтеновых компонентов. Различные виды осложнений, такие как, образование асфальтосмолопарафиновых отложений – АСПО, коррозия, образование водонефтяных эмульсий ВНЭ, отложение минеральных солей, при эксплуатации нефтедобывающих скважин являются причиной преждевременных отказов и уменьшения сроков службы скважинного оборудования, уменьшения текущих отборов нефти, увеличения финансовых затрат на предупреждение и удаление отложений, ликвидацию аварий, на проведение подземного ремонта скважин. В процессах по добыче парафинистых и высокопарафинистых нефтей на внутренней поверхности насосно-компрессорных труб эксплуатационной скважины при снижении температур,

происходит образование асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО), что приводит к потере эффективности работоспособности и производительности скважин, уменьшению поперечного сечения насосно-компрессорной трубы, зачастую до полного прекращения перекачивания. Предупреждать возможные аварии и инциденты позволяют автоматический контроль, регулирование технологии и автоматическая защита оборудования от разрушения. Невозможно представить современный процесс по добыче нефти и газа без автоматизации технологических процессов, без внедрения АСУТП.

Технологии борьбы с АСПО, существующие на сегодняшний день, были внедрены и использовались на практике еще в прошлом столетии. Часть этих технологий не подвергалась актуализации и большинство из них нуждаются в современных, наукоёмких разработках. Эффективность и безопасность не всегда прослеживались при применении способа промывки горячей нефтью или паром, а использование механических методов не имеет рациональных подходов, так как в процессе необходимо приостанавливать работу скважины. Наибольшее распространение получило новое направление, применение в скважинах нагревательных кабельных линий и других типов нагревательных систем для поддержания температуры поднимаемой жидкости выше температуры насыщения нефти парафином.

Для выбора оптимального нагревателя с применением автоматического управления, необходимо учитывать надежность работы, экономическую эффективность и безопасную эксплуатацию.

Целью настоящей работы является рассмотреть вопрос по разработке технологии применения импульсного секционного нагревателя для борьбы с образующимися на стенках насосно-компрессорных труб АСПО.

Схема автоматизации нефтяной скважины с высоким содержанием парафина выглядит следующим образом (рис. 1). Полная технологическая схема представлена в [1–10]. Как видно из схемы автоматизации процесс добычи связан с транспортировкой добываемого ресурса по достаточно большому количеству трубопроводов. В таких системах наибольшей степенью парафинизации подвержены места поворота трубопровода.

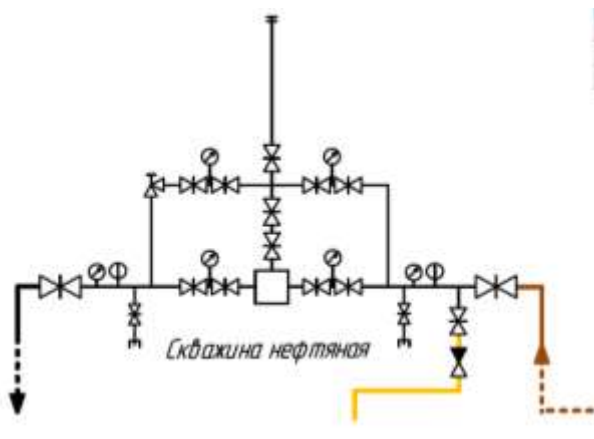


Рис. 1. Схема автоматизации нефтяной скважины

Очистка таких зон затруднительна. Так как для нее чаще всего используются скребки ножевой. При таком способе очистки схема автоматизации выглядит как показано на рис. 2

