

Оценка экономической эффективности использования скважинных нефтедобывающих электротехнических комплексов в республике Коми

Гульков Ю.В., доцент Санкт-Петербургского Горного университета,
Санкт-Петербург, Россия

Маларев В.И., доцент Санкт-Петербургского Горного университета,
Санкт-Петербург, Россия

Шклярский А.Я., доцент Санкт-Петербургского Горного университета,
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В работе оценена перспектива разработки месторождений тяжелой высоковязкой нефти в Российской Федерации. На примере Усинского месторождения показана целесообразность применения скважинных электротехнических комплексов для повышения нефтеотдачи пластов в условиях снижения мировых цен на нефть по сравнению с традиционными методами повышения нефтеотдачи, использующими пароциклическую обработку с экономической точки зрения.

Ключевые слова: повышение нефтеотдачи, электротехнический комплекс, скважинный электропарогенератор, экономическая эффективность, паронефтяной фактор.

Evaluation of economic efficiency of use of well oil-producing electrical systems in the Republic of Komi

Gulkov Ya.V., associate Professor of Saint-Petersburg Mining University,
Saint-Petersburg, Russia

Malarev V.I., associate Professor of Saint-Petersburg Mining University,
Saint-Petersburg, Russia

Shklyarsky A.Ya., associate Professor of St. Petersburg Mining University,
Saint-Petersburg, Russia

Annotation. The paper assesses the prospects of development of heavy high-viscosity oil fields in the Russian Federation. On the example of the Usinsk field, the economic feasibility of using well electrotechnical complexes for increasing oil recovery in the conditions of reducing world oil prices compared to traditional methods of increasing oil recovery using steam-cyclic processing is shown.

Keywords: enhanced oil recovery, electrotechnical complex, downhole steam generators, economic efficiency, steam-oil factor.

Энергетическая стратегия Российской Федерации, рассчитанная до 2030 года, указывает на внедрение и разработку оборудования и технологий, которые обеспечат эффективную разработку нефтей, относящихся к классу трудноизвлекаемых. Главным образом речь идет о высоковязкой нефти (ВВН), добыча которой является приоритетным направлением развития нефтегазовой отрасли.

Наиболее распространенными технологиями для разработки месторождений ВВН являются технологии паротеплового воздействия с применением наземных парогенераторов, работающих на сжигании углеводородного топлива. Эта технология обладает рядом недостатков, основными из которых являются низкая степень сухости пара на забое, , большое количество выбросов вредных веществ в атмосферу, высокая капиталоемкость, что и ограничивает ее широкое применение ¹.

В настоящее время в Санкт-Петербургском горном университете разрабатываются скважинные электротехнические устройства, позволяющие генерировать пароводяную фракцию непосредственно в призабойной зоне, и

¹ Антониади Д.Г. Настольная книга по термическим методам добычи нефти / Д.Г. Антониади, А.Р. Гарушев, В.Г. Ишханов. Краснодар: Советская Кубань, 2000. – 462 с.

обладающие при этом следующими преимуществами (по сравнению с традиционной технологией)^{2,3}:

1. Отсутствие необходимости сжигания добытой продукции в качестве топлива;
2. Сравнительно низкая капиталоемкость, позволяющая использовать технологию небольшим компаниям на мелких месторождениях;
3. Простота конструкции электротермического комплекса;
4. Возможность получения пара со степенью сухости 0.8 в призабойной зоне позволяет сократить объем вырабатываемого пара на 10-15%;
5. Технология является экологически чистой, не производящей выбросов в атмосферу.

Большая часть нефтяных запасов нефти республики Коми приходится на долю высоковязкой нефти залегающей как в крупных, так и в мелких месторождениях. Проект развития Усинского месторождения, рассчитанный на 20 лет, предполагает увеличение добычи нефти в четыре раза. Это влечет за собой увеличение закачки пара в пласт в 10 раз. Предусмотрено так же и десятикратное увеличение числа работающих в регионе парогенераторов.

