

DOI: 10.17122/ntj-oil-2018-4-9-19
УДК 622.276

И.Р. Байков, О.В. Смородова, С.В. Китаев, Д.Д. Кашапова (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ ДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ КАК СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ЗАВОДНЕНИИ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ

Igor R. Baikov, Olga V. Smorodova, Sergey V. Kitaev, Dilya D. Kashapova
(Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

PRODUCTIVE STRATA FLOODING ENERGY CONSUMPTION AT EXTRACTIVE ENTERPRISE AS A COMPLEX SYSTEM

Введение

Технологические процессы нефтегазовой отрасли характеризуются высокой энергоемкостью. Преобладающим технологическим электроприводным оборудованием являются насосы. Поддержание пластового давления наравне со скважинным оборудованием добычи нефти определяет в целом эффективность разработки нефтегазовых месторождений. Доля электроэнергии на заводнение пластов месторождений поздней стадии разработки может достигать 30 % в общем энергобалансе промысла.

Цели и задачи

Изучение вопросов разработки иерархии в структуре потребления электрической энергии в системе поддержания давления в продуктивных пластах месторождений.

Ранжирование мест возникновения затрат энергии в системе заводнения с учетом дополнительных критериев позволит оптимизировать поток инвестиций для реализации мероприятий повышения энергетической эффективности.

Методы

Структура энергобаланса месторождения разработана на основе баз данных технологических параметров эксплуатации промысла за 5 лет.

Background

The technological processes of the oil and gas industry are characterized by high energy intensity. Pumps are the prevailing technological electric drive equipment. The operation of the waterflooding system, along with the well equipment of mechanized oil production, determines mainly the efficiency of the development of oil and gas fields, the share of electricity for the operation of the waterflooding system at the late stage of development can reach 30 % of the total energy balance of the oil field.

Aims and Objectives

Study the questions of development of a hierarchy in the structure of consumption of electric energy in the system of maintaining pressure in productive reservoirs of deposits.

Ranking the places of occurrence of energy costs in the waterflooding system, taking into account additional criteria will allow to optimize the flow of investments for the implementation of energy efficiency improvement measures.

Methods

The structure of the energy balance of the field is developed on the basis of data bases of technological parameters of exploitation of the oil field for 5 years.

Сформулирована многокритериальная задача векторной оптимизации ранжирования подсистем, разработано 4-мерное пространство частных признаков для 7 подсистем системы поддержания пластового давления.

На предварительном этапе ранжирования подсистем использован способ формирования множества Парето. Сужение множества Парето реализовано аддитивной сверткой, обоснованность которой доказана однородностью частных признаков.

Результаты

На примере одного из месторождений Республики Саха разработана энергетическая структура системы заводнения нефтеносной залежи. Определены доли затрат электроэнергии на преодоление гидравлического сопротивления всех звеньев системы наземной и подземной инфраструктуры и потери энергии в насосах.

Систематизация внутренних связей подсистем определила многоуровневый иерархический облик структуры системы поддержания пластового давления. Сформировано множество Парето-оптимальных подсистем на основе 4-мерного вектора частных признаков. В результате скаляризации вектора признаков достигнуто ранжирование подсистем системы поддержания пластового давления.

The multicriterial problem of vector optimization of the subsystem ranking has been formulated, a 4-dimensional space of particular features for 7 subsystems of the reservoir pressure maintenance system has been developed.

At the preliminary stage of ranking the subsystems, a method of forming the Pareto set is used. The restriction of the Pareto set is realized by an additive convolution, the validity of which is proved by the homogeneity of particular characteristics.

Results

On the example of one of the deposits of the Republic of Sakha, the energy structure of the oil flooding system is developed. The shares of electric power consumption for overcoming the hydraulic resistance of all links in the system of ground and underground infrastructure and energy losses in pumps are determined.

The systematization of the internal links of the subsystems determined the multi-level hierarchical appearance of the structure of the waterflooding system. A set of Pareto-optimal subsystems is formed on the basis of the 4-dimensional vector of particular features. As a result of the scalarization of the vector of quotients, the subsystems of the waterflooding system are ranked.

Ключевые слова: система поддержания пластового давления, энергия, гидравлический режим, энергоэффективность, подсистема, системный анализ

Key words: water flooding system, energy, hydraulic control, energy efficiency, subsystem, systems analysis

Технологические процессы нефтегазовой отрасли характеризуются высокой энергоемкостью. На работу оборудования добычи нефти и газа расходуется самый качественный вид энергии - электрическая. Преобладающим технологическим электроприводным оборудованием являются насосы: для добычи жидкости, закачки воды в пласт для поддержания пластового давления (ППД), для перекачки технологических потоков в трубопроводных системах наземной инфраструктуры (рисунок 1).



Рисунок 1. Потребление электроэнергии в системах технологических процессов нефтегазового промысла

Работа системы ППД наравне со скважинным оборудованием механизированной добычи нефти [1] определяет в основном полную эффективность разработки нефтегазовых месторождений [2]. Доля потребления электроэнергии системой ППД в общем энергобалансе промысла зависит от конкретных условий - свойств месторождения [3] и стадии его разработки [4]. Как показал многолетний опыт проведения энергетических обследований нефтегазовых промыслов [5, 6], доля электроэнергии на работу системы ППД месторождений поздней стадии разработки может достигать 30 % в общем энергобалансе промысла.

