

УДК 622.276

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕКАЧКИ ПО НЕФТЕПРОВОДАМ СИСТЕМЫ СБОРА ПРОДУКЦИИ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Ахияртдинов Э.М.

ООО КТБ «Техно-Прогресс», г. Уфа  
e-mail: ktbt@mail.ru

Ахияртдинов А.Э.

РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, г. Москва

Кабиров М.М.

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа

**Аннотация.** В статье рассматривается возможность оптимизации процесса перекачки на основе анализа потребления электроэнергии нефтепромысловыми дожимными насосными станциями (ДНС), работающими на общий нефтепровод совместно со скважинами. Показано, что в условиях неопределенности эксплуатации DNS, оптимизацию процесса перекачки целесообразно проводить на основе анализа циклограмм работы насосных агрегатов на общий нефтепровод, отражающих технологические режимы и энергоёмкость транспортировки продукции. Циклограммы представляют собой периодические функции в виде зависимости давления на выходе каждого насосного агрегата от времени, или соответственно потреблённой этими агрегатами электроэнергии, в течение которого проводится исследование.

**Ключевые слова:** оптимизация процессов перекачки, дожимная насосная станция, циклограмма, периодическая функция

В структуре эксплуатационных расходов нефтедобывающих предприятий основная доля расходов приходится на потребляемую насосными станциями электрическую энергию [1]. Типовая схема сбора и транспорта продукции нефтяных скважин состоит из дожимных насосных станций (ДНС) и скважин (в т. ч. объединённых групповой замерной установкой – ГЗУ), работающих на общий нефтепровод (рис. 1) [2]).

Работа DNS характеризуется цикличностью работы в отличие от скважин, постоянно подающих продукцию в нефтепровод под действием пластового давления. Цикличность работы DNS и, соответственно, функционирования всей нефтепромысловой системы сбора определена динамикой пластовых процессов, технологическими особенностями, в частности, не согласованной работой DNS, физико-химическими свойствами перекачиваемой среды, сезонными факторами и прочими причинами, представляющими собой сложный комплекс, вносящий неопределенность в вопросах оценки эффективности и последующей оптимизации

системы сбора и транспорта продукции. Выявление закономерностей, связанных с цикличностью функционирования систем сбора и транспорта продукции нефтяных скважин, является крайне важной задачей, особенно в методологии параметрического диагностирования данных систем.

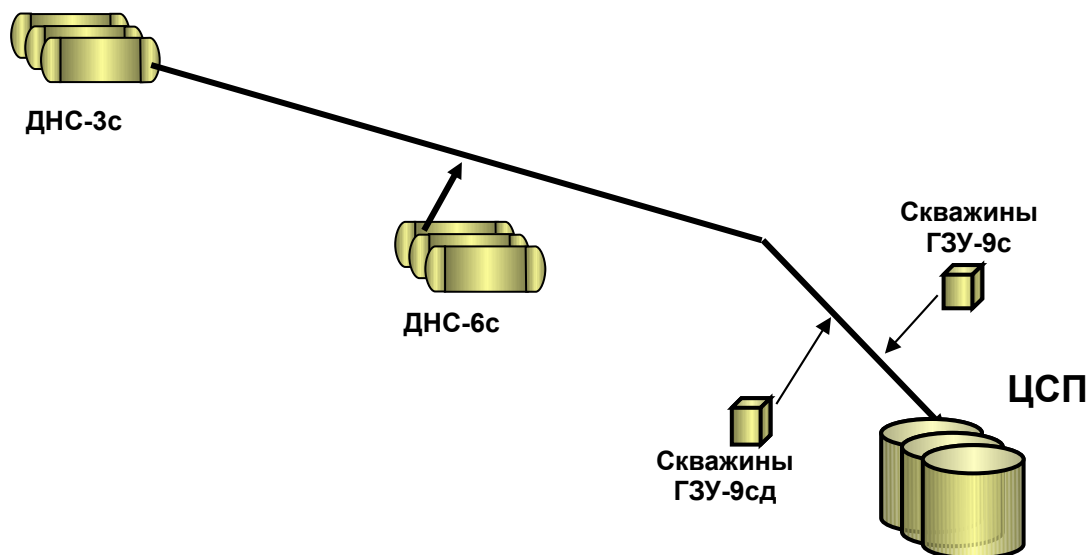
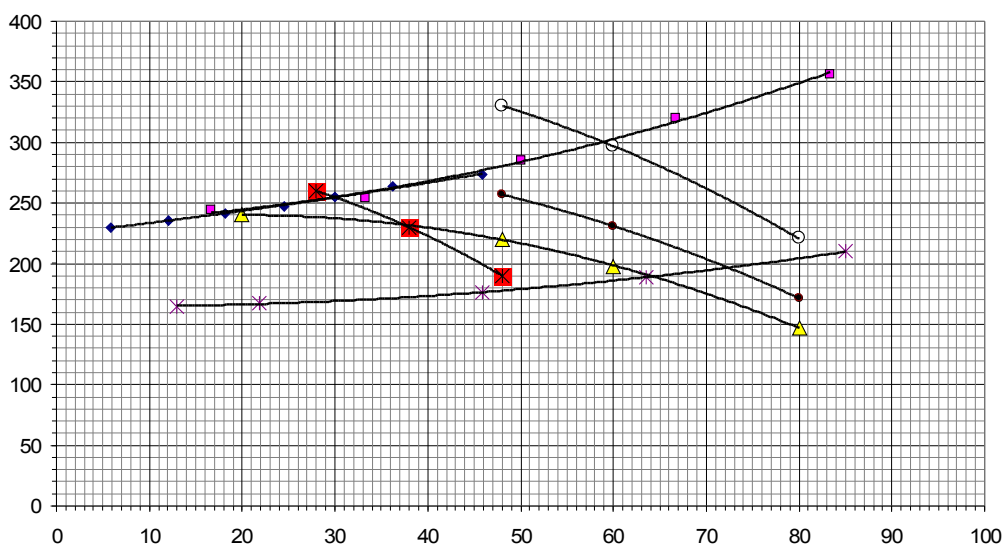


Рис. 1. Схема сбора и транспорта продукции нефтяных скважин по нефтепроводу ДНС-3с – ЦСП

На рис. 2 приведены результаты полевых исследований [3] на объектах ОАО «Татнефть», включающих ДНС-3с, ДНС-6с, скважины ГЗУ-9с и ГЗУ-9сд, работающих на общий нефтепровод ДНС-3с – ЦСП (рисунок 1). Представленные на рис. 2 напорные характеристики насосного оборудования и нефтепровода рассчитаны с использованием программы гидравлического расчёта совместного транспорта нефти, газа и воды по нефтепроводу, составленной по методике [4], и методики пересчёта напорно-энергетических характеристик насосных агрегатов (НА) с воды на вязкую жидкость [5]. Режимы эксплуатации определены по циклограммам работы НА ДНС-3с и ДНС-6с (рис. 3). Циклограммы выражены в виде функций  $P_2 = f(t)$ , где  $P_2$  – давление на выходе НА,  $t$  – рассматриваемый период времени. Технологические параметры эксплуатации и основные физико-химические свойства перекачиваемой среды исследуемой трубопроводной системы ДНС-3с – ЦСП приведены в табл. 1.

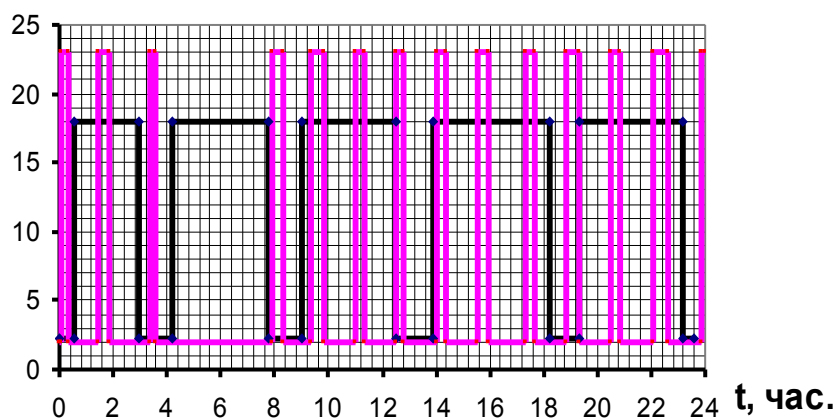
Параметры эксплуатации оборудования ДНС, в том числе расчетные, представлены в табл. 2. Полученные данные показывают, что агр. №1 ЦНС 60-198 на ДНС-3с работает за пределами рабочего интервала, а именно на подаче 19,9 м<sup>3</sup>/ч, при этом к.п.д. данного насоса составляет около 38 %.

Н, м

Q, м<sup>3</sup>/ч

- - характеристика нефтепровода при работе ДНС-3с и ДНС-6с (режим 1)
- ◆ - характеристика нефтепровода при работе ДНС-3с, ДНС-6с остановлен (режим 2)
- ✕ - характеристика нефтепровода при работе ДНС-6с, ДНС-3с остановлен (режим 3)
- - напорная характеристика ЦНС 60-297
- - напорная характеристика ЦНС 60-231
- ▲ - напорная характеристика ЦНС 60-198
- - напорная характеристика ЦНС 38-220

Рис. 2. Характеристики трубопровода ДНС-3с – ЦСП, насосов ЦНС 60-198, ЦНС 60-297 и ЦНС 38-220

P<sub>2</sub>, кгс/см<sup>2</sup>

- - циклограмма работы ДНС-3с агр.№1
- - циклограмма работы ДНС-6с агр.№2

Рис. 3. Циклограммы работы НА на нефтепровод ДНС-3с – ЦСП

Таблица 1. Технологические данные трубопроводной системы ДНС-3с – ЦСП

№ п/п	Наименование параметров	Значения параметров по объектам			
		ДНС-3с	ДНС-6с	ГЗУ-9сд	ГЗУ-9с
1	Добыча жидкости – Q, м <sup>3</sup> /сут. (т/сут.)	351 (344,3)	245 (262,8)	44 (45,9)	197 (210,6)
2	Добыча нефти, т/сут. (м <sup>3</sup> /сут.)	202 (227,2)	63,9 (71,9)	16 (18)	54 (60,7)
3	Давление в конце нефтепровода, МПа	0,3	0,3	0,3	0,3
4	Объемное содержание воды, отн. ед.	0,353	0,707	0,59	0,692
5	Плотность жидкости, кг/м <sup>3</sup>	983,25	1077,77	1046,53	1073,76
6	Вязкость динамическая, Па*с	0,0585	0,0641	0,0623	0,0623
7	Рабочий газовый фактор, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	--	--	15	15

Таблица 2. Параметры эксплуатации оборудования ДНС

Наименование параметров	ДНС-3с агр. №1 ЦНС 60-198	ДНС-6с агр. №2 ЦНС 60-297
Суточный объем перекачки Q, м <sup>3</sup> /сут.	351	245
Время работы в течение суток t, ч/сут.	17,61	4,97
Число остановов НА, z	5	14
Время работы НА за один цикл $t_n = t / z$ , ч	3,522	0,355
Время заполнения ёмкости при неработающих НА $t_3$ , ч	1,278	1,359
Рабочие параметры насоса: подача $Q = Q_{сут.} / t$ , м <sup>3</sup> /ч	19,93	49,3
напор, м	234	324
мощность, кВт	30	65
к.п.д., %	38	68
Энергопотребление НА в течение суток, кВт/сут	$E_{н1}=528,3$	$E_{н2}=323,05$
Суммарное энергопотребление $E'_n = E_{н1} + E_{н2}$ , кВт/сут	851,35	
Поступление в ёмкости $q_{скв.} = Q / 24$ , м <sup>3</sup> /ч	14,625	10,208
Рабочая часть объема сборных емкостей $V_c$ , м <sup>3</sup>	18,7	13,9

Расчёты, связанные с определением параметров процессов перекачки, в том числе указанных в табл. 2, выполнены на основе следующих зависимостей:

1. Расчётная зависимость объёма продукции нефтяных скважин, подаваемой в общий нефтепровод скважинами и ДНС, в условиях цикличности работы ДНС выражена периодической функцией вида:

$$V_{T_{\text{СКВ.}}} = V_{\text{СКВ.}} + \sum_{i=1}^I e_i \sum_{j=1}^J e_j \cdot Q_{ij} \cdot T_{ij}, \quad (1)$$

где  $V_T$  – объём прокаченной продукции за период  $T$ , м<sup>3</sup>;  $V_{\text{СКВ.}}$  – объём прокаченной продукции за период  $T$ , м<sup>3</sup>;  $I$  – количество ДНС;  $i$  – условный порядковый номер ДНС;  $e_i$  – булева переменная, как функция времени, характеризующая состояние ДНС с номером  $i$  ( $e_i=1$ , если ДНС в работе;  $e_i=0$ , если ДНС выключена);  $J$  – число НА в составе ДНС с номером  $i$ ;  $j$  – номер НА на ДНС с номером  $i$ ;  $e_j$  – булева переменная, как функция времени, характеризующая состояние НА с номером  $j$  ( $e_j=1$ , если НА в работе;  $e_j=0$  если НА выключен);  $Q_{ij}$  – подача НА с номером  $j$  на ДНС с номером  $i$ ;  $T_{ij}$  – время работы НА с номером  $j$  на ДНС с номером  $i$  за один цикл, ч;

2. Расчётная зависимость количества электроэнергии, затраченной на перекачку, выражена аналогично формуле (1):

$$E_T = \sum_{i=1}^I e_i \sum_{j=1}^J e_j \cdot E_{ij} \cdot T_{ij}, \quad (2)$$

где  $E_T$  – количество затраченной электроэнергии за рассматриваемый промежуток времени  $T$ , кВт·ч;  $E_{ij}$  – количество затраченной электроэнергии за время  $T_{ij}$ , кВт·ч;

3. Расчётная зависимость, связывающая объёмную добычу продукции, поступающей в сепарационные ёмкости ДНС из добывающих скважин, циклическую подачу НА и объём сепарационной ёмкости на ДНС, определена на основе анализа материального баланса:

$$Q_{ij} - q_{\text{СКВ.}} - \frac{\Delta V_c}{T_{ij}} = 0, \quad (3)$$

где  $Q_{ij}$  – подача НА, м<sup>3</sup>/ч;  $q_{\text{СКВ.}}$  – поступление в ёмкости, м<sup>3</sup>/ч (принимается постоянным);  $\Delta V_c$  – рабочий объём сборной ёмкости (от вкл. до откл. НА), м<sup>3</sup>;  $T_{ij}$  – время работы НА за один цикл работы (с момента включения до останова), ч;

При этом рабочий объём  $\Delta V_c$ , вычисляется по параметрам циклограммы, по формуле:

$$\Delta V_c = q_{\text{СКВ.}} \cdot \frac{T - T_I}{z}, \quad (4)$$

где  $z$  – число циклов (вкл. / откл. НА) за рассматриваемый период  $T$ ;  $T_I$  – суммарное время работы НА в течение рассматриваемого периода  $T$ .

В целях повышения энергоэффективности работы НА рассмотрена схема перекачки, включающая вариант установки НА типа ЦНС 38-220 на ДНС-3с и ДНС-6с вместо ЦНС 60-198 и ЦНС 60-297.

Для определения режимов работы нефтепровода по новой предлагаемой схеме перекачки построены циклограммы работы насосных агрегатов на нефтепровод ДНС-3с – ЦСП (см. рис. 4), по основным режимам проведены гидравлические расчеты нефтепровода.

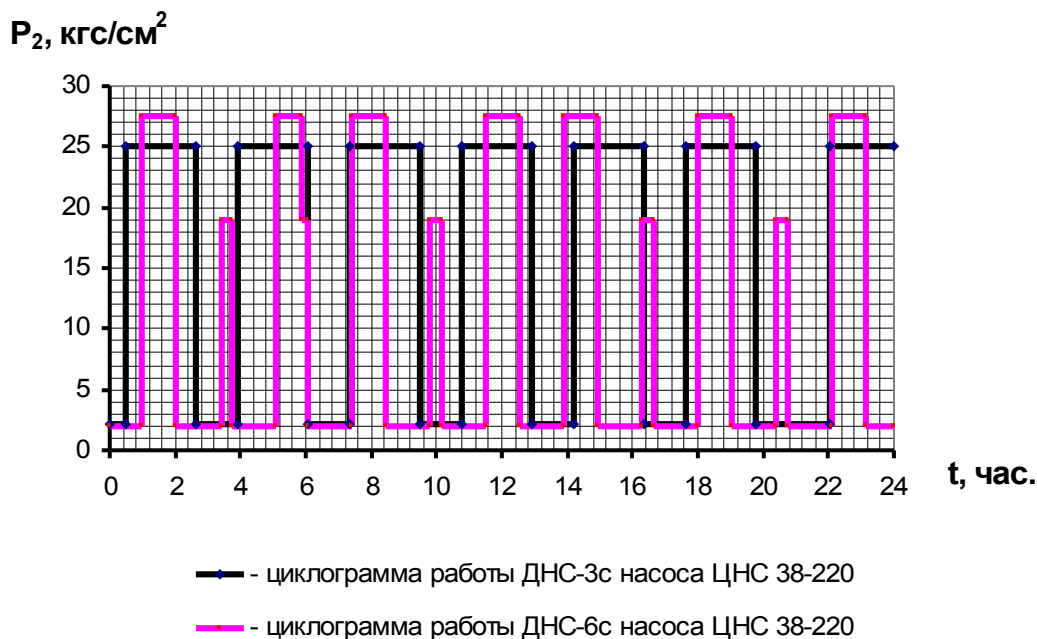


Рис. 4. Циклограммы работы НА на нефтепровод ДНС-3с – ЦСП по предлагаемой схеме оптимизации

Результаты расчетов по предлагаемой схеме оптимизации сведены в табл. 3. Расчеты выполнены по четырём основным режимам в соответствии с новыми циклограммами работы НА.

Экономия затрат на электроэнергию от внедрения оптимизации:

$$\mathcal{E}_{\text{эф}} = 365 \cdot C_{\text{эл}} \cdot (E'_n - E''_n - E'''_n) \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}, \quad (5)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{эф}}$  – годовая экономия эксплуатационных затрат, руб./год;  $C_{\text{эл}}$  – тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч ( $C_{\text{эл}} = 1,64$  руб./кВт·ч);  $E'_n, E''_n, E'''_n$  – потребление электроэнергии из табл. 2 и 3, кВт·ч /сут.

Годовая экономия от внедрения оптимизации перекачки, вычисленная по формуле (5) составит:

$$\mathcal{E}_{\text{эф}} = 365 \cdot 1,64 \cdot (851,35 - 674,6 - 58,3) = 70904,2 \text{ руб./год.}$$

Таблица 3. Результаты расчетов по новым циклограммам работы НА

№ п/ п	Наименование режимов и параметров	Значения параметров			
		ДНС-3с ЦНС 38- 220	ДНС-6с ЦНС 38- 220	ГЗУ- 9сд	ГЗУ -9с
1	Режим №1: ДНС-3с – в работе; ДНС-6с – в работе				
	Дебит $Q$ , м <sup>3</sup> /сут.	351	201,15	44	197
	Давление в нефтепроводе, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	2,51 (25,1)	2,75 (27,5)	-	-
	Рабочие параметры насоса: подача $Q_n$ , м <sup>3</sup> /ч	30	30	-	-
	напор, м	260	260	-	-
	мощность, кВт	36	36	-	-
	к.п.д., %	62	62	-	-
	Поступление в ёмкости $q_{скв}$ , м <sup>3</sup> /ч	14,625	10,208	-	-
	Число циклов работы НА в течение суток $z$	7	10	-	-
	Время работы НА на режиме №1 $t_n$ , ч/сут.	11,7	7,04	-	-
Энергопотребление на режиме №1, кВт·ч /сут.	$E_{n1} = 421,2$	$E_{n2} = 253,4$	-	-	
Суммарное энергопотребление - $E_n''$ , кВт/сут.	674,6		-	-	
2	Режим №2: ДНС-3с – в работе; ДНС-6с – остановлен				
	Дебит $Q$ , м <sup>3</sup> /сут.	351	-	44	197
	Давление нефтепроводе, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	2,51 (25,1)	-	-	-
	Рабочие параметры насоса: подача $Q_n$ , м <sup>3</sup> /ч	30	-	-	-
	Напор, м	260	-	-	-
	мощность, кВт	36	-	-	-
	к.п.д., %	62	-	-	-
	Поступление в ёмкости $q_{скв}$ , м <sup>3</sup> /ч	14,625	8,932	-	-
	Число циклов работы НА в течение суток $z$	7	-	-	-
	Время работы НА за один цикл $t_n$ , ч/сут.	1,6714	-	-	-
Энергопотребление на режиме №2, кВт·ч /сут.	См. режим №1	-	-	-	
3	Режим №3: ДНС-3с – остановлен; ДНС-6с – в работе				
	Дебит $Q$ , м <sup>3</sup> /сут.	-	43,85	44	197
	Давление в нефтепроводе, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	-	1,9 (19,)	-	-
	Рабочие параметры насоса: подача $Q_n$ , м <sup>3</sup> /ч	-	50	-	-
	напор, м	-	180	-	-
	мощность, кВт	-	38	-	-
	к.п.д., %	-	66	-	-
	Поступление в ёмкости $q_{скв}$ , м <sup>3</sup> /ч	14,625	10,208	-	-
	Число циклов работы НА в течение суток - $z$	-	10	-	-
	Время работы НА на режиме №3 $t_n$ , ч/сут.	-	1,534	-	-
	Энергопотребление на режиме №3 $E_n'''$ , кВт·ч/сут.	-	58,3	-	-
4	Режим №3: ДНС-3с – остановлен; ДНС-6с – остановлен				
	Дебит $Q$ , м <sup>3</sup> /сут.	-	-	44	197
	Давление в нефтепроводе, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,22 (2,2)	0,2 (2)	0,22	0,2

### Выводы

1. В условиях неопределенности эксплуатации насосных станций системы сбора и транспорта продукции нефтяных скважин оптимизацию процесса перекачки целесообразно проводить на основе анализа циклограмм работы насосных агрегатов на общий нефтепровод, отражающих технологические режимы и энергоёмкость транспортировки продукции. Циклограммы работы насосных агрегатов на общий нефтепровод представляют собой периодические функции в виде зависимостей потребления электроэнергии (2) и давления на выходе (1) насосных агрегатов от времени, в течение которого проводятся исследования;

2. Совмещение циклограмм даёт наглядное представление о взаимном влиянии насосных агрегатов и скважин, работающих на общий нефтепровод. Так, давление на выходе НА ДНС-6с при автономной работе по сравнению с режимом совместной работы с ДНС-3с ниже на примерно 20 %.

3. Периодичность циклограмм и соответственно их расположение по отношению друг к другу меняются в процессе эксплуатации, следовательно, применяемые для анализа циклограмм методы, в том числе статистические, должны подвергаться систематической коррекции.

### Литература

1. Авдеева Л.А. Об экономических показателях промыслового сбора нефти и газа / Труды ВНИИСПТнефть. – Уфа, 1980. С. 118-122.

2. РД 39-0148311-605-86. Унифицированные технологические схемы сбора, транспорта и подготовки нефти, газа и воды нефтедобывающих районов: Репринт / Гипровостокнефть. Куйбышев, 1986. 49 с.

3. Разработка технических предложений по применению многофазных насосных установок на объектах транспорта продукции нефтяных скважин НГДУ «Азнакаевскнефть»: отчет техн. / ООО «КТБ «Техно-Прогресс». – Уфа, 2007. 53 с.

4. Методика по выбору и применению многофазных двухвинтовых насосов в системах сбора, подготовки и транспорта продукции нефтяных скважин / ОАО «Татнефть». – Альметьевск, 2004. 109с.

5. Тугунов П.И., Новосёлов В.Ф., Коршак А.А., Шаммазов А.М. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов. Учебное пособие для ВУЗов. – Уфа: ООО «Дизайн-ПолиграфСервис», 2002. 658 с.



**OPTIMIZATION PROCESSES OF OIL FIELD COLLECTION PIPELINE  
SYSTEM WITHIN UNCERTAINTY CONDITIONS  
OF PUMP STATIONS OPERATION**

E.M. Akhiyartdinov  
*KTB "Tehno-Progress" Ltd., Ufa, Russia*  
*e-mail: ktbtp@mail.ru*

A.E. Akhiyartdinov  
*Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow, Russia*

M.M. Kabirov  
*Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia*

**Abstract.** *The article is dedicated to oil transfer optimization processes based onto analysis of power consumed by field booster pump stations (BPS) operating with collection pipelines and producing wells combined into satellite group units. The article shows that oil transfer optimization in uncertainty conditions of BPS operation shall be efficiently performed with analysis of cyclograms of BPS and collection pipeline operation that reflect process modes and energy consumption of oil transfer procedures. Cyclograms are periodical functions in the form of relationships between each pump output pressure and consumed power, or analysis time period. Cyclogram periods and their corresponding relative arrangement are changing during the operation, and therefore, cyclogram analysis methods, including statistical analysis, shall be subjected to systematic corrections.*

**Keywords:** *optimization processes of oilfield collection, booster pump station, cyclogram, periodical function.*

**References**

1. Avdeeva L.A. Ob ekonomicheskikh pokazatelyakh promyslovogo sbora nefti i gaza (On the economic performance of oil-field gathering) // *Tr. / VNIISPTneft' proceedings*. Ufa, 1980. pp. 118-122.
2. RD 39-0148311-605-86. Unified process flow charts for collection, transportation and preparation of oil, gas and water in oil production areas. Kuibyshev: Giprovostokneft, 1986. 49 p.
3. Razrabotka tekhnicheskikh predlozhenii po primeneniyu mnogofaznykh nasosnykh ustanovok na ob"ektakh transporta produktsii neftyanykh skvazhin NGDU "Aznakaevskneft" (Development of technical proposals for the application of multiphase pumping systems at the facilities of oil wells transport production at Aznakaevskneft NGDU): technical report. KTB "Tehno-Progress" Ltd. Ufa, 2007. 53 p.
4. Metodika po vyboru i primeneniyu mnogofaznykh dvukhvintovykh nasosov v sistemakh sbora, podgotovki i transporta produktsii neftyanykh skvazhin (Methodology

for selection and use of multiphase twin-screw pumps in the systems of collection, treatment and transportation of products of oil wells). Al'met'evsk, Tatneft JSC, 2004. 109 p.

5. Tugunov P.I., Novoselov V.F., Korshak A.A., Shammazov A.M. Tipovye raschety pri proektirovanii i ekspluatatsii neftebaz i nefteprovodov. Uchebnoe posobie dlya VUZov (Routinel calculations for the design and operation of oil depots and oil pipelines. Textbook for High Schools). Ufa: "Dizain-PoligrafServis" JSC, 2002. 658 p.