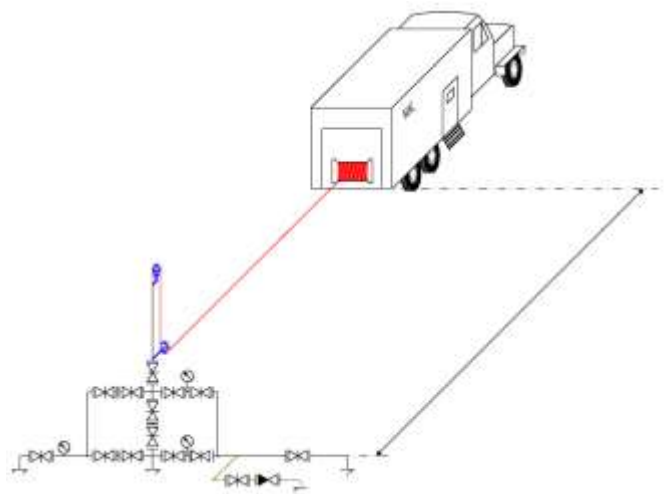


Рис. 2. Схема автоматизации процесса удаления АСПО

В большей части скважин такой способ удаления достаточно проблематичен. Рассмотрим возможность удаления парафина путем препятствования его образования с помощью секционных нагревателей насосно компрессорной трубы.

Рассмотрим дискретное управление цилиндрическим изотропным стержнем с радиусом R , длиной l и температуропроводностью материала a^2 (рис. 3). Секционный нагревательный элемент ξ_i , разместим на боковой границы стержня. Управление данным секционным нагревательным элементом будем вести с помощью релейных элементов. Концы стержня будут изолированы. Выполним задачу стабилизации температурного поля в стержне на значении $T_{\text{зад}} = \text{const}$. В начальный момент времени $\tau_0 = 0$ произойдет включение всех температурных источников. Каждый температурный источник оказывает воздействие на соседние датчики и

температурные поля, вызванные соседними температурными источниками.

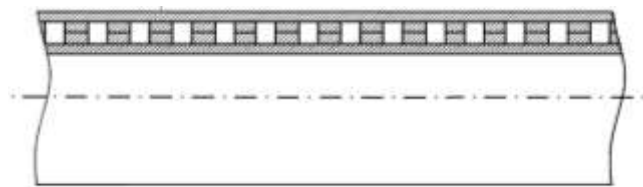


Рис. 3. НКТ с импульсными секционными нагревателями

Применяя функцию Грина, получим следующие выражение:

$$T(x_1, t, \tau_0, \xi_1) = \frac{2}{l} \sum_{n=1}^k \exp \left[- \left(\frac{\pi n a}{l} \right)^2 t \right] \sin \frac{\pi n}{l} x_1 \sin \frac{\pi n}{l} \xi_1$$

Через некоторое время температура стержня будет понижаться из-за действия нулевых граничных условий. В точке изотропного стержня x_j функция, $T(x_j, t, \tau_0)$ убывая, достигнет заданного температурного режима $T_{\text{зад}}$. Скажем, при $t = \tau_1$, включается импульсный источник с релейным принципом управления ξ_j , соответствующий датчику x_j . Тогда например, в момент времени τ_1 температурный источник x_1 выводит значение равное заданному температурному режиму $T_{\text{зад}}$. Далее включается источник ξ_1 и воздействует на все датчики.

$$T(x_1, t, \tau_1, \xi_1) = \sum_{n=1}^k \frac{2}{l} \exp \left[- \left(\frac{\pi n a}{l} \right)^2 (t - \tau_1) \right] \sin \frac{\pi n}{l} x_1 \sin \frac{\pi n}{l} \xi_1$$

Функция начального нагрева продолжает оказывать остаточное влияние на каждый температурный датчик. Рассчитаем суммарное температурное воздействие всех датчиков на все источники:

$$T(x_j, t) = \sum_{i=1}^d \sum_{n=1}^k \frac{2}{l} \exp \left[- \left(\frac{\pi n a}{l} \right)^2 t \right] \sin \frac{\pi n}{l} x_j \sin \frac{\pi n}{l} \xi_i + \\ + \sum_p \sum_{n=1}^k \frac{2}{l} \exp \left[- \left(\frac{\pi n a}{l} \right)^2 (t - \tau_p) \right] \sin \frac{\pi n}{l} x_j \sin \frac{\pi n}{l} \xi_{z(p)}.$$

