

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ДОБЫЧИ НЕФТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

WAYS TO IMPROVE THE ENERGY EFFICIENCY OF ELECTRIC SUBMERSIBLE PUMP UNITS FOR OIL PRODUCTION USING DIGITAL TWINS

Д. С. Архипов

Dmitry S. Arkhipov

ООО «РН-БашНИПИнефть»,
г. Уфа, Российская Федерация

RN-BashNIPIneft LLC,
Ufa, Russian Federation

Б. М. Латыпов

Bulat M. Latypov

ООО «РН-БашНИПИнефть»,
г. Уфа, Российская Федерация

RN-BashNIPIneft LLC,
Ufa, Russian Federation

Д. В. Сильнов

Denis V. Silnov

ООО «РН-БашНИПИнефть»,
г. Уфа, Российская Федерация

RN-BashNIPIneft LLC,
Ufa, Russian Federation

Р. М. Еникеев

Ruslan M. Enikeev

ПАО «АНК «Башнефть»,
г. Уфа, Российская Федерация

ANK Bashneft PJSC,
Ufa, Russian Federation

А. В. Пензин

Aleksey V. Penzin

ООО «Башнефть-Добыча»,
г. Уфа, Российская Федерация

Bashneft-Dobycha LLC,
Ufa, Russian Federation

Л. В. Валиахметов

Linar V. Valiakhmetov

ООО «Башнефть-Добыча»,
г. Уфа, Российская Федерация

Bashneft-Dobycha LLC,
Ufa, Russian Federation

Расходы на электрическую энергию при добыче углеводородного сырья в нефтегазодобывающих предприятиях в среднем достигают 35 % от общей суммы затрат. Традиционно повышение энергоэффективности технологического процесса добычи углеводородного сырья может быть достигнуто путем совершенствования схем электроснабжения, улучшения их энергетических параметров. В последнее время появляются инновационные методы повышения энергоэффективности, базирующиеся на применении цифровых технологий и позволяющие проводить оперативное управление режимом работы оборудования в нефтегазодобыче.

Одним из способов повышения энергоэффективности эксплуатации добывающих скважин является применение системы поддержки принятия решений. Рекомендации выдаются на основании расчетов, выполненных с помощью цифрового двойника установки электроцентробежных насосов. Цифровой двойник содержит модель элементов скважины и глубинно-насосного оборудования, алгоритмы адаптации на данные промысловых замеров и алгоритмы прогнозирования работы скважины и оборудования. Моделирование режима работы установки электроцентробежного насоса выполняется по данным, получаемым от замерных установок и датчиков.

Целью данной работы является оценка потенциала энергосберегающего эффекта за счёт применения цифрового двойника установок электроцентробежных насосов. Предложена реализация концепции энергосберегающего потенциала.

The cost of electric energy in the production of hydrocarbons in oil and gas companies on average reaches 35 % of the total cost. Traditionally, increasing the energy efficiency of the technological process of hydrocarbon production can be achieved by improving power supply schemes and improving their energy parameters. Recently, there have been innovative methods for increasing energy efficiency, based on the use of digital technologies and allowing for operational management of equipment operation in oil and gas production.

Ключевые слова

электроцентробежный насос;
цифровой двойник;
вывод скважины на режим;
потери мощности;
энергетическая эффективность

Key words

electric submersible pump;
digital twin; bringing well
on to stable production;
loss of power; energy efficiency

One of the ways to increase the energy efficiency of producing wells is to use a decision support system. Recommendations are issued based on calculations made using the digital twin of the electric submersible pump unit. The digital twin contains a model of well elements and deep-pumping equipment, algorithms for adaptation to field measurement data, and algorithms for predicting the operation of the well and equipment. Simulation of the operation mode of the electric submersible pump unit performed based on data received from measuring units and sensors.

The purpose of this work is to assess the potential for energy-saving effect due to the use of a digital twin of electric submersible pump units. The implementation of the concept of energy-saving potential is proposed.

Введение

Вопросы энергосбережения и повышения энергоэффективности предприятий в последние годы звучат повсеместно. В нефтедобывающей отрасли затраты на электроэнергию формируют существенную часть себестоимости продукции. При этом до 70 % электроэнергии приходится на механизированную добычу. Таким образом, первоочередной задачей при повышении энергоэффективности является управление энергосбережением в рамках процессов механизированной добычи [1].