Уникальность территории республики Коми заключается в компактном расположении месторождений и источников электроэнергии. В городе Усинск расположена электростанция, работающая на попутном газе, мощность которой составляет 100 МВт. Печорская ГРЭС способна производить 1800 МВт мощности. Данный фактор позволяет использовать электроэнергию в широких масштабах для реализации термического воздействия на пласты ВВН^{4,5}.

² Загривный Э.А. Перспективы использования забойных электротермических комплексов для повышения нефтеотдачи пластов с тяжелой высоковязкой нефтью / А.Е. Козярук, В.И. Маларев, Е.Е. Мельникова // Электротехника. – 2010. – № 1. – С. 50–56.

³ Загривный Э.А. Автоматизация электротермического комплекса с забойным парогенератором для повышения нефтеотдачи пластов с высоковязкой нефтью / Э.А. Загривный, В.И. Маларев, В.О. Зырин // Записки Горного института, т. 192, Санкт-Петербург, 2011. – с. 125–130.

⁴ Загривный Э.А. Экологические перспективы применения забойных электротермических комплексов для добычи высоковязкой нефти. / Э.А. Загривный, В.И. Маларев, В.О. Зырин, О.Б. Лакота // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2011». – Выпуск 4. Том 10. – Одесса: Черноморье, 2011. – с. 26–30.

Сравнение традиционной и предложенной в работе технологий произведено для условий Усинского месторождения. Основными статьями сравнения стали: "капитальные затраты" и "стоимость энергоносителей" для участков с одинаковой производительностью 20 т/ч при глубине залегания ВВН - 1200 метров. Цены на нефть и энергоноситель актуальны на 01.06.2018.

Суммарные затраты для реализации паротеплового воздействия на пласт ВВН традиционным методом составляют порядка 21-26 млн. руб. Они включают в себя автоматизированную установку - наземный парогенератор ПГ-50-26 с производительностью 20 т/ч и оборудование, необходимое для устройства скважины. Приведены затраты для одновременного воздействия на шесть скважин.

Суммарные затраты для реализации электротермической технологии воздействия на пласт ВВН составляют порядка 7-10 млн. руб.

Использованные экономические показатели:

- курс доллара 63 руб.;
- цена нефти 77 \$ за баррель;
- стоимость электроэнергии: 3121 руб./МВт;
- число рабочих часов в году - 7000.

Традиционная термическая технология (ТТТ):

1. Удельные затраты энергии на производство тонны пара в парогенераторе ПГ-50-26 при паспортной производительности 20 т/ч и часовом расходе топлива 1,5 т/ч составляют:

$$w_э = \frac{w_n \cdot q_n}{3600 \cdot Q_n} = \frac{42 \cdot 10^3 \cdot 1,5}{3600 \cdot 20} = 875 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}$$

где $w_n=42000$ кДж/кг – средняя теплотворная способность нефти; q_n – часовой расход нефти, т/ч; Q_n – часовая производительность парогенератора, т/ч.

⁵ Загривный Э.А. Скважинный электропарогенератор для комбинированного паротеплового воздействия на продуктивные пласты высоковязкой нефти / Э.А. Загривный, В.И. Маларев, В.О. Зырин, О.Б. Лакота // Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения: Труды 10-ой международной научно-практической конференции 11–13 апреля 2012 г. / Воркутинский горный институт (филиал) ФГБ ОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – Воркута, апрель 2012, с.341 – 345.

2. Удельный расход электроэнергии в ПГ-50-26:

$$w_{эл} = \frac{k_c \cdot P_y}{Q_{п}} = \frac{0,8 \cdot 720}{20} = 29 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}$$

где k_c – коэффициент спроса, P_y – установленная мощность.