Поставим ряд экспериментов над различными металлами и объектами различной длины. Целью исследования ставится выявление зависимостей рода материала и способа его нагрева от количества нагревательных элементов и мест его нахождения. В качестве исходных данных для моделирования возьмем следующие значения параметров объекта $l=10$, $k=10$, $d=9$, $x_1 = \xi_1 = 1$, $T_{\text{зад}} = 0,3$, $\xi \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$, $a^2=0,01$. Получим следующие значения температуры при различных количествах точек нагрева. Из таблицы 1 видно, что в середине стержня температура выше, чем на его концах. Это связано с так называемым тепловым стоком. График значений температурного поля можно наблюдать на рис. 1.

ТАБЛИЦА I РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ПО КОЛИЧЕСТВУ ДАТЧИКОВ.
Длина цилиндра $L=10$.

$d=12$	$d=11$	$d=10$	$d=9$	$d=8$	$d=7$	$d=6$	$d=5$
0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,48
0,38	0,38	0,37	0,37	0,36	0,31	0,32	0,39
0,54	0,53	0,51	0,49	0,47	0,43	0,37	0,39
0,66	0,64	0,60	0,56	0,51	0,43	0,32	0,38
0,74	0,69	0,63	0,56	0,47	0,34	0,18	0,45
0,76	0,69	0,60	0,49	0,36	0,19	0,26	
0,74	0,64	0,51	0,37	0,19	0,42		
0,66	0,53	0,37	0,19	0,78			
0,54	0,38	0,19	0,14				
0,38	0,19	0,50					
0,19	0,85						
0,21							

Проанализировав данные таблицы можно сделать вывод о неоправданном использовании максимально возможного числа нагревательных элементов. Допустим если необходимо стабилизировать температуру в пределах 0,6 градусов то достаточна установка 10 нагревательных элементов тогда как большее число будет избыточным. Теперь необходимо понять будет ли разработанная система управления вести себя при других исходных параметрах системы. Однако, необходимо произвести моделирования с различным числом объектов и различными параметрами это обеспечит достоверность полученных результатов моделирования, процесса стабилизации температурного поля. Проведем исследование объекта, при изменении его длины, для этого изменим существующие исходные данные: $l=0,5$, $k=10$, $d=9$, $x_1 = \xi_1 = 1$, $T_{\text{зад}} = 0,3$, $\xi \in \{1,2,3,4,5,6,7,8,9\}$, $a^2=0,01$.

ТАБЛИЦА II РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ПО КОЛИЧЕСТВУ ДАТЧИКОВ.
Длина цилиндра $L=0,5$.

$d=11$	$d=10$	$d=9$	$d=8$	$d=7$	$d=6$	$d=5$
2,05	2,04	2,03	2,01	1,99	1,95	1,89
3,94	3,89	3,82	3,73	3,59	3,39	3,07
5,51	5,36	5,15	4,87	4,48	3,91	3,07
6,64	6,30	5,86	5,27	4,48	3,39	1,89
7,22	6,62	5,86	4,87	3,59	1,95	1,75
7,22	6,30	5,15	3,73	1,99	2,12	
6,64	5,36	3,82	2,01	2,49		
5,51	3,89	2,03	2,86			
3,94	2,04	3,22				
2,05	3,59					
3,95						

Результаты исследования показывают, что поддержание заданной температуры в стержне зависит от вида материала и от количества дискретно расположенных нагревательных элементов. Так же можно сделать вывод о том, что чрезмерно большое количество импульсных нагревательных элементов способно превысить заданный температурный диапазон. Это связано с тем, что нагревательный импульс приходит раньше, чем материал успевает остыть, тем самым, вызывая перегрев. Таким образом, разработанная методика может быть обобщена на класс систем, для которых существует фундаментальное решение (функция Грина). При этом, усложнение выражения функции Грина, естественно вызывает

увеличение затрат на вычислительный процесс. Однако, если сравнить затраты которые сейчас расходуются на низкое КПД нагревательных элементов, то использование математического моделирования для расчета места расположения нагревательных элементов оправдано.