К существующим способам повышения энергоэффективности добычи нефти относят:

- применение энергоэффективного оборудования;
- подбор оборудования, оптимального под целевые уровни добычи;
- оптимизацию режима работы оборудования и скважины.

Информационные технологии (ИТ) применяются уже повсеместно практически во всех производственных процессах на всех стадиях от геологоразведки до переработки нефти. Применение цифровых технологий позволяет улучшать показатели разработки и эксплуатации месторождений, в т.ч. по эффективности, повышать темпы добычи, снижать издержки на всех стадиях нефтяного цикла.

Развитие концепции «цифрового месторождения» (ЦМ) началось с появления умных скважин, оснащенных различными датчиками, позволяющими осуществлять мониторинг и контроль состояния объекта, и исполнительными механизмами для удаленного управления. Для реализации концепции ЦМ необходимо создать модель, в которой будут учтены как геологические и гидродинамические параметры месторождения, так и оборудование механизированной добычи, система сбора, транспортировки и подготовки нефти и газа.

Анализ мирового опыта применяемых технологий в нефтегазодобывающих компаниях показывает большую активность в направлении разработки и внедрения технологии «цифрового месторождения» [2]. Перечень известных программ по направлению «Технология интеллектуализации месторождения», реализованных в зарубежных компаниях, приведен в таблице 1 [2]. В каждой из них существенное внимание уделяется вопросам энергосбережения.

Цифровые решения внедряются и в нефтегазодобывающих компаниях России. Одним из лидеров в этом является компания ПАО АНК «Башнефть», в которой реализуется проект «Цифровое месторождение». Целью проекта является внедрение современных

Таблица 1. Технологии по интеллектуализации месторождения/скважины

Разработчик	Технология
Shell	Smart Field — «Умное месторождение»
BP	Field of Future — «Месторождение будущего»
Chevron	i-Field — «Интеллектуальное месторождение»
Schlumberger	Smart Wells — «Умные скважины»
Petoro	Smart Operations — «Умная эксплуатация»
Statoil Hydro, OLF	Integrated Operations — «Интегрированная эксплуатация»
Halliburton	Real Time Operations — «Управление в режиме реального времени»
CERA	Digital Oil Field of Future (DOFF) — «Цифровое нефтяное месторождение будущего»
Cap Gemini	Intelligent Field Optimization and Remote Management (INFORM) — «Оптимизация и удаленное управление месторождением»

цифровых технологий в основные и наиболее ресурсоёмкие бизнес-процессы компании. В рамках проекта «Цифровое месторождение» решаются задачи получения, обработки и анализа большого объема получаемой информации, оперативного мониторинга и управления добычей, разработки мероприятий для увеличения технологических и экономических показателей (уровней добычи, коэффициента извлечения нефти, операционных затрат и т.д.), моделирования различных сценариев управления разработкой месторождения и эксплуатацией ее инфраструктуры. Разрабатываемые решения осуществляют сопровождение принятия управляющих решений на всех этапах — от получения данных, их последующего анализа, проведения моделирования с использованием цифровых двойников и до формирования и дальнейшей реализации управленческих решений. В результате внедрения результатов проекта предполагается обеспечить, в том числе, повышение энергоэффективности производства.

Одним из направлений цифровизации в ПАО АНК «Башнефть» является развитие ИТ-инструментария, применяемого при эксплуатации механизированного фонда и, в том числе, скважин, оснащенных установками электроцентробежных насосов (УЭЦН). Основными преимуществами УЭЦН являются широкий модельный ряд и возможность создания высокой депрессии за счет высоких напоров и больших глубин спуска. Кроме того, работа УЭЦН достаточно легко поддается автоматизации и телеуправлению. Доля скважин, оборудованных УЭЦН, в ПАО АНК «Башнефть» составляет около 25 %. Поэтому повышение энергоэффективности даже в этой отдельной области окажет существенное влияние на общие показатели.

Частным способом повышения энергоэффективности эксплуатации скважин является оптимизация режимов работы глубинно-насосного оборудования, обеспечивающая работу УЭЦН в пределах рабочей части характеристик. Для определения таких режимов и обеспечения работы УЭЦН необходимо повсеместное внедрение современных цифровых технологий, методик оценки энергоэффективности работы погружного электродвигателя (ПЭД) и алгоритмов по оптимизации режимов работы электромеханических систем.

Так, одним из способов оптимизации работы УЭЦН является использование инновационных технологий в области энергоэффе-

тивности нефтедобычи, в том числе применение цифровых двойников.

Цифровой двойник УЭЦН включает в себя:

- математическую модель системы «пласт – скважина – насос», позволяющую адаптироваться на фактические замеры и оптимизировать технологические параметры скважины и оборудования при постоянном и периодическом режимах эксплуатации [3–5];
- параметры настройки модели (коэффициент продуктивности, коэффициент деградации напора и мощности электроцентробежного насоса и другие);
- алгоритмы адаптации на замерные значения;
- алгоритмы обработки данных (удаление выбросов, сглаживание и экстраполяция);
- алгоритмы прогноза режима работы скважины, в том числе определение возможности достижения целевых параметров после смены насосного оборудования, расчет оптимального дизайна работы УЭЦН.

Для описания притока флюида из пласта в цифровом двойнике используется аналитическая корреляция Вогеля для известного пластового давления и переменного коэффициента продуктивности [4].

Для описания течения многофазного потока в скважине используется квазистационарная модель [5].

Для моделирования работы ЭЦН и ПЭД используются их паспортные характеристики, позволяющие связать расход жидкости через насос с напором и коэффициентом полезного действия (КПД) ЭЦН, а потребляемую мощность ПЭД – с нагрузкой по току, КПД и скоростью вращения вала электродвигателя [3].

Концепция применения цифровых двойников в энергосбережении

В соответствии с требованиями ISO 50001 в компании ПАО АНК «Башнефть», как и по всей ПАО «НК «Роснефть», ежегодно формируется программа энергосбережения (ПЭС) на пятилетний период. Также ведется мониторинг выполнения текущих планов по достижению целевых показателей.

Поиск потенциала энергосбережения является наиболее интеллектуальным и трудоемким процессом в общем составлении программы энергосбережения. Цифровой двойник позволяет уменьшить в некоторой степени влияние человеческого фактора на конечный результат путем формализации экспертных компетенций в виде расчетного ИТ-инструмента.

При этом необходимо отметить, что цифровой двойник является инструментом производственной деятельности, он регулярно используется при анализе текущих показателей эксплуатации скважин, является важным элементом производственных процессов при решении актуальных каждодневных задач.

Цифровой двойник УЭЦН можно использовать для подбора целого ряда мероприятий ПЭС:

- реализация энергосберегающего потенциала на механизированном фонде скважин с помощью расчета коэффициента полезного действия элементов УЭЦН;
- перевод низкодебитного фонда на периодическую эксплуатацию;
- применение частотно-регулируемого электропривода в УЭЦН.

Технически цифровой двойник УЭЦН представляет собой программную реализацию системы математических уравнений скважины с насосной установкой, а также алгоритмы адаптации на замерные значения и алгоритмы прогноза режима работы скважины. Алгоритмы адаптации необходимы, чтобы расчетные значения показателей, определяемые с помощью цифрового двойника, динамика его поведения соответствовали актуальным значениям измеряемых показателей и динамике реального технологического объекта.

Модуль цифрового двойника в режиме «по умолчанию» проводит расчеты с подбором скважин-кандидатов для нескольких технологических мероприятий:

- изменения частоты вращения насоса;

- изменения режима периодической эксплуатации;
- смены насоса;
- изменения глубины спуска УЭЦН;
- включения скважины в осложненный фонд;
- изменения отпайки трансформатора для погружных электронасосов (ТМПН);
- замены штуцера.

Потенциал влияния цифрового двойника на энергосбережение оценивается как значительный, перечень вариантов влияния довольно обширен. Так, рекомендуемые алгоритмы, формирующиеся с использованием цифрового двойника, можно разделить на прямые и косвенные (рисунок 1).

Достоинства использования цифрового двойника для целей повышения энергоэффективности:

- постоянный 24/7 контроль оборудования, параметров работы;
- автоматический подбор мероприятия, обеспечивающего наибольшее изменение энергоэффективности;
- прогнозирование потребления электроэнергии;
- высокая скорость обработки информации и реагирования при возникновении событий.

Цифровой двойник дает возможность получения краткосрочного прогноза на сутки вперед с использованием однофакторных методов прогноза. Данные методики были разработаны на основе реальных исторических данных о потреблении электроэнергии скважинами ПАО АНК «Башнефть», оснащенными УЭЦН.

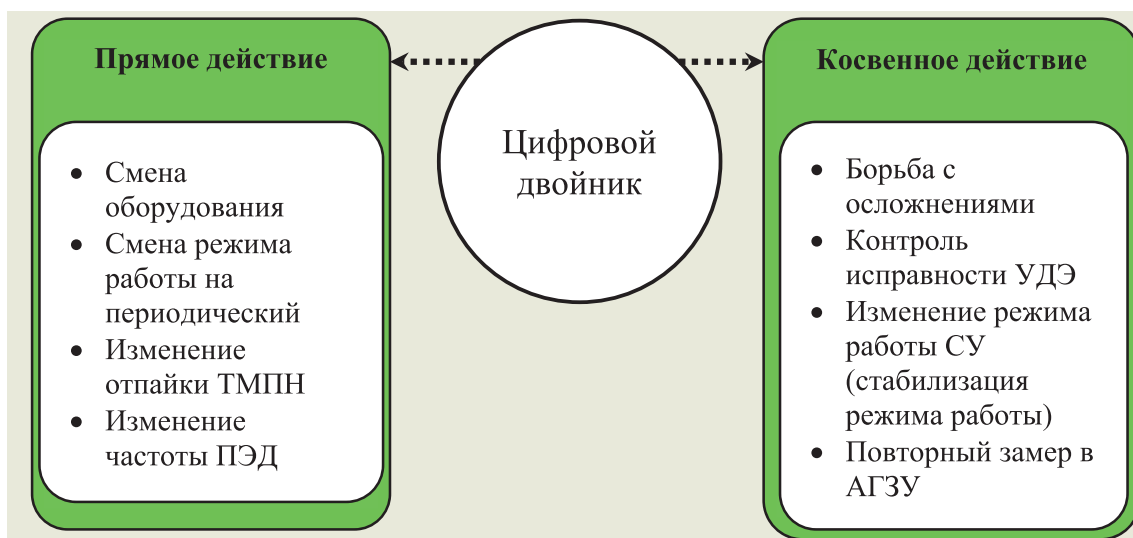


Рисунок 1. Направления влияния цифрового двойника на энергосбережение

Цифровой двойник обеспечивает высокую точность прогнозов для временных рядов, для которых четко соблюдается стабильность и периодичность поступления необходимых для расчетов данных, поступающих с измерительных устройств.

Также модель прогноза электроэнергии может статистически учитывать особенности технологического процесса, т.е. может осуществлять анализ и экстраполяцию показателей процессов нефтедобычи, которые происходили в прошлом, и таким образом формировать прогноз [6–8].

Примеры использования цифрового двойника

В связи с большим разнообразием используемого нефтедобывающего оборудования и условий добычи нефти на разных месторождениях оценка энергетической эффективности работы УЭЦН представляет сложную техническую задачу, требующую существенных трудозатрат.

Цифровой двойник с высокой периодичностью (периодичность зависит от дискретности поступающих данных и может составлять до 1 раза в минуту) осуществляет синхронизацию с реальными скважинами. Для этого он анализирует режим работы фонда скважин, параметры станции управления. Благодаря этому цифровой двойник является наиболее

эффективным инструментом для выявления изменений в системе, в том числе и критических, просчета возможных вариантов решения и формирования на их основе рекомендаций для производственного специалиста. Специалист благодаря наличию цифрового двойника может подключаться на заключительном этапе для анализа рекомендаций и принятия уже итогового управленческого решения. При этом рекомендация — это не только расчет потенциала и соответствующая рекомендация, но и подбор варианта для достижения этого потенциала, который может быть технически реализован. Таким образом, цифровой двойник помогает специалисту не только оперативно найти потенциал для повышения энергоэффективности, но и выдает конкретное предложение по оптимизации режима работы установки с подбором технологического мероприятия.

Для обеспечения анализа по одному из видов технологического мероприятия, которое может позволить снизить потери в УЭЦН, в цифровом двойнике реализован модуль расчета отпайки ТМПН. Пример интерфейса прототипа цифрового двойника УЭЦН для одной из скважин ООО «Башнефть-Добыча» показан на рисунке 2: система рекомендует произвести повышение напряжение отпайки ТМПН.

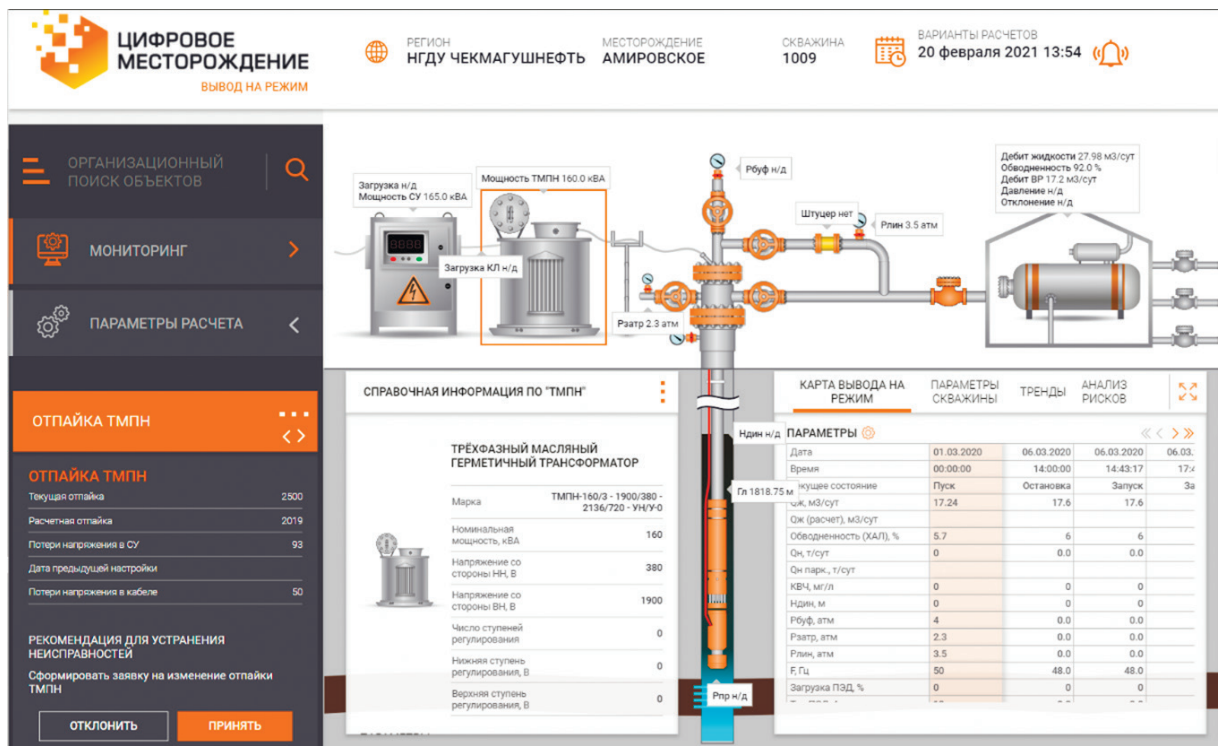


Рисунок 2. Пример интерфейса прототипа цифрового двойника для одной из скважин, оснащенных УЭЦН

Изменение отпайки на трансформаторах (ТМПН) используется для того, чтобы обеспечить энергоэффективный режим работы ПЭД при изменениях рабочих характеристик, в т.ч. частоты питающего напряжения. Подбор оптимального напряжения отпайки ТМПН обеспечивает минимизацию потерь в кабельной линии и выходном фильтре.

Изменение частоты ПЭД выполняется в станции управления, по линейной зависимости: $U/F = const$. Современные станции управления предоставляют возможность выставлять индивидуальные зависимости напряжения от частоты, что позволяет сохранять постоянный момент на валу электродвигателя. При этом цифровой двойник позволяет сформировать ре-

комендацию по выбору оптимальной отпайки ТМПН и частоты напряжения на каждой стадии работы ПЭД от момента запуска до выхода скважины на установившийся режим.

По фактическим данным, таким, как рабочий ток, напряжение отпайки ТМПН, коэффициент мощности и потребляемая мощность ПЭД цифровым двойником, производится расчет оптимального напряжения отпайки ТМПН обеспечивающего оптимальные параметры работы ПЭД в энергоэффективном режиме при минимальных потерях в кабельной линии. Оптимальное напряжение рассчитывается, исходя из значений о текущей нагрузке ПЭД. Примеры отдельных расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Примеры результатов отдельных расчетов

Скважина	Расчётные параметры		Фактические параметры		Экономия, %
	$P_{акт}$, кВт	W , кВт·ч	$P_{акт}$, кВт	W , кВт·ч	
ХХ44	40,8	979,2	42,1	1011	3,1
ХХ47	55,4	1331,6	57,0	1368	2,7
ХХ60	212,2	5091,1	216,5	5195	2,0
ХХ62	29,0	696,4	29,8	715	2,6
ХХ74	68,4	1641,6	70,6	1694	3,0
ХХ97	58,0	1392,0	60,4	1449	3,9
ХХ00Г	55,5	1332,0	57,0	1368	2,6

Как видно из анализа таблицы 2, изменение отпайки ТМПН приводит к потенциальной экономии электроэнергии до 4 %.

Также разработан алгоритм по прогнозированию эффекта ПЭС с ранжированием мероприятий. Алгоритм рассматривает и оценивает параметры работы скважин, при их изменении цифровой двойник рекомендует проведение технологических мероприятий с оценкой потенциального эффекта. И как результат, специалист получает из модуля список скважин-кандидатов с эффектом от планируемых мероприятий, ранжированный по эффекту с готовым дизайном скважинного оборудования. При этом дизайн рассчитан с учетом модельной кривой притока; РVT-свойств флюидов, значения газового фактора; конструкции скважины, искривления и локальных сужений ее ствола; геологических и технологических ограничений, а также других параметров.

Это дает возможность определить оптимальный дальнейший сценарий эксплуатации скважин и месторождений и, таким образом, оптимально управлять инфраструктурой месторождения с точки зрения энергосбережения.

Оценка технологического эффекта

Как уже было отмечено, внедрение цифрового двойника в производственную деятельность влечет за собой трансформацию бизнес-процесса. И, как любое изменение, оно должно быть оправданно, то есть оно должно положительно сказываться на эффективности деятельности предприятия. При этом эффект может проявляться не только от внедрения и использования непосредственно цифровой технологии, но и в виде изменения эффективности работы производственного персонала.

Для оценки эффекта от внедрения цифрового двойника в производственную деятельность были сформированы следующие ключевые показатели эффективности (КПЭ):

- *сокращение удельного потребления электроэнергии при механизированной добыче жидкости.* Эффект достигается за счет повышения оперативности реагирования на различные события;

- *увеличение количества мероприятий ПЭС.* Эффект достигается за счет увеличения количества рекомендаций для производственного персонала.

Потенциальное значение показателя по сокращению удельного потребления электроэ-

нергии при добыче жидкости составляет 1,7 %. Данный показатель был получен по результатам подконтрольной эксплуатации скважин месторождения. Для уточнения этого значения в рамках проекта реализуется важный этап по апробации разрабатываемых технологических решений на полигоне в промышленных условиях — на Илишевском месторождении.

Как уже отмечалось, современные технологии позволяют цифровым двойникам отражать поведение отдельных физических процессов в режиме реального времени или близком к нему в зависимости от сложности двойника. Например, цифровой двойник УЭЦН каждой отдельной скважины на нефтяном месторождении позволяет отслеживать ее работу в зависимости от различных внешних условий на протяжении всего периода эксплуатации УЭЦН. Предприятия могут не только напрямую влиять на свои операционные расходы энергоснабжения, затраты на гарантийную поддержку, техническое обслуживание и ремонт, увеличение эффективности эксплуатации, но и применять совершенно новые виды бизнес-деятельности, такие как, например, оперативное управление эффективностью, предиктивное реагирование, предиктивное планирование (например технического обслуживания оборудования).

Реализованные алгоритмы в цифровом двойнике позволяют проводить предиктивный расчет скважинного оборудования, в результате чего повышается эффективность работы глубинно-насосного оборудования, увеличивается количество и качество мероприятий программы энергосбережения. Благодаря этому возможно повышение общей энергоэффективности нефтедобывающего предприятия или минимизация рисков при обеспечении целевых показателей по энергосбережению.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ивановский В.Н., Сабиров А.А., Деговцов А.В., Донской Ю.А., Булат А.В., Зуев А.С., Якимов С.Б. Вопросы энергоэффективности установок электроприводных центробежных насосов // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2016. № 4. С. 25–30.
2. Козлова Д., Пигарев Д. Цифровая добыча нефти: тюнинг для отрасли. М.: VYGON Consulting, 2018. 61 с.
3. Топольников А.С. Применение методов математического моделирования при контроле и оптимизации нестационарного режима работы нефтяной скважины // Труды Института механики им.

Вывод

Современные цифровые технологии, использующие цифровые двойники, находят всё более широкое и глубокое применение в нефтегазовой отрасли, они позволяют повысить наукоёмкость и технологичность производственных процессов, более эффективно использовать инфраструктуру месторождения за счет своевременных оптимизационных мероприятий.

Внедрение современных цифровых технологий в компании ПАО АНК «Башнефть» и Компании в целом является важным элементом Стратегии «Роснефть 2022», прежде всего за счет применения апробированных цифровых решений.

Сотрудниками ООО «РН-БашНИПИнефть» разработан и успешно протестирован цифровой двойник УЭЦН. Он позволяет осуществлять сопровождение скважины на всем её жизненном цикле – проектирование с выбором оптимального дизайна, оперативный мониторинг и управление её режимами работы с планированием мероприятий ПЭС.

Также помимо использования цифровых двойников УЭЦН при управлении энергоэффективностью перспективным направлением является использование цифровых двойников для предиктивной аналитики по всей цепочке добычи нефти с учетом взаимодействия между всеми элементами производственной цепочки. Это позволит сформировать интегрированное решение, обеспечивающее оптимизацию не только в рамках отдельных технологических блоков, но всей инфраструктуры месторождения в целом. При этом потребуются формирование и внедрение решений, основанных на сквозных бизнес-процессах, а также обеспечение оптимизации в области управления производственными данными.

Р.Р. Мавлютова УНЦ РАН. 2016. Т. 11. № 1. С. 53–59. DOI: 10.21662/uim2016.1.008.

4. Волков М.Г. Оптимизация периодического режима эксплуатации малодебитных скважин // Нефтегазовое дело. 2017. Т. 15. № 1. С. 70–74.

5. Топольников А.С. Обоснование применения квазистационарной модели при описании периодического режима работы скважины // Труды Института механики им. Р.Р. Мавлютова УНЦ РАН. 2017. Т. 12. № 1. С. 15–26. DOI: 10.21662/uim2017.1.003.

6. Carvajal G., Mausec M., Cullick S. Intelligent Digital Oil and Gas Fields: Concepts, Collaboration, and Right-Time Decisions. Houston: Gulf Professional Publishing, 2018. 357 p.

7. Волков М.Г., Халфин Р.С., Брот А.Р., Топольников А.С., Латыпов Б.М., Тимашев Э.О. Методика расчета и подбора дизайнов установок винтовых насосов с погружным и поверхностным приводами для добычи нефти // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2018. № 6. С. 32–37. DOI: 10.30713/1999-6934-2018-6-32-37.

8. Волков М.Г. Использование методов теории автоматического управления для представления механизированной нефтесборной скважины как объекта управления // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Вып. 1 (107). С. 11–22.

REFERENCES

1. Ivanovskii V.N., Sabirov A.A., Degovtsov A.V., Donskoi Yu.A., Bulat A.V., Zuev A.S., Yakimov S.B. Voprosy energoeffektivnosti ustanovok elektroprivodnykh tsentrobezhnykh nasosov [Problems of Energy Efficiency of Electric-Driven Centrifugal Pumping Units]. *Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa — Equipment and Technologies for Oil and Gas Complex*, 2016, No. 4, pp. 25–30. [in Russian].

2. Kozlova D., Pigarev D. *Tsifrovaya dobycha nefii: tuning dlya otrasli* [Digital Oil Production: Tuning for the Industry]. Moscow, VYGON Consulting Publ., 2018. 61 p. [in Russian].

3. Topolnikov A.S. Primenenie metodov matematicheskogo modelirovaniya pri kontrole i optimizatsii nestatsionarnogo rezhima raboty neftyanoi skvazhiny [Application of Mathematical Modeling During Monitoring and Optimization of Non-Stationary Regime of Oil Well]. *Trudy Instituta mekhaniki im. R.R. Mavlyutova UNTs RAN—Proceedings of the Mavlyutov Institute of Mechanics*, 2016, Vol. 11, No. 1, pp. 53–59. DOI: 10.21662/uim2016.1.008. [in Russian].

4. Volkov M.G. Optimizatsiya periodicheskogo rezhima ekspluatatsii malodebitnykh skvazhin [Optimization of Low Productivity Wells Cyclic Operating]. *Neftegazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2017, Vol. 15, No. 1, pp. 70–74. [in Russian].

5. Topolnikov A.S. Obosnovanie primeneniya kvazistatsionarnoi modeli pri opisani periodicheskogo rezhima raboty skvazhiny [Argumentation of Application of Quasi-Stationary Model to Describe the Periodic Regime of Oil Well]. *Trudy Instituta mekhaniki im. R.R. Mavlyutova UNTs RAN—Proceedings of the Mavlyutov Institute of Mechanics*, 2017, Vol. 12, No. 1, pp. 15–26. DOI: 10.21662/uim2017.1.003. [in Russian].

6. Carvajal G., Mausec M., Cullick S. *Intelligent Digital Oil and Gas Fields: Concepts, Collaboration, and Right-Time Decisions*. Houston, Gulf Professional Publishing, 2018. 357 p.

7. Volkov M.G., Khalfin R.S., Brot A.R., Topolnikov A.S., Latypov B.M., Timashev E.O. Metodika rascheta i podbora dizainov ustanovok vintovykh nasosov s pogruzhnym i poverkhnostnym privodami dlya dobychi nefii [Method of Calculation and Selection of Designs Installations of PCP Pumps with Submersible and Surface Drive for Oil Production]. *Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa — Equipment and Technologies for Oil and Gas Complex*, 2018, No. 6, pp. 32–37. DOI: 10.30713/1999-6934-2018-6-32-37. [in Russian].

8. Volkov M.G. Ispol'zovanie metodov teorii avtomaticheskogo upravleniya dlya predstavleniya mekhanizirovannoi neftedobyvayushchei skvazhiny kak ob'ekta upravleniya [Use of the Automatic Control Theory Methods to Represent the Artificial-Lift Oil Wells as an Object of Control]. *Problemy sбора, podgotovki i transporta nefii i nefteproduktov — Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2017, Issue 1 (107), pp. 11–22. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ ABOUT THE AUTHORS

Архипов Дмитрий Сергеевич, главный специалист отдела цифровой трансформации комплексного управления активом, ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа, Российская Федерация

Dmitry S. Arkhipov, Chief Specialist of Digital Transformation of Complex Asset Management Department, RN-BashNIPIneft LLC, Ufa, Russian Federation

e-mail: ArkhipovDS@bnipi.rosneft.ru

Латыпов Булат Маратович, главный специалист отдела цифровой трансформации комплексного управления активом, ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа, Российская Федерация

Bulat M. Latypov, Chief Specialist of Digital Transformation of Complex Asset Management Department, RN-BashNIPIneft LLC, Ufa, Russian Federation

e-mail: LatypovBM@bnipi.rosneft.ru

Сильнов Денис Владимирович, начальник отдела цифровой трансформации комплексного управления активом, ООО «РН-БашНИПИнефть», г. Уфа, Российская Федерация

Denis V. Silnov, Head of Digital Transformation of Complex Asset Management Department, RN-BashNIPIneft LLC, Ufa, Russian Federation

e-mail: SilnovDV@bnipi.rosneft.ru

Еникеев Руслан Марсельевич, директор по проектам инжиниринга и цифровой трансформации, ПАО «АНК «Башнефть», г. Уфа, Российская Федерация

Ruslan M. Enikeev, Director of Engineering and Digital Transformation Projects, ANK Bashneft PJSC, Ufa, Russian Federation

e-mail: EnikeevRM@bashneft.ru

Пензин Алексей Вячеславович, заместитель начальника центрального инженерно-технологического управления, ООО «Башнефть-Добыча», г. Уфа, Российская Федерация

Aleksey V. Penzin, Deputy Head of the Central Engineering and Technological Department, Bashneft-Dobycha LLC, Ufa, Russian Federation

e-mail: PenzinAV@bashneft.ru

Валиахметов Линар Вазихович, начальник отдела по повышению энергоэффективности и энергосбережению, ООО «Башнефть-Добыча», г. Уфа, Российская Федерация

Linar V. Valiakhmetov, Head of Energy Efficiency Increasing and Energy Saving Department, Bashneft-Dobycha LLC, Ufa, Russian Federation

e-mail: ValiakhmetovLV@bashneft.ru