3. Суммарный удельный расход энергии:

$$W_{сумм} = w_э + w_{эл} = 875 + 29 = 904 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}$$

4. Вносимая энергия в продуктивный пласт 1 т пара на глубине 1200 м:

$$W_{нэ} = 1900 \text{ МДж} = 520 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

5. К.п.д. процесса:

$$\eta = \frac{W_{нэ}}{W_{сумм}} = \frac{520}{904} = 0,57$$

6. Удельный часовой расход нефти на 1 т пара:

$$q_{уд.н} = \frac{q_n}{Q_{п}} = \frac{1500}{20} = 75 \text{ кг/т}$$

7. Стоимость 1 т нефти при цене 77 долл. за 1 барр.:

$$C_n = C_1 \cdot C_2 \cdot n = 77 \cdot 63 \cdot 7 = 33957 \text{ руб/т} = 33,4 \text{ руб/кг}$$

где $C_1 = 77$ – стоимость 1 барр. нефти, $C_2 = 63$ – курс доллара, $n=7$ – количество баррелей в 1 т при удельной массе нефти $0,9 \text{ т/м}^3$.

8. Удельная стоимость нефти при паронефтяном факторе (ПНФ), равном 1,0 т/т, (ПНФ – расход пара в тоннах на дополнительно добытую 1 тонну нефти), сожженной в парогенераторе:

$$C_{нс} = q_{уд.н} \cdot C_n = 75 \cdot 33,4 = 2505 \text{ руб/т}$$

Использование добытой нефти для добычи повышает себестоимость добытой нефти.

9. Годовой расход пара: 140000 т.

10. Суммарные годовые затраты:

$$C_{год\ ттт} = C_{нс} \cdot 140000 = 2505 \cdot 140000 = 350 \text{ млн. руб/год}$$

Электротермическая технология (ЭТТ):

Электротермические технологии обладают недостижимым для традиционных термических технологий преимуществом – возможностью

генерировать в призабойной зоне продуктивного пласта насыщенный пар со степенью сухости 0,8 и более. Это позволяет вносить в пласт равное количество тепловой энергии при нагнетании меньшего объема пара на 15-20% по сравнению с традиционными способами теплового воздействия. Однако это свойство ЭТТ в настоящем анализе не учитывается, так как приняты равные условия термического воздействия на продуктивный пласт паром, т.е. в данном случае эффективность ЭТТ несколько занижена.

1. Для генерации 1 тонны пара в ЭПГ в установившемся режиме на глубине 1200 м затраты электроэнергии составят:

$$W_n = 1900 \text{ МДж} = 520 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Исходя из поставленной задачи получения сравнительной оценки энергетической эффективности при равных экономических показателях реализации добытой нефти, можно записать:

$$W_{нэ} = (1 - q_n) \cdot W_n = (1 - 0,075) \cdot 520 = 480 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 0,48 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$$

3. Годовой расход пара: 140000 т.

4. Суммарные годовые затраты:

$$C_{\text{год энт}} = W_{нэ} \cdot C_{\text{эл.эн}} \cdot 140000 = 0,48 \cdot 3221 \cdot 140000 = 217 \text{ млн. руб/год}$$

Экономический эффект:

$$\Delta_{\text{год}} = C_{\text{год ттт}} - C_{\text{год энт}} = 350 - 217 = 133 \text{ млн. руб/год}$$

Следует понимать, что данный экономический эффект рассчитан для конкретной стоимости нефти и электроэнергии. При снижении цены на нефть, изменении курса доллара, изменении стоимости электроэнергии экономический эффект может меняться. Необходимо отметить, что даже при значительном изменении валютных курсов экономический эффект будет достигнут.