Особенностью системы ППД является сосредоточенность потребляющих мощностей в крупном единичном оборудовании: насосы блочных кустовых станций, каждый мощностью до 4-6 МВт, и наличие протяженной трубопроводной разветвленной сети для закачки воды в нагнетательные скважины [7]. В качестве примера приведены результаты анализа всех составляющих энергобаланса для одного из нефтедобывающих промыслов на юге Республики Саха (Якутия).

Низконапорная часть системы на промысле представлена потоком с резервуаров подтоварной воды и двумя водозаборами артезианской воды: В31 и В32, причем В32 располагается на расстоянии более 40 км от установки подготовки нефти (УПН). Для обеспечения оптимального температурного режима низконапорного водовода (ННВ) на УПН используется индукционный обогрев выкидных линий водозабора В32 [8] и подогрев артезианской воды в теплообменнике (ТОА) на узле подогрева артезианской воды (УПАВ) [9].

Высоконапорная наземная часть системы ППД представлена высоконапорными водоводами пяти направлений ВНВ1-ВНВ5 и штуцерами нагнетательных скважин. Особенностью рассмотренного промысла является использование части высоконапорной воды для предварительного отмывания нефти от солей в нефтесборных трубопроводах перед подачей ее на оборудование УПН (на схеме - ответвление от ВНВ5 через штуцер в нефтесборный трубопровод).

Подземная часть использования энергии воды системой ППД, как правило, представляется без особенностей - это преодоление гидравлического сопротивления насосно-компрессорных труб (НКТ) и элементов забоя нагнетательных скважин, непосредственно продуктивного пласта и забоя добывающих скважин. Для решения задачи структуризации энергопотребления столь сложной системой авторами [10] рекомендуется определенная технология изучения объекта через взаимосвязанность его элементов. Одним из классов задач, возникающих в связи с исследованием сложных систем, является задача анализа, в ходе которой изучаются свойства системы в зависимости от ее структуры. При этом важнейшей целью начального этапа является построение графа системы с использованием типичных структурных конфигураций: комплексов, контуров и пр. (рисунок 2).

На основе полученного конструктивного облика системы ППД проведен структурный анализ, который, в частности, включает анализ связности элементов графа, входных и выходных параметров системы и пр.

Анализ воспроизведенного на рисунке 2 графа показал, что система ППД относится к классу многоуровневых структур. Проблема координации в многоуровневой системе решается введением и реализацией «постулата совместности» [11], который декларирует согласованность между целями системы в целом и ее подсистем.

Глобальной целью всей системы является обеспечение заводнения нефтеносных пластов с минимальными энергозатратами. Цели подсистем системы ППД: низконапорная часть, трубопроводная система, непосредственно насосы блочной кустовой насосной станции (БКНС) и подпорной насосной станции (ПНС) полностью совпадают с глобальной целью всей системы в целом. Для идентификации иерархических уровней в системе использован балансовый метод - приход/расход электроэнергии в системе ППД. С его помощью определены наиболее значимые направления вложения инвестиций для повышения энергетической эффективности системы ППД и, как следствие, в целом добычи жидкости на промысле.

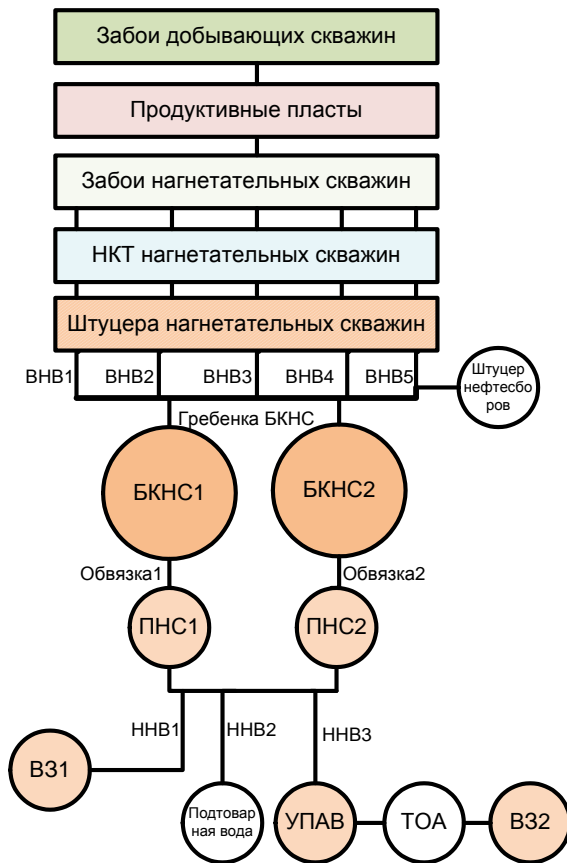


Рисунок 2. Схема взаимного расположения узлов энергопотребления в системе ППД

Расход электроэнергии на привод насосов определен по формуле

$$\mathcal{E} = \frac{0,002725 \times \rho \times Q \times H}{1000 \times \eta_{\text{э}} \times \eta_{\text{н}}},$$