Следует отметить также, и было бы полезным учитывать выбор параметров дискретизации управляющих воздействий для систем, краевая задача которых содержит ненулевые граничные условия. Фундаментальное решение (функция Грина) краевой задачи таких систем имеет вид, отличающийся от вида, рассматриваемого в работе. Так же следует изучить возможность расширения рабочей зоны объекта, то есть зоны в пределах которой, с заданной точностью, удастся достигнуть требуемого значения выходной функции. Но это предмет дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Kukharova T.V., Pershin I.M. Conditions of Application of Distributed Systems Synthesis Methods to Multidimensional Object/ 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018, 2019. № 8602749 DOI: 10.1109/FarEastCon.2018.8602749
- [2] Kukharova T.V., Utkin V.A., Boev I.V. Observation and Prediction Systems Modeling for Human Mental State/ 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018, 2019 № 8602831 DOI: 10.1109/FarEastCon.2018.8602831
- [3] Asadulagi M.M., Pervukhin D.A. Stochastic control system of hydrodynamic processes in aquifers/ Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects - 11th conference of the Russian-German Raw Materials, 2018 c. 175-185
- [4] Kazanin O.I., Sidorenko A.A., Vinogradov E.A. Assessment of the influence of the first established and identification of critical steps in main roof caving (2018) ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 13 (10), pp. 3350-3354.
- [5] Kazanin O.I., Sidorenko A.A., Sirenko Y.G. Numerical study of the air-gas dynamic processes when working out the Mosshny seam with longwall faces (2018) ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 13 (4), pp. 1534-1538.
- [6] Sidorenko A.A., Sirenko Yu.G., Sidorenko S.A. Influence of face advance rate on geomechanical and gas-dynamic processes in longwalls in gassy mines (2018) Eurasian Mining, (1), pp. 3-8. DOI: 10.17580/em.2018.01.01
- [7] Meshkov S., Sidorenko A. Numerical Simulation of Aerogasdynamics Processes in A Longwall Panel for Estimation of Spontaneous Combustion Hazards (2017) E3S Web of Conferences, 21, статья № 01028. DOI: 10.1051/e3sconf/20172101028
- [8] Kazanin O.I., Sidorenko A.A., Vinogradov E.A. Substantiation of the technological schemes of intensive development of gas-bearing coal beds (2017) ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 12 (7), pp. 2259-2264.
- [9] Kazanin O.I., Sidorenko A.A., Vinogradov E.A. Choosing and substantiating the methods of managing gas emission in the conditions of the Kotinskaya mine of JSC Suek-Kuzbass (2017) ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 12 (6), pp. 1822-1827.
- [10] Kazanin O.I., Sidorenko A.A. Interaction between gas dynamic and geomechanical processes in coal mines (2017) ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 12 (5), pp. 1458-1462.
- [11] Kazanin O.I., Sidorenko A.A. The best available technologies for horizon mining of flat-lying gaseous coal seams: Prospects for development in Russian mines (2017) ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 12 (1), pp. 227-234.
- [12] Sidorenko S.A., Ivanov V.V. Improving the efficiency underground mining of coal beds in difficult mining and geological conditions (2017)

