

20. Shengwei Wang. *Intelligent Buildings and Building Automation*, New York, 270 Madison Avenue Publ., 2009. 260 p.
21. So A. T. P., Chan W. L., Tse W. L. Building automation systems on the interne. *Facilities*, 1997, vol. 15, no. 5/6, pp. 125–133.
22. Vrettos E., Lai K., Oldewurtel F., Andersson G. Predictive control of buildings for demand response with dynamic day-ahead and real-time prices. *Proceedings of the European Control Conference*, Zürich, Switzerland, July 17–19, 2013, pp. 2527–2534.
23. WONG Kwok Wai Johnny. *Development of Selection Evaluation and System Intelligence Analytic Models for the Intelligent Building Control Systems*, Hong Kong Polytechnic University Publ. House, 2007. 414 p.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К УЛУЧШЕНИЮ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Статья поступила в редакцию 27.07.2015, в окончательном варианте 12.09.2015

Вишневский Александр Анатольевич, аспирант, Уфимский государственный авиационный технический университет, 450000, Российская Федерация, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12, e-mail: host_of_peace@list.ru

Ясовеев Васих Хаматович, доктор технических наук, профессор, Уфимский государственный авиационный технический университет, 450000, Российская Федерация, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12, e-mail: yasov@mail.ru

Рассмотрены возможности и особенности использования интеллектуального подхода к улучшению метрологических характеристик при проектировании волоконно-оптических датчиков давления и температуры для использования в нефтегазовой сфере. Выделены функции метрологического самоконтроля таких устройств, позволяющие минимизировать погрешности при измерениях. Установлено, что по сравнению с электронными устройствами (электронными датчиками), волоконно-оптические датчики могут иметь погрешности, определяемые случайными бросками параметров. Кроме того, выявлено, что эти погрешности не связаны ни с аддитивными, ни с мультипликативными законами взаимодействия других видов погрешностей. Они определяются технологическими факторами добычи углеводородов (нахождение пределов давлений во внутрискважинной зоне в расчетных пределах, отсутствие трения с абразивными материалами). Более того, эти погрешности (ошибки) не зависят от конструкции и технологии изготовления датчиков. По результатам анализа мировой практики подтверждена целесообразность интеллектуального подхода к разработке методик контроля и управления системами с электроцентробежными насосными агрегатами на основе использования волоконно-оптических датчиков.

Ключевые слова: искусственный интеллект, метрологические характеристики, волоконно-оптические системы, погрешности, метрологический самоконтроль, ранги приоритетов источников погрешностей, случайные броски параметров, самотермокомпенсация

INTELLIGENT APPROACH TO IMPROVE METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF OPTICAL FIBER SYSTEMS OF PRESSURE AND TEMPERATURE MEASUREMENT, INTENDED FOR THE OIL AND GAS INDUSTRY

Vishnevskiy Aleksandr A., post-graduate student, Ufa State Aviation Technical University, 12 Karl Marks St., Ufa, Republic of Bashkortostan, 450000, Russian Federation, e-mail: host_of_peace@list.ru

Yasoveev Vasikh Kh., D.Sc. (Engineering), Ufa State Aviation Technical University, 12 Karl Marks St., Ufa, Republic of Bashkortostan, 450000, Russian Federation, e-mail: yasov@mail.ru

Considered possibilities and features intelligent approach to improving the metrological characteristics of the design of the fiber-optic pressure and temperature sensors for use in the oil and gas sector. Scroll to the metrological self-control such devices allow to minimize errors in the measurements. It is found that compared with the electronic devices (electronic sensors), fiber optic sensors may be errors determined randomly throws parameters. In addition, it found that these errors are not linked to the additive or the multiplicative interaction of the laws of other types of errors – they are determined by technological factors hydrocarbon production (finding the limits of the pressure in the borehole in the area within the settlement, there is no friction with abrasive materials). Moreover, these errors (errors) do not depend on the design and technology of the sensors. According to the analysis of world practice confirmed the feasibility of the intellectual approach to the development of techniques for monitoring and control systems to the electric-pump units through the use of fiber optic sensors.

Keywords: artificial intelligence, metrological characteristics, fiber-optic systems, errors, metrological self-control, error sources priorities rank, random parameter shots, temperature self-compensation

Использование волоконно-оптических датчиков (ВОД) в рамках эксплуатации различных информационно-измерительных систем имеет ряд преимуществ перед другими типами датчиков. Однако для получения правильных результатов необходим корректный учет особенностей ВОД. Особенно перспективным можно считать использование ВОД, относящихся к классу интеллектуальных (способных самостоятельно подстраиваться под изменяющиеся условия систем). Однако эти вопросы в существующих публикациях отражены слабо. Поэтому целью данной статьи была попытка устранить данный пробел.

Волоконно-оптический датчик с самокалибровкой. При рассмотрении вопроса интеллектуализации каких бы то ни было датчиков важно понимать различие термина «адаптивность» и «интеллектуальность». Для этого создана классификация, основанная на возможности изменений параметров и /или алгоритмов работы в процессе эксплуатации:

1) адаптивный режим означает, что параметры и / или алгоритмы работы датчиков в процессе эксплуатации могут изменяться в зависимости от сигналов, поступающих от находящихся в нем преобразователей;

2) «константный» режим – параметры и/ или алгоритмы работы датчиков в процессе эксплуатации не могут изменяться.

Согласно [5] интеллектуальный датчик – это адаптивный датчик с функцией метрологического самоконтроля, который вносит в метрологические характеристики датчика методы и средства обеспечения проверки достоверности измерительной информации, полученной от собственных чувствительных элементов (ЧЭ). В частности, использование методов и средств метрологического самоконтроля при разработке структуры волоконно-оптических интерферометров Фабри-Перо (ВОИФП) обеспечивает уникальную способность самокалибровки устройств. Это позволяет отнести их к классу интеллектуальных датчиков (рис. 1). Функциональная схема такого датчика приведена на рисунке 2.

Расстояние между ЧЭ и трансивером может достигать 3 км при условии применения оптического кабеля. Это практически позволяет отказаться от импульсных трубок для монтажа приборов измерения давления.

Температурная зависимость длины резонаторной полости такого датчика выражается формулой [3]:

$$\Delta G = (\alpha_0 L_0 - \alpha_1 L_1 - \alpha_2 L_2) \Delta T, \quad (1)$$

где ΔT – изменение температуры; $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ – коэффициенты температурного расширения соответственно кварцевых стекол капиллярной оболочки, входного и выходного волокон; L_0, L_1, L_2 – длины измерительной полости датчика, входного и выходного оптических волокон интерферометра.

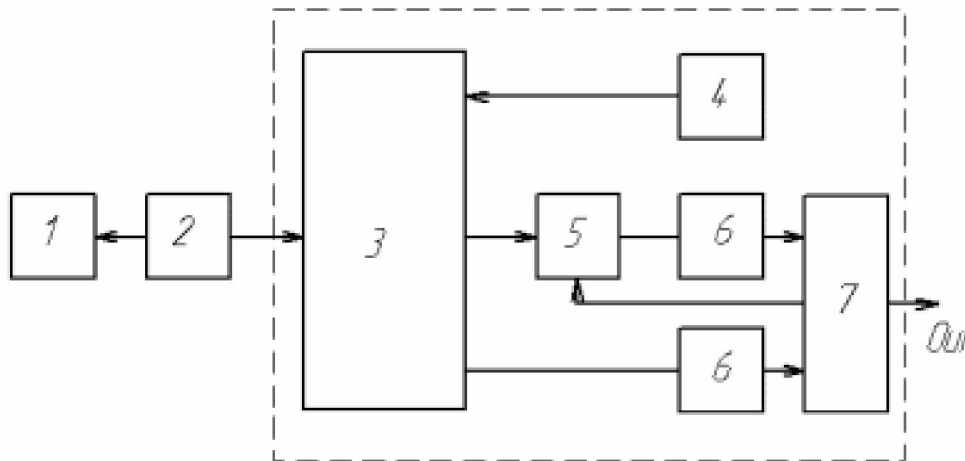


Рис. 1. Структурная схема интеллектуального датчика давления.
 Обозначения: 1 – ВОИФП; 2 – оптический кабель; 3 – оптический разветвитель;
 4 – светоизлучающий диод; 5 – перестраиваемый спектральный оптический фильтр;
 6 – фотодетектор; 7 – микроконвертер / микроконтроллер

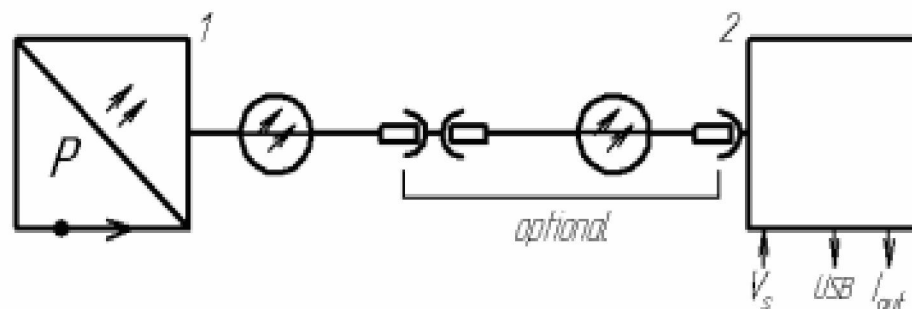


Рис. 2. Функциональная схема интеллектуального датчика давления.
 Обозначения: 1 – ЧЭ; 2 – оптико-электронный блок передатчика;
 Vs – напряжение питания электронной части; I_{out} – сигнальный выход;
 optional – оптический кабель (при необходимости увеличения расстояния между ЧЭ и трансивером)

Для того, чтобы температурную погрешность свести к минимуму, необходимо подобрать такие значения α_0 , α_1 , α_2 , L_1 , чтобы выражение в скобках формулы (1) было практически равно нулю, т.е.:

$$\alpha_0 L_0 - \alpha_1 L_1 - \alpha_2 L_2 = 0.$$

На рисунке 3 приведены градуировочные характеристики ВОД давления с самокомпенсацией для рабочих температур 24 °C и 250 °C [3].

При изменении температуры измеряемой среды (ΔT) длина полости резонатора Фабри-Перо в соответствии с формулой (1) изменится на величину, которая будет ниже предела чувствительности. Поэтому влияние температуры на погрешность измерения ВОИФП ничтожно (два графика на рис. 3 фактически слились в один). Термокомпенсация обеспечивается практически во всем рабочем диапазоне температур – об этом говорит строго линейный характер графиков по рисунку 3.

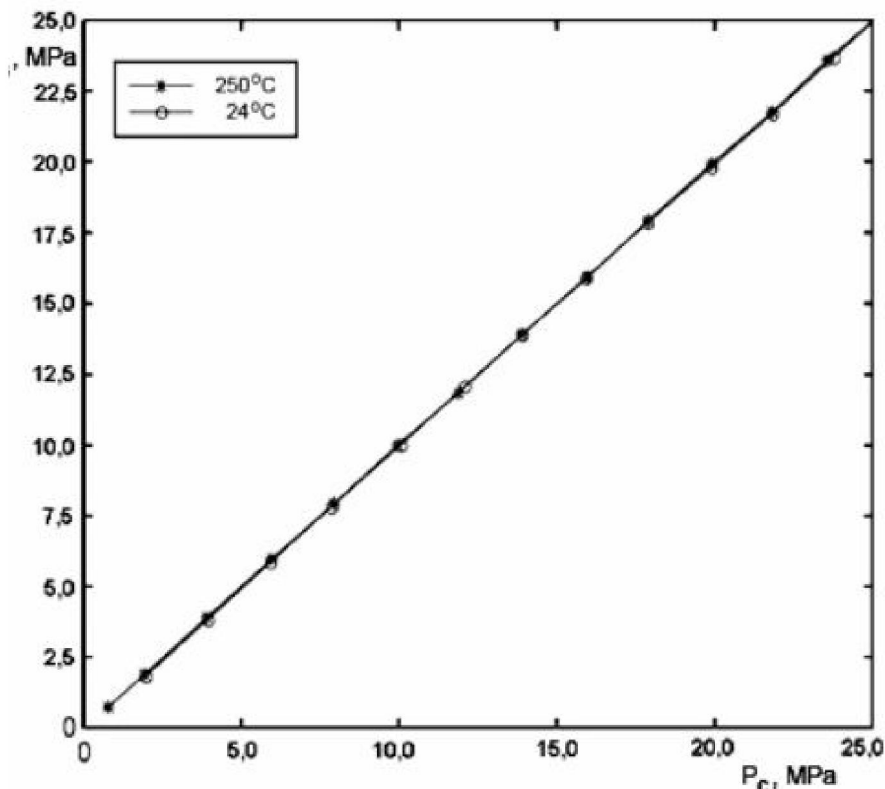


Рис. 3. Градуировочные характеристики ВОД с самотермокомпенсацией на базе интерферометра Фабри-Перо для температур 250 °C и 24 °C. Обозначения: P_s – давление при 24 °C; P_c – давление при 250 °C

Аналогично рассматриваемый интеллектуальный подход к построению ВОД может быть применен и к волоконно-оптическим измерительным системам в целом.

Интеллектуальные волоконно-оптические измерительные системы. При внедрении в ВОД элементов искусственного интеллекта в рамках построения интеллектуальной волоконно-оптической измерительной системы (ИВОИС) рассматриваемые датчики приобретают такие функциональные возможности: контроль состояния элементов системы; проведение самодиагностики; выдача сообщений пользователю в случае обнаружения неисправностей; проведение самокалибровки и корректировки значений измеряемых величин с заданной пользователем частотой.

Например, при использовании интеллектуального унифицированного регистрирующего модуля FIU-44-1.55 серии Ег компании ООО ИП «НЦВО – Фотоника» г. Москва обеспечивается постоянная обработка опорного сигнала. Это приводит к перманентному контролю правильности проводимых измерений.

Современные интеллектуальные оптические датчики обладают функцией метрологического самоконтроля в силу мультимодальности оптического сигнала (выходной сигнал ВОД зависит не менее чем от двух параметров датчика). Это позволяет производить самокалибровку ВОД в реальном масштабе времени без остановки контролируемых процессов и без использования поверочных эталонов [3].

Согласно ГОСТ Р 8.734-2011 [5] методы метрологического самоконтроля имеют классификацию, представленную на рисунке 4.



Рис. 4. Классификация методов метрологического самоконтроля интеллектуальных датчиков по ГОСТ Р 8.734-2011

Для того, чтобы выбрать, какой из методов (либо комбинация методов) в наибольшей степени подходит при разработке датчика или измерительной системы нужно сделать следующее.

1. Выявить вероятные источники погрешностей, связанные с изменением характеристик материалов датчиков, технологических процессов, повреждений оборудования при его использовании.

Для этого требуется проанализировать ожидаемые условия эксплуатации датчиков в переходных и установившихся режимах, при наличии специфических воздействий. С этой целью могут быть использованы публикации в научно-технической литературе; известный опыт эксплуатации датчиков-аналогов в сочетании с результатами их проверок, калибровок; результаты анализа причин метрологических отказов датчиков в процессе эксплуатации; результаты испытаний датчиков-аналогов в различных условиях; сведения о конструкциях и технологиях изготовления датчиков. При недостаточности имеющейся информации об источниках погрешностей выполняют дополнительные (включая форсированные) испытания и анализируют их результаты [7].

2. Определить критическую составляющую погрешности – в том числе оценить ее особенности, скорость нарастания, компонентный состав (систематическая или случайная ошибка, аддитивная или мультипликативная); выделить приоритетные (критические) составляющие этой погрешности.

Для обеспечения прямого метрологического диагностического самоконтроля (МДС) датчика необходимо сочетание в одной конструкции собственно контролируемого измерительного преобразователя и дополнительного средства обеспечения его более высокой точности.

В общем случае МДС датчика обеспечивает следующее: на основе структурной избыточности сочетает в одной конструкции два и более близких по точности измерительных преобразователя, один из которых контролируемый; на основе временной избыточности идентифицирует критическую составляющую погрешности датчика по его известным динамическим характеристикам; на основе функциональной избыточности выявляет либо создает дополнительную функцию преобразования – в том числе в форме модуляции измеряемой величины.

Волоконно-оптическая структура интеллектуальных датчиков давления и температуры ограничивает возможные источники погрешностей, определенные в [6] до следующих показателей.

(А) Для датчика давления: выбросы давления за пределы диапазона, указанного в документации (1-ый ранг), броски давления «вниз» (1-ый ранг).

(В) Для датчика температуры: абразивное истирание (2-ой ранг).

Наивысшие ранги (приоритеты) источников погрешности присваиваются тем из них, условия возникновения для которых определяются технологическим фактором добычи углеводородов (выходом значений давления во внутрискважинной зоне из допустимого для датчика давления диапазона, наличием трения датчика с абразивными материалами) и не зависят от конструкции и технологии изготовления датчиков.

При этом однозначно определяются случайные броски параметров (это не связано ни с аддитивными, ни с мультипликативными законами взаимодействия других видов погрешностей), вероятность появления которых велика при работе электронных устройств. В [2] приводится подробный математический аппарат для оценки погрешностей при использовании ВОД, включающий в себя формализованные «критерии оптимальности» для разных вариантов выбора совокупности решений – при наличии наборов ограничений по ресурсам и рискам.

Перспективы использования интеллектуального подхода в ВОД и ВОИС. Анализ публикаций и патентных материалов [10, 11] позволил выявить наиболее корректные признаки интеллектуальных систем (ИС). Они представлены в таблице 1. В соответствии с принятым для таблицы подходом все ИС, в том числе построенные на основе ВОД и ВОИС, можно разделить на классы и уровни.

Таблица

**Иерархия технологических операций интеллектуальных систем
измерения давления и температуры**

Классифика- ционный уровень	Обозначение направления (свойств)		
	<i>S</i>	<i>A</i>	<i>I</i>
	Измерения	Управляющее воздействие	Интерпретация и обработка данных
1	Давления, температуры	Вспомогательные системы	Кратковременная информационная обратная связь
2	Давления, температуры потока	Локальное включение / выключение потока	Информационная обратная связь используется для системной оптимизации
3	Давления, температу- ры потока и его ком- понентов	Локальное многопозиционное регулирование потока	Информационная обратная связь используется для коррекции (форми- рования) модели пласта
4	Параметров пласта	Ответвление потока регу- лирующими приборами	—
5	Параметров флюидов	Разделение фракций потока флюидов	—

В таблице 1 возрастание номера классификационного уровня соответствует более высокому уровню интеллекта ИС.

В соответствии с представленной классификацией, ИС может быть принципиально интерпретирована в виде сочетаний любых комбинаций свойств $\{S5(1...4), A(1...5), I(1...3)\}$.

Хотя обзор зарубежных публикаций не выявил массового применения ИС с высоким уровнем интеллекта (в основном из-за дороговизны), но имеются сведения о реализации таких систем на ограниченном числе объектов [1]. Такие системы используют кабельный канал связи и управляют расходом нефти или газа, осуществляя измерение давления и температуры в реальном масштабе времени (категория S2A3I2).

Анализ отечественных публикаций [1–4, 8–11] по тематике ИС выявил следующую ситуацию и тенденции. Основное применение находят системы класса S1A1I1, т. е. для исследований проводимых однократно или на основе автономных регистраторов – с последующей выборкой и дешифровкой данных. Причина – набор сочетаний любых комбинаций свойств ограничен необходимостью учета большого количества многосвязных факторов.

Недостатки этих интерпретаций сочетаний для комбинаций свойств / уровней очевидны – информационная обратная связь либо существенно дискретна по времени, либо апостериорна к текущему состоянию. Это затрудняет математическое моделирование и формализацию зависимостей, описывающих данные процессы для целей оптимального выбора решений при проектировании.

Так при высоком содержании сероводорода в извлекаемом газе (до 26 % на Астраханском газоконденсатном месторождении) с целью поддержания давления при подаче в печи Клауса для обессеривания может применяться многокаскадное регулирование при учете параметра температуры.

Имеются сведения о применении кабельных систем мониторинга, относящихся к классам S1A1I2 и S2A1I2 [13, 14]. Достоинством таких систем является возможность свободного перемещения прибора от приема (входа) насосного агрегата до забоя (конца скважины). Основной недостаток – невозможность извлечения прибора на кабеле без подъема электроцентробежных насосных агрегатов (ЭЦН) при каротаже. Следует отметить статью [12], где разработаны алгоритмы, методика и технические средства для проведения мониторинга добычи углеводородов с использованием систем вышеназванных классов.

Значительное внимание в исследованиях и публикациях уделено вопросам применения ЭЦН и системам управления техническими средствами, которые их используют. Однако укажем, что контроль и управление ЭЦН необходимо рассматривать как подсистему в контексте использования ИС. Важное и перспективное направление анализируется в [1], где затрагиваются вопросы одновременной добычи нефтегазового сырья из нескольких пластов. Очевидно, что для реализации такой технологии требуются разработка и внедрение ИС с более высоким уровнем интеллекта (S3A3I3 и выше). При этом требуется сочетание решения задачи одновременной разработки пластов с принципиально новым подходом к управлению использованием месторождений в целом (см. табл. 1 уровни 4 и 5).

Выводы. Внедрение систем искусственного интеллекта позволило перейти от ВОД с самокомпенсацией (самокалибровкой) по какому-либо параметру к современным интеллектуальным оптическим датчикам, обладающим функцией метрологического самоконтроля. Это дает возможность производить самокалибровку ВОД в реальном масштабе времени без остановки контролируемых процессов, без использования поверочных эталонов с заданной пользователем частотой; выполнять самодиагностику датчиков; обеспечивать выдачу сообщений пользователю в случае обнаружения неисправностей.

Применение оптического волокна в интеллектуальных датчиках и системах позволило довольно сильно сузить круг источников погрешностей и практически обнулить их ранги. Иными словами – уменьшить риски не обнаружения вовремя опасного изменения измеряемой величины.

Проведенный анализ позволил установить требования к ИС, обеспечивающие эффективность информационной поддержки разработки месторождений:

- возможность внутрискважинного мониторинга параметров давления и температуры с функцией беспроводной передачи информации о работе двух и более пластов на поверхность в режиме реального времени;
- наличие системы управления скважинным оборудованием, в частности с использованием ЭЦН;
- обеспеченность аналитическими алгоритмами оперативного реагирования на текущие и ретроспективные результаты разработки месторождения; планирования и проектирования эффективных геолого-технических мероприятий – в том числе упреждающего характера;
- достаточная пропускная способность и функциональность бескабельного канала связи приемника и передатчика оптического сигнала.

Список литературы

1. Белоус В. Б. Новая технология мониторинга нефтяных скважин, эксплуатирующих совместно несколько пластов / В. Б. Белоус и другие // Нефтяное хозяйство. – 2006. – № 12. – С. 62–67.
2. Брумштейн Ю. М. Анализ моделей и методов выбора оптимальных совокупностей решений для задач планирования в условиях ресурсных ограничений и рисков / Ю. М. Брумштейн, Д. А. Тарков, И. А. Дюдинов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 3. – С. 169–179.
3. Буймистрюк Г. Я. Интеллектуальный волоконно-оптический датчик для измерений в экстремальных условиях / Г. Я. Буймистрюк, А. М. Рогов // Paper #284 – ANIMMA International Conference, 7–10 June 2009, Marseille, France. – Режим доступа: [http://www.vbrspb.ru/userfiles/Articl2009\(1\).pdf](http://www.vbrspb.ru/userfiles/Articl2009(1).pdf), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
4. Гармаш В. Б. Возможности, задачи и перспективы волоконно-оптических измерительных систем в современном приборостроении / В. Б. Гармаш, Ф. А. Егоров и другие // Спецвыпуск «Фотон-Экспресс». – 2005. – № 6. – С. 128–140.
5. ГОСТ Р 8.673-2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Основные термины и определения. – Введен 2010–12–01. – Москва : Стандартинформ, 2010. – 8 с.
6. ГОСТ Р 8.734-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Методы метрологического самоконтроля. – Введен 2012–09–01. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 20 с.
7. ГОСТ Р 8.825-2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Методы ускоренных испытаний. – Введен 2015–01–01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 10 с.
8. Кульчицкий В. В. Разработка теоретических и методических основ создания интеллектуальных нефтегазовых месторождений / В. В. Кульчицкий, П. Н. Александров, З. А. Пятакова, А. И. Архипов // Нефть. Газ. Новации. – 2013. – № 11. – С. 36–39.
9. Лепехин В. И. Разработка и опыт эксплуатации комплекса оборудования для автоматизации добычи нефти / В. И. Летихин и другие // Нефтяное хозяйство. – 2004. – № 5. – С. 111–112.
10. Павленко Г. А., Морозовская С. В. Способ непрерывного мониторинга за процессом добычи углеводородов и программа вычисления плотности и обводненности флюидов в эксплуатационных скважинах ниже приема насоса / Г. А. Павленко, С. В. Морозовская // Нефтегазопромысловый инжиниринг. – 2003. – № 10.
11. Пат. 2346156 Российская Федерация, МПК Е 21В 47/12, Е 21В 43/12. Система управления добычей углеводородного сырья / Р. И. Алимбеков и другие ; заявитель и патентообладатель ООО Научно-исследовательский институт технических систем «Пилот». – № 2007126493 ; заявл. 11.07.07 ; опубл. 10.02.09, Бюл. № 4. – 4 с.
12. Технические решения, позволяющие нефтяным компаниям экономить время и средства : пер. с англ. / пер. Б. Мохоцейн // Нефтегазовые технологии. – 2002. – № 2. – С. 40–43.
13. Anderson A. Integration Intelligent Well Systems With Other Completion Technologies / A. Anderson // The Oil & Gas Review. – 2005.
14. Mathieson D. Intelligent Well Classification System / D. Mathieson. – June 1998.

References

1. Belous V. B., et al. Novaya tekhnologiya monitoringa neftyanykh skvazhin, eks-pluatiruyushchikh sovместно neskolko plastov [New technology for monitoring oil wells operating together several layers]. *Neftyanoe khozyaystvo* [Oil Industry], 2006, no. 12, pp. 62–67.
2. Brumshteyn Yu. M., Tarkov D. A., Dyudikov I. A. Analiz modeley i metodov vybora optimalnykh sovokupnostey resheniy dlya zadach planirovaniya v usloviyakh resursnykh ogranicheniy i riskov [Analysis of the models and methods of selection of optimum set of solutions for the problems of planning in terms of resource constraints and risks]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2013, no. 3, pp.169–179.
3. Buymistryuk G. Ya., Rogov A. M. Intellectualnyy volokonno-opticheskiy datchik dlya izmereniy v ekstremalnykh usloviyakh [Intelligent fiber optic sensor for measurements in extreme conditions]. *Paper #284 – ANIMMA International Conference, 7–10 June 2009, Marseille, France*. Available at: [http://www.vbrspb.ru/userfiles/Article2009\(1\).pdf](http://www.vbrspb.ru/userfiles/Article2009(1).pdf).
4. Garmash V. B., Yegorov F. A., et al. Vozmozhnosti, zadachi i perspektivy volokonno-opticheskikh izmeritelnykh sistem v sovremennom priborostroenii [Opportunities, challenges and prospects of the fiber-optical measuring systems in a modern instrumentation]. *Spetsvypusk «Foton-Ekspress»* [Special Issue «Foton-Express»], 2005, no. 6, pp.128–140.
5. GOST R 8.673-2009. State system for ensuring the uniformity of measurements. Intelligent sensors and systems, measuring intelligence. Basic terms and definitions. Introduced 2010–12–01. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 8 p.
6. GOST R 8.734-2011. State system for ensuring the uniformity of measurements. Intelligent sensors and systems, measuring intelligence. Methods of metrological samokon-trol. Introduced 2012–09–01. Moscow Standartinform Publ., 2012. 20 p.
7. GOST R 8.825-2013. State system for ensuring the uniformity of measurements. Intelligent sensors and systems, measuring intelligence. Methods of accelerated tests. Introduced 2015–01–01, Moscow, Standartinform Publ., 2014. 10 p.
8. Kulchitskiy V. V., Aleksandrov P. N., Pyatakova Z. A., Arkhipov A. I. Razrabotka teoreticheskikh i metodicheskikh osnov sozdaniya intellektualnykh neftegazovykh mestorozhdeniy [The gap-processing theoretical and methodical fundamentals of creation of intelligent oil-deposits is IU]. *Neft. Gaz. Novatsii* [Oil. Gas. Innovations], 2013, no. 11, pp. 36–39.
9. Lepekhin V. I., et al. Razrabotka i opyt ekspluatatsii kompleksa oborudovaniya dlya avtomatizatsii dobychi nefti [Development and operating experience complex automation of oil]. *Neftyanoe khozyaystvo* [Oil Industry], 2004, no. 5, pp. 111–112.
10. Pavlenko G. A., Morozovskaya S. V. Sposob nepreryvnogo monitoringa za protsessom dobychi uglevodorodov i programma vychisleniya plotnosti i obvodnennosti flyuidov v ekspluatatsionnykh skvazhinakh nizhe priema nasosa [A method of continuously monitoring the process of production of hydrocarbons and the program to calculate the density and water content of fluids in production wells below the pump intake]. *Neftegazopromyslovyy inzhiniring* [Oil and Gas Engineering], 2003, no. 10.
11. Alimbekov R. I., et al. Patent 2346156 Russian Federation, 21B IPC E 47/12, E 21 B 43/12. The control system extraction of hydrocarbons. Applicant and patentee Ltd. Research Institute of Technical Systems "Pilot". No. 2007126493, appl. 11.07.07; publ. 10.02.09, Bul. no. 4. 4 p.
12. Mokhotseyn B. (tran.) Tekhnicheskie resheniya, pozvolyayushchie neftyanym kompaniyam ekonomit vremya i sredstva [Technical solutions that enable oil companies to save time and money]to *Neftegazovye tekhnologii* [Oil and Gas Technologies], 2002, no. 2, pp. 40–43.
13. Anderson A. Integration Intelligent Well Systems With Other Completion Technologies. *The Oil & Gas Review*, 2005.
14. Mathieson D. *Intelligent Well Classification System*, June 1998.