

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СТАНДАРТА ISO 16530-1: УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ЦЕЛОСТНОСТИ СКВАЖИНЫ

KEY NOTES ON ISO 16530-1: WELL INTEGRITY LIFECYCLE GOVERNANCE

Годвин Чидибере НВАФОР, полевой супервайзер/консультант (супервайзер КРС и ГНКТ); «Нэшнл Петролеум Сервисез» (NPS), Саудовская Аравия; степень бакалавра (Химическая технология), диплом о послевузовском образовании (Проектирование трубопроводов)

Godwin Chidiebere NWAFOR, Oilfield Engineering Supervisor/Consultant (Pressure Pumping & CT Pumping Supervisor); National Petroleum Services (NPS), Saudi Arabia; Higher National Diploma (HND) – Bachelor's Degree Equivalent (Chemical Engineering) & Post Graduate Diploma (Piping Design Engineering)

Годвин Чидибере Нвафор занимает должность «полевой супервайзер/консультант». Он оказывает консультационные услуги для компании «Нэшнл Петролеум Сервисез» (NPS) в Даммане (Саудовская Аравия). Услуги включают в себя операции по закачке под давлением, кислотные обработки на ГНКТ, управление проектами, координацию работ и полевой супервайзинг. Перед этим Годвин 2 года работал в качестве консультанта в Нигерии на работах по цементированию скважин и закачке под давлением для различных клиентов. Ранее Годвин работал 6 лет в компании «Шлюмберге» в Нигерии. Сначала он работал на позиции полевого специалиста, на которой обеспечивал супервайзинг и выполнение работ по цементированию скважин на суше, на шельфовых и глубоководных проектах. Затем он работал на позиции сервисного координатора в Центре планирования внутрискважинных работ в Порт-Харкоте (Нигерия). В обязанности входило управление активами, управление складским хозяйством; полевое сопровождение работ по цементированию скважин.