- [13] Ivanov V.V., Sidorenko S.A. Transportless mining system in developing the suite of three horizontal seams carbonate rocks (2016) International Journal of Pharmacy and Technology, 8 (4), pp. 27216-27224.
- [14] Cherepovitsyn A.E., Ilinova A.A. Methods and tools of scenario planning in areas of natural resources management (2018) European Research Studies Journal, 21 (1), pp. 434-446.
- [15] Carayannis E.G., Cherepovitsyn A.E., Ilinova A.A. Sustainable Development of the Russian Arctic zone energy shelf: the Role of the Quintuple Innovation Helix Model (2017) Journal of the Knowledge Economy, 8 (2), pp. 456-470. DOI: 10.1007/s13132-017-0478-9
- [16] Cherepovitsyn A.E., Ilinova A.A., Smirnova N.V. Key stakeholders in the development of transboundary hydrocarbon deposits: The interaction potential and the degree of influence (2017) Academy of Strategic Management Journal, 16 (Special issue2)
- [17] Shipachev A. Optimum Conditions of Turning and Surface Plastic Deformation Determination Taking into Account Technological Heredity (2018) Journal of Physics: Conference Series 1118(1), 012036 DOI: 10.1088/1742-6596/1118/1/012036
- [18] Samigullin G., Shipachev A., Samigullina L. CONTROL of PHYSICAL and MECHANICAL CHARACTERISTICS of STEEL by SMALL PUNCH TEST METHOD. (2018) Journal of Physics: Conference Series 1118(1), 012038. DOI: 10.1088/1742-6596/1118/1/012038
- [19] Verzhbitskiy K., Samigullin G., Shipachev A. Increasing service life of chuck unit of tank during cyclic loading. (2018) Journal of Physics: Conference Series 1118(1), 012040 DOI: 10.1088/1742-6596/1118/1/012040
- [20] Shipachev A.M., Nazarova M.N. Phenomenon of low-alloy steel parametrization transformation at cyclic loading in low-cyclic area (2018) IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 87(9), 092017 DOI: 10.1088/1755-1315/87/9/092017
- [21] Kirsanova N.Y., Lenkovets O.M., Nikulina A.Y. (2018). The Role and Future Outlook for Renewable Energy in the Arctic Zone of Russian Federation, European Research Studies Journal Volume XXI Special Issue 2, 356-368.
- [22] Kirsanova N.Y., Lenkovets O.M. Solving monocities problem as a basis to improve the quality of life in Russia // Life Science Journal 2014;11(6s): (ISSN:1097-8135) p.522-525
- [23] Kirsanova N.Y., Lenkovets O.M. Future Vision and Possibilities of Russia's Transition to "Green" Economy // The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences EpSBS / RRI 2016 - International Conference «Responsible Research and Innovation», 2017, Vol. XXVI, 514-521 pp, e-ISSN: 2357-1330, DOI: dx.doi.org/10.15405/epsbs.2017.07.02.66
- [24] Lenkovets O.M. Kirsanova N.Y. Investments in human capital as a contributing factor to Russia's better competitiveness // International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts SGEM2014, www.sgemsocial.org , SGEM2014 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-28-5/ ISSN 2367-5659, September 1-9, 2014, Book 2, Vol. 4, 413-420 pp.
- [25] Golovina E.I., Problems of groundwater extraction from transboundary aquifers and complexes / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, № 151, V 4, 2018. Pp. 1-8. DOI: 10.1088/1755-1315/151/1/012007
- [26] Pashkevich N.V., Golovina E.I., Tarabarinova T.A. Problems of reflecting information on subsoil assets in International Financial Reporting Standards / Academy of Strategic Management Journal, № 17, V 3, 2018. pp. 1-9.
- [27] Chvileva T.A., Golovina E.I. Publication of reporting of metallurgical companies in context of the concept of corporate sustainable development / Journal of Industrial Pollution Control, № 33, T 1, 2017. C 926-930.
- [28] Golovina E.I. Strategic issues groundwater extraction management in Russia / Journal of Ecological Engineering , № 18, T 3, 2017. Pp. 13-21. DOI: 10.12911/22998993/70202
- [29] Golovina E.I., Chvileva T.A. Key aspects in the field of state management of groundwater production for commercial use / ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences, № 17, V 12, 2017. P. 5023-5028.
- [30] Golovina E.I., Azarov A.A. Differentiation of Groundwater Tax Rates as an Element of Improving the Economic Mechanism in the State Groundwater Extraction Management / Biologically Inspired Cognitive Architectures (BICA) for Young Scientists, № 449, 2016. pp. 17-24. DOI: 10.1007/978-3-319-32554-5_3