Таблица 1

Экономический эффект от применения электротермической технологии добычи ВВН по сравнению с традиционной по статье «энергоносители»

Стоимость нефти (долл/барр руб/т)	Экономический эффект, млн. руб.			
	Паронефтяной фактор (ПНФ, пар/нефть, т/т)			
	0,5	1,0	2,0	3,0
20/9660	-	-	15,1	156,9
30/14490	-	-	125,0	337,7
40/19320	-	-	234,9	518,5
50/24150	-	47,8	344,8	699,3
60/28980	-	98,2	454,7	880,1
70/33810	-	148,7	564,6	1060,9
80/38640	-	199,2	674,5	1241,7

Из табл.1 видно, что экономическая эффективность обеспечивается при заданных и выше значениях цены на нефть (50 долл/барр) и ПНФ = 1,0 т/т, а при ПНФ равном 2 т/т и выше экономическая эффективность сохраняется даже при ценах на нефть 20 долл/барр.

Библиографический список

1. Антониади Д.Г. Настольная книга по термическим методам добычи нефти / Д.Г. Антониади, А.Р. Гарушев, В.Г. Ишханов. Краснодар: Советская Кубань, 2000 г. – 462 с.
2. Загривный Э.А. Перспективы использования забойных электротермических комплексов для повышения нефтеотдачи пластов с тяжелой высоковязкой нефтью / А.Е. Козярук, В.И. Маларев, Е.Е. Мельникова // Электротехника. 2010. № 1. С. 50 – 56.
3. Загривный Э.А. Автоматизация электротермического комплекса с забойным парогенератором для повышения нефтеотдачи пластов с высоковязкой нефтью / Э.А. Загривный, В.И. Маларев, В.О. Зырин // Записки Горного института, т. 192, Санкт-Петербург, 2011. – с. 125 – 130.

4. Загривный Э.А. Экологические перспективы применения забойных электротермических комплексов для добычи высоковязкой нефти. / Э.А. Загривный, В.И. Маларев, Зырин В.О., О.Б. Лакота // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании '2011». – Выпуск 4. Том 10. – Одесса: Черноморье, 2011. – с. 26 – 30.

5. Загривный Э.А. Скважинный электропарогенератор для комбинированного паротеплового воздействия на продуктивные пласты высоковязкой нефти / Э.А. Загривный, В.И. Маларев, В.О. Зырин, О.Б. Лакота // Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения: Труды 10-ой международной научно-практической конференции 11–13 апреля 2012 г. / Воркутинский горный институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».– Воркута, апрель 2012, с.341 – 345.

References

1. Antoniady, D.G. Handbook of thermal methods of oil production / D.G. Antoniady, A.R. Parushev, V.G. Ishkhanov. Krasnodar: Sovetskaya Kuban, 2000. – 462 p.

2. Zagrivny E.A. Prospects of using bottom-hole electrothermal complexes to increase oil recovery of layers with heavy high-viscosity oil./ Kozyaruk A.E., Malarev V.I., Melnikova E.E. // Electrical Engineering. 2010. No. 1. P. 50–56.

3. Zagrivny E.A. automation of electrotechnological complex with downhole steam generator for enhanced oil recovery heavy oil / E.A. Zagrivny, V.I. Malarev, V.O. Zyrin // Proceedings of the Mining Institute, vol. 192, St. Petersburg, 2011. – с. 125–130.

4. Zagrivny E.A. Ecological prospects of application of bottom electrothermal complexes for production of high-viscosity oil. / E.A. Zagrivny, V.I. Malarev,

V.O. Zyrin, O.B. Lakota // Collection of scientific works SWorld. Materials of the international scientific-practical conference «Modern problems and ways of their solution in science, transport, production and education '2011». – Issue 4. Volume 10. – Odessa: Black Sea Coast, 2011. – p. 26–30.

5. Zagrivny E. A. Downhole steam generators for combined thermal steam impact on the productive formations of heavy oil / E.A. Zagrivny, V.I. Malarev, V.O. Zyrin, O.B. Lakota // Mineral resources of the North: problems and solutions: Proceedings of the 10th international scientific-practical conference April 11–13, 2012 / Vorkuta mining Institute (branch) of FGBOU VPO «national University of mineral resource «Mountain». – Vorkuta, April 2012, C. 341–345.