где \mathcal{E} , кВт·ч, - затраты электроэнергии;

ρ , кг/м³, - плотность перекачиваемого продукта;

Q , м³, - перекачка продукта;

H , м, - напор, развиваемый насосом;

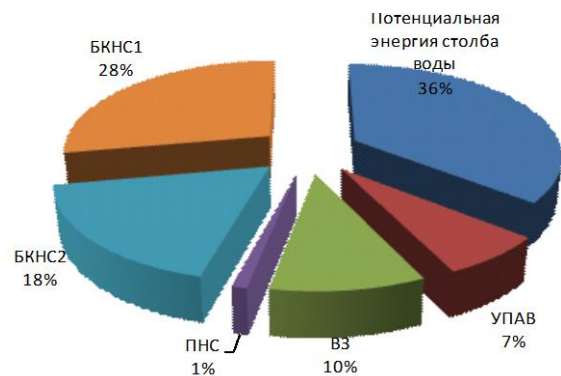
$\eta_{\text{э}}$ - КПД электродвигателя;

$\eta_{\text{н}}$ - КПД насоса.

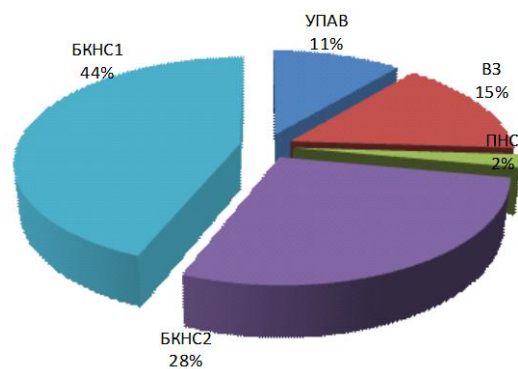
Система ППД рассмотренного промысла содержит в себе 25 кустовых площадок с

74 нагнетательными скважинами, 2 БКНС с 8 насосами, около 90 км низконапорных и 112 км высоконапорных водоводов, подающих воду по 5 направлениям закачки - около 26000 м³/сут.

На месторождении электроэнергия используется на привод скважинных насосов водозаборов (ВЗ) добычи артезианской воды [9], насосов установки подогрева артезианской воды (УПАВ) для наземной перекачки от водозаборов до БКНС на расстояние около 40 км, подпорных и основных насосов блочной кустовой насосной станции. Кроме того в систему ППД поступает статическая энергия столба воды в насосно-компрессорных трубах нагнетательных скважин (рисунок 3, а).



а)



б)

а) полный баланс

б) баланс электрической энергии

Рисунок 3. Структура приходной части баланса энергии в системе ППД

Принимая во внимание тот факт, что энергетическая эффективность системы ППД сводится к снижению потребления исключительно электрической энергии [7, 12], особенно интересной является структура приходной части только электроэнергии (рисунок 3, б).

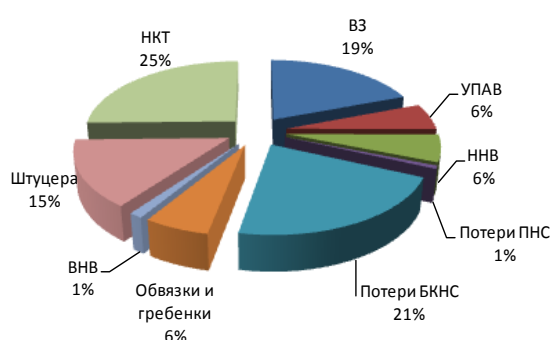
Расходная часть энергобаланса в системе ППД приведена в таблице 1 и на рисунке 4. Из процедуры ранжирования мест возникновения затрат и потерь электроэнергии в системе ППД были исключены затраты энергии на преодоление гидравлического сопро-

тивления пластовых элементов - забоев нагнетательных и добывающих скважин и непосредственно продуктивного пласта, как наиболее сложно и неоднозначно отзывающегося на внешнее воздействие [13, 14] (рисунок 5).

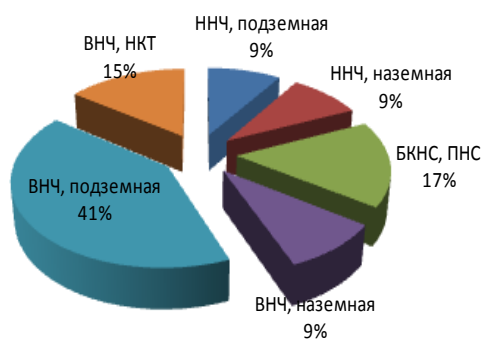
По результатам анализа структуры энергетического баланса - приходной и расходной его составляющих - была идентифицирована иерархия по взаимному влиянию подсистем в многоуровневой сложной системе ППД заводнением (рисунок 6).

Таблица 1. Расходная часть энергобаланса в системе ППД

№	Направление расходования энергии	Доля, %	№	Направление расходования энергии	Доля, %
	НИЗКОНАПОРНАЯ ЧАСТЬ		10	потери на насосах БКНС-1	6,28
	<i>Подземная часть</i>		11	потери на насосах БКНС-2	6,34
1	потери на насосах ВЗ	5,83	12	гребенка БКНС	3,13
2	подъем артезианской воды	3,38			
	<i>Наземная часть</i>			ВЫСОКОНАПОРНАЯ ЧАСТЬ	
3	выкидные линии водозаборов	2,15		<i>Наземная часть</i>	
4	ННВ от УПАВ до УПН-1	3,48	13	ВНВ	0,72
5	ТОА УПАВ	0,03	14	штуцера нагнет. скважин	6,77
6	обвязка на УПАВ	0,02	15	штуцера нефтесборов	1,78
7	потери на насосах УПАВ	3,35		<i>Подземная часть</i>	
	НАСОСНЫЙ БЛОК		16	НКТ нагнетательных скважин	14,89
	<i>Наземная часть</i>		17	забой нагнетательных скважин	23,35
8	потери на насосах ПНС	0,39	18	продуктивный пласт	2,55
9	обвязка между ПНС и БКНС	0,33	19	забой добывающих скважин	15,22
				ВСЕГО	100,00



а)



б)

а) расход энергии (кроме пластовых компонентов);
б) укрупненный энергобаланс по напору в системе

Рисунок 4. Структура расходной части энергобаланса в системе ППД по месту возникновения затрат

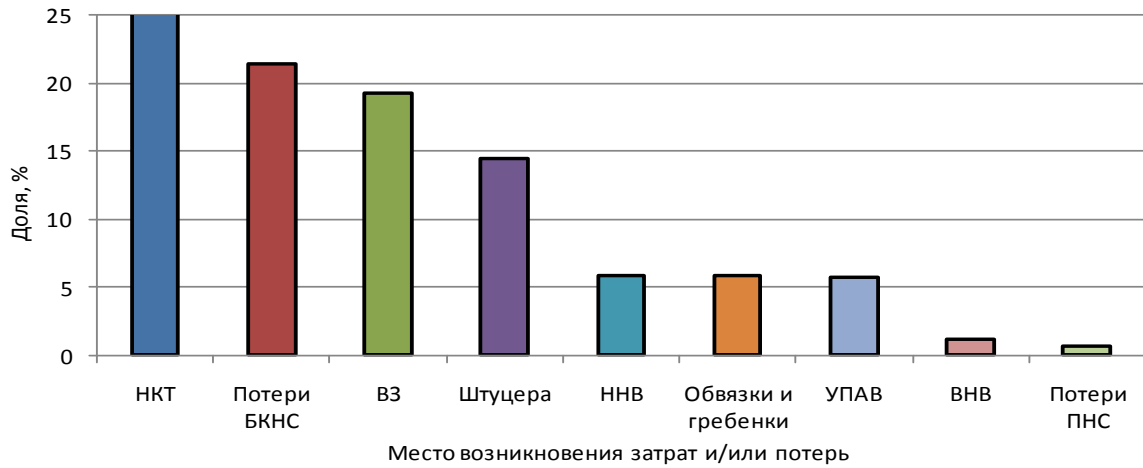


Рисунок 5. Ранжирование мест возникновения затрат и/или потерь электроэнергии в системе ППД

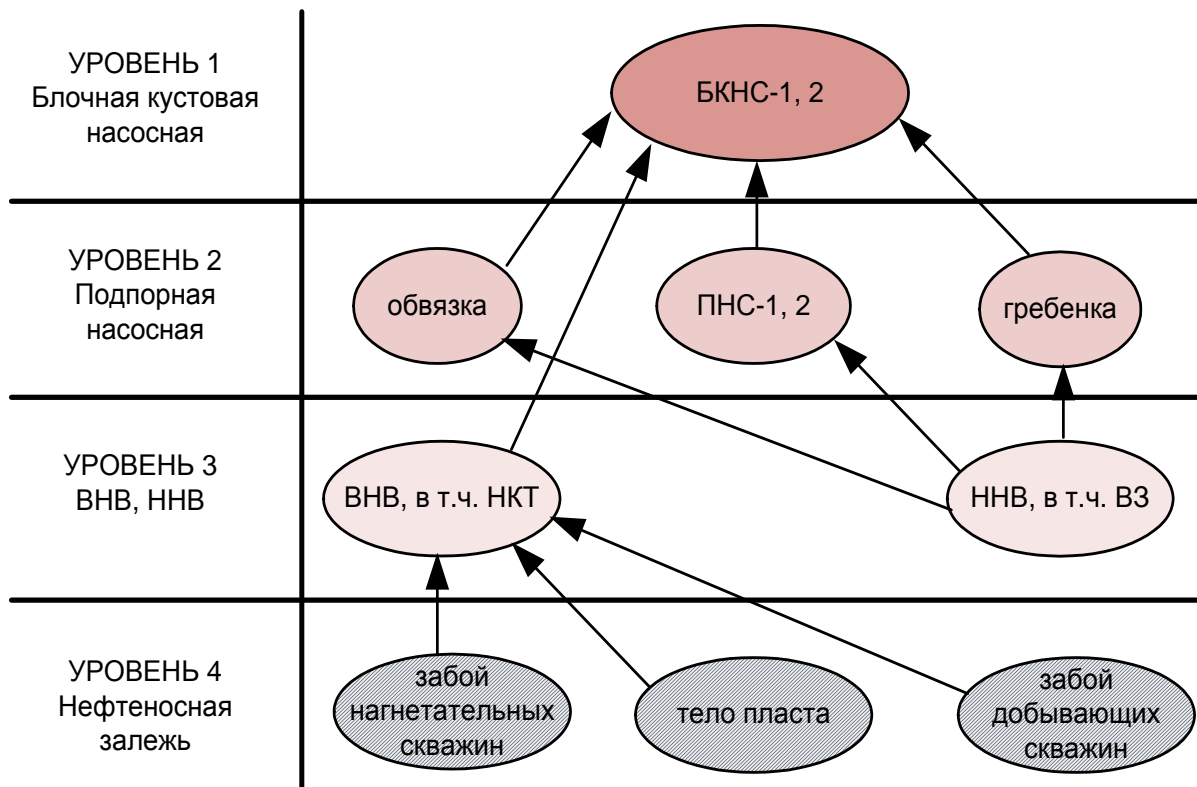


Рисунок 6. Многоуровневая связанная структура системы ППД

Для количественного анализа системы ППД с использованием частных и обобщенных показателей авторами [15] рекомендован метод векторной оптимизации с формированием множества Парето подсистем системы ППД. Из перечня подсистем для анализа были исключены штуцеры нагнетательных скважин, обвязки и гребенки насосного оборудования. Чередование их состояний «открыт / закрыт» определяется только технологическим режимом заводнения пласта в соответствии с заданием предприятию по добыче жидкости и имеет смысл не потерь, а неизбежных затрат на регулирование.

В качестве частных показателей энергоэффективности подсистем рекомендуются Π_1 - Π_4 (таблица 2):

- Π_1 - доля суммарных затрат электроэнергии при эксплуатации;
- Π_2 - доля сверхнормативных потерь;
- Π_3 - срок окупаемости энергосберегающего мероприятия [16];

- Π_4 - удельные дополнительные затраты на реализацию энергосберегающего мероприятия руб./($\text{kBт}\cdot\text{ч}$).

На основе оперативных данных эксплуатации технологических комплексов месторождения определены абсолютные и нормализованные значения частных показателей энергоэффективности подсистем (таблица 2).

Обобщенным показателем качества j -ой подсистемы будем считать 4-мерный вектор $\Pi^j = \Pi^j(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4)$, компонентами которого являются Π_1 - Π_4 - частные показатели отдельных свойств подсистем системы ППД.

Для идентификации наиболее значимых подсистем с точки зрения повышения энергетической эффективности системы ППД в 4-мерном пространстве частных признаков предварительно рекомендуется ранжирование подсистем построением множества Парето (таблица 3).

Таблица 2. Значения частных показателей эксплуатации подсистем системы ППД

№	Наименование подсистемы, S_j	Абсолютные значения частных показателей				Нормализованные значения частных показателей			
		Π_1	Π_2	Π_3	Π_4	$\overline{\Pi}_1$	$\overline{\Pi}_2$	$\overline{\Pi}_3$	$\overline{\Pi}_4$
1	НКТ	0,0395	0,50	3,95	23,69	0,0141	0,1818	0,0452	0,0453
2	Потери БКНС	0,0467	0,02	0,29	0,09	0,0166	0,0073	0,0033	0,0002
3	ВЗ	0,0518	0,50	0,30	1,81	0,0185	0,1818	0,0034	0,0035
4	ННВ	0,1692	0,50	21,03	126,20	0,0603	0,1818	0,2407	0,2413
5	Потери УПАВ	0,1732	0,58	0,17	1,10	0,0617	0,2109	0,0019	0,0021
6	ВНВ	0,8178	0,50	61,53	369,16	0,2912	0,1818	0,7042	0,7057
7	Потери ПНС	1,5097	0,15	0,10	1,03	0,5377	0,0545	0,0011	0,0020
	СУММА	2,8079	2,75	87,37	523,08	1,0	1,0	1,0	1,0
	Коэффициенты важности критериев, λ_i	0,20	0,30	0,15	0,35				

Таблица 3. Реализация процедуры построения множества Парето

	Подсистемы, S_j	Π_1	Π_2	Π_3	Π_4	Шаг	Состав множества Парето
1	НКТ	0,0141	0,1818	0,0452	0,0453	1	1
2	Потери БКНС	0,0166	0,0073	0,0033	0,0002	2	1, 2
3	ВЗ	0,0185	0,1818	0,0034	0,0035	3	1, 2
4	ННВ	0,0603	0,1818	0,2407	0,2413	4	1, 2
5	Потери УПАВ	0,0617	0,2109	0,0019	0,0021	5	1, 2, 5
6	ВНВ	0,2912	0,1818	0,7042	0,7057	6	1, 2, 5
7	Потери ПНС	0,5377	0,0545	0,0011	0,0020	7	1, 2, 5, 7

Построение множества Парето с помощью пошагового алгоритма исключило подсистемы: 3 «ВЗ», 4 «ННВ» и 6 «ВНВ» как априори неперспективные и идентифицировало 4 подсистемы: 1 «НКТ», 2 «Потери БКНС», 5 «Потери УПАВ» и 7 «Потери ПНС» как Парето-предпочтительные для повышения энергетической эффективности системы ППД.

Дальнейшее сужение множества Парето выполнено понижением размерности поставленной задачи сверткой векторного 4-мерного пространства частных признаков в скалярный совокупный критерий.

Допустимость скаляризации сверткой обоснована однородностью частных признаков анализа - признаки Π_1 - Π_4 относятся к одному классу показателей - ресурсоемкость процесса.

Принимая во внимание специфику поставленной задачи, реализована аддитивная свертка с учетом значений коэффициентов важности частных признаков λ_i , определенных на основе экспертных оценок (таблица 2):

$$\lambda_i = \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4; \sum_{i=1}^4 \lambda_i = 1.$$

Результаты аддитивной свертки векторов Π^j частных показателей подсистем в обобщенный скалярный критерий в виде суммы взвешенных нормализованных частных критериев по подсистемам имеют вид:

$$S_j = \sum_{i=1}^4 (\lambda_i \times \overline{\Pi_i}),$$

где S_j - скалярный критерий для j-ой подсистемы системы ППД (рисунок 7).

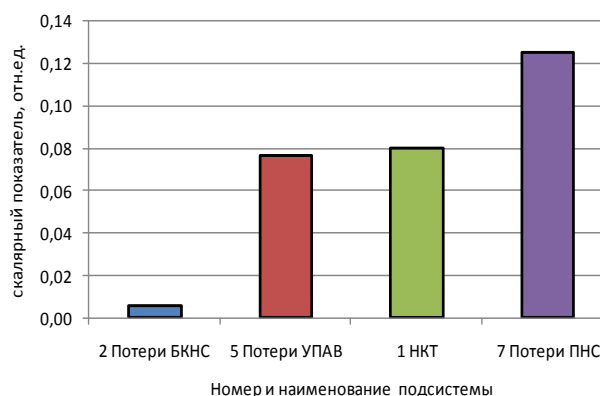


Рисунок 7. Ранжирование Парето-предпочтительных подсистем по результатам скаляризации вектора частных признаков

Минимальное значение скалярного обобщенного критерия на рисунке 7 соответствует наиболее приоритетной подсистеме системы ППД с точки зрения повышения энергетической эффективности - «Потери на насосах БКНС», что коррелирует с принадлежностью насосных блоков к 1 уровню иерархии многоуровневой структуры системы ППД на рисунке 6.

Выводы

1. Разработана структура энергопотребления подсистемами системы заводнения продуктивных пластов нефтегазового месторождения. Показано, что потери в наземных насосах - 28 % - составляют основную долю расходной части энергобаланса.

2. Систематизация внутренних связей подсистем определила многоуровневый иерархический облик структуры системы ППД. Показано, что к 1 уровню относятся насосные БКНС, в которых фактические потери превышают нормативные на 2,5 %.

3. Сформировано множество Парето-оптимальных подсистем на основе 4-мерного вектора частных признаков.

Сужение множества достигнуто аддитивной сверткой.

В результате скаляризации вектора частных признаков показано, что насосная БКНС промысла является объектом первого уровня предпочтения для инвестирования мероприятий по снижению удельных затрат электроэнергии на заводнение продуктивных пластов месторождения.

Список литературы

1. Байков И.Р., Китаев С.В., Зуев А.С., Старостин В.В. Энергосбережение при эксплуатации фонда центробежных электронасосов на нефтяных промыслах // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2011. № 4. С. 23-26.
2. Зейгман Ю.В. Эксплуатация систем ППД при разработке нефтяных месторождений. Уфа: Нефтегазовое дело, 2007. 232 с.
3. Зейгман Ю.В., Мухаметшин В.В. Выбор расстояний между скважинами для повышения эффективности заводнения по залежам в терригенных коллекторах // Современные технологии в нефтегазовом деле - 2011: сб. науч. тр. 2011. С. 112-116.
4. Байков И.Р., Валиева Л.Р., Генералов И.В. Моделирование эволюций разработки нефтяного месторождения // Известия вузов «Нефть и газ». 1991. № 3. С. 39-42.
5. Костарева С.Н., Смородова О.В. Оптимизация трубопроводной системы поддержания пластового давления // Трубопроводный транспорт - 2010: матер. VI Междунар. учеб.-науч.-практ. конф. 2010. С. 220-228.
6. Смородова О.В., Байков И.Р., Китаев С.В. Повышение полноты использования топливно-сырьевых ресурсов нефтегазовых месторождений // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2017. № 3. С. 40-54. URL: http://ogbus.ru/issues/3_2017/ogbus_3_2017_p40-54_SmorodovaOV_ru.pdf (дата обращения: 10.05.2018).
7. Костарева С.Н., Смородова О.В. Энергетическая эффективность систем поддержания пластового давления // Трубопроводный транспорт - 2012: матер. VIII междунар. учеб.-науч.-практ. конф. 2012. С. 387-389.
8. Альмухаметова Э.М., Габдрахманов Н.Х., Альмухаметов Ф.Ф., Габзалилова А.Х., Петрова Л.В., Гарифуллина З.А. Эффективность применения греющего кабеля в условиях Ванкорского месторождения // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. Вып. 2 (104). С. 9-17. URL:

References

1. Baykov I.R., Kitayev S.V., Zuyev A.S., Starostin V.V. *Energoberezheniye pri ekspluatatsii fonda tsentrobezhnykh elektronasosov na neftyanykh promyslakh* [Energy Saving in the Operation of the Fund of Centrifugal Electric Pumps in Oilfields]. *Transport i khraneniye nefteproduktov i uglevodородного syr'ya - Transport and Storage of Oil Products and Hydrocarbon Raw Materials*, 2011, No. 4, pp. 23-26. [in Russian].
2. Zeygman Yu.V. *Ekspluatatsiya sistem PPD pri razrabotke neftyanykh mestorozhdeniy* [Exploitation of the Waterflooding Systems for the Development of Oilfields]. Ufa, Neftgazovoye delo Publ., 2007. 232 p. [in Russian].
3. Zeygman Yu.V., Mukhametshin V.V. *Vybor rasstoyaniy mezhdru skvazhinami dlya povysheniya effektivnosti zavodneniya po zalezham v terrigennykh kolektorakh* [Choosing the Distances between the Wells to Increase the Efficiency of Waterflooding in Deposits in Terrigenous Reservoirs]. *Sbornik nauchnykh trudov «Sovremennyye tekhnologii v neftegazovom dele - 2011»* [Collection of Scientific Works «Modern Technologies in Oil and Gas Business - 2011»]. 2011, pp. 112-116. [in Russian].
4. Baykov I.R., Valiyeva L.R., Generalov I.V. *Modelirovaniye evolyutsiy razrabotki neftyanogo mestorozhdeniya* [Modeling the Evolution of Oil Field Development]. *Izvestiya vuzov «Nef' i gaz» - News of Higher Educational Institutions «Oil and Gas»*, 1991, No. 3, pp. 39-42. [in Russian].
5. Kostareva S.N., Smorodova O.V. *Optimizatsiya truboprovodnoy sistemy podderzhaniya plastovogo davleniya* [Optimization of the Pipeline System to Maintain Reservoir Pressure]. *Materialy VI Mezhdunarodnoy uchebno-nauchno-prakticheskoy konferentsii «Truboprovodnyy transport - 2010»* [Proceedings of the VI International Training, Scientific and Practical Conference «Pipeline Transport - 2010»]. 2010, pp. 220-228. [in Russian].
6. Smorodova O.V., Baykov I.R., Kitayev S.V. *Povysheniye polnoty ispol'zovaniya toplivno-syr'yevykh resursov neftegazovykh mestorozhdeniy* [Increase in the Fullness of Use of Fuel and Raw Materials Resources of Oil and Gas Deposits]. *Elektronnyy nauchnyy zhurnal «Neftegazovoye delo»*

http://elibrary.ru/download/elibrary_26538785_84379861.pdf (дата обращения: 10.05.2018).

9. Байков И.Р., Кузнецова М.И., Китаев С.В., Колотилов Ю.В. Повышение работоспособности нефтепромысловых трубопроводов методом санации полимерными материалами // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2016. № 7. С. 39-44.

10. Ведерников Ю.В., Матросов В.В. Системный анализ. Взгляд в прошлое и настоящее // Информационно-управляющие системы. 2007. № 4. С. 55-57. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/sistemnyy-analiz-vzglyad-na-proshloe-i-nastoyashee> (дата обращения: 10.05.2018).

11. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1968. 356 с.

12. Баталов Д.А., Мухаметшин В.В., Андреев В.Е., Дубинский Г.С. Прогнозирование применения нестационарного заводнения // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. № 4 (106). С. 67-73.

13. Стабинскас А.П. Оценка эффективности работы скважин после проведения гидравлического разрыва пласта // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2014. Вып. 1 (95). С. 10-20. URL: http://elibrary.ru/download/elibrary_21597095_42026193.pdf (дата обращения: 10.05.2018).

14. Зейгман Ю.В., Сергеев В.В., Аюпов Р.Р. Классификация физико-химических методов интенсификации добычи нефти по механизму воздействия на пластовую систему // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2017. № 1. С. 50-53.

15. Тарасенко Ф.П. Прикладной системный анализ. М.: КНОРУС, 2010. 219 с. URL: http://portal.tpu.ru/departments/kafedra/ates/files/Tab/tarasenko_Kniga.pdf (дата обращения: 10.05.2018).

16. Антипов В.А., Сидоров Г.М. К вопросу об импортозамещении при обустройстве нового месторождения // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Вып. 1 (107). С. 38-47.

- *Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2017, No. 3, pp. 40-54. Available at: http://ogbus.ru/issues/3_2017/ogbus_3_2017_p40-54_SmorodovaOV_ru.pdf (accessed 10.05.2018). [in Russian].

7. Kostareva S.N., Smorodova O.V. *Energeticheskaya effektivnost' sistem podderzhaniya plastovogo davleniya* [Energy Efficiency of Reservoir Pressure Maintenance Systems]. *Materialy VIII Mezhdunarodnoy uchebno-nauchno-prakticheskoy konferentsii «Truboprovodnyy transport - 2012»* [Proceedings of the VIII International Training, Scientific and Practical Conference «Pipeline Transport - 2012»]. 2012, pp. 387-389. [in Russian].

8. Almukhametova E.M., Gabdrakhmanov N.Kh., Almukhametov F.F., Gabzalilova A.Kh., Petrova L.V., Garifullina Z.A. *Effektivnost' primeneniya greyushchego kabelya v usloviyakh Vankorskogo mestorozhdeniya* [Effectiveness of Heating Cable Used under Vankor Field Conditions]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefiti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2016, Issue 2 (104), pp. 9-17. Available at: http://elibrary.ru/download/elibrary_26538785_84379861.pdf (accessed 10.05.2018). [in Russian].

9. Baykov I.R., Kuznetsova M.I., Kitayev S.V., Kolotilov Yu.V. *Povysheniye rabotosposobnosti neftepromyslovykh truboprovodov metodom sanatsii polimernymi materialami* [Increase of the Working Capacity of Oilfield Pipelines by the Method of Sanitation with Polymeric Materials]. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik - All Materials. Encyclopedic Reference Book*, 2016, No. 7, pp. 39-44. [in Russian].

10. Vedernikov Yu.V., Matrosov V.V. *Sistemnyy analiz. Vzglyad v proshloye i nastoyashcheye* [System Analysis. A Glance into the Past and the Present]. *Informatsionno-upravlyayushchiye sistemy - Information-Control Systems*, 2007, No. 4, pp. 55-57. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/sistemnyy-analiz-vzglyad-na-proshloe-i-nastoyashee> (accessed 10.05.2018). [in Russian].

11. Buslenko N.P. *Modelirovaniye slozhnykh sistem* [Modeling of Complex Systems]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 356 p. [in Russian].

12. Batalov D.A., Mukhametshin V.V., Andreyev V.Ye., Dubinskiy G.S. *Prognozirovaniye primeneniya nestatsionarnogo zavodneniya* [Estimation of Non-Stationary Flooding Application]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefiti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2016, Issue 4 (106), pp. 67-73. [in Russian].

13. Stabinskask A.P. *Otsenka effektivnosti raboty skvazhin posle provedeniya gidravlicheskogo razryva plasta* [Efficiency Estimation of Oil Well after Hydraulic Fracturing Treatment]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefiti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2014, Issue 1 (95), pp. 10-20. Available at: http://elibrary.ru/download/elibrary_21597095_42026193.pdf (accessed 10.05.2018). [in Russian].

14. Zeygman Yu.V., Sergeev V.V., Ayupov R.R. *Klassifikatsiya fiziko-khimicheskikh metodov intensivatsii dobychi nefiti po mekhanizmu*

vozdeystviya na plastovuyu sistemu [Classification of Physico-Chemical Methods of Oil Production Intensification by the Mechanism of Influence on the Formation System]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy - Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2017, No. 1, pp. 50-53. [in Russian].

15. Tarasenko F.P. *Prikladnoy sistemnyy analiz [Applied System Analysis]*. Moscow, KNORUS Publ., 2010. 219 p. Available at: http://portal.tpu.ru/departments/kafedra/ates/files/Tab/tarasenko_Kniga.pdf (accessed 10.05.2018). [in Russian].

16. Antipov V.A., Sidorov G.M. K voprosu ob importozameshchenii pri obustroytve novogo mestorozhdeniya [On the Issue of Import Substitution in Construction of a New Oil Field]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2017, Issue 1 (107), pp. 38-47. [in Russian].

Авторы

• Байков Игорь Равильевич, д-р техн. наук, профессор
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
тел. (347) 243-20-79
e-mail: pte@rusoil.net

• Смородова Ольга Викторовна, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
тел. (347) 243-12-11
e-mail: olga_smorodova@mail.ru

• Китаев Сергей Владимирович, д-р техн. наук
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Профессор кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: svkitaev@mail.ru

• Кашапова Диля Дамировна
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Магистрант кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1

The Authors

• Baikov Igor R., Doctor of Engineering Sciences, Professor
Ufa State Petroleum Technological University
Head of Industrial Heat and Power Engineering Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
tel: (347) 243-20-79
e-mail: pte@rusoil.net

• Smorodova Olga V., Candidate of Engineering Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Industrial Heat and Power Engineering Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
tel: (347) 243-12-11
e-mail: olga_smorodova@mail.ru

• Kitaev Sergey V., Doctor of Engineering Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Professor of Transport and Storage of Oil and Gas Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: svkitaev@mail.ru

• Kashapova Dilya D.
Ufa State Petroleum Technological University
Undergraduate Student of Transport and Storage of Oil and Gas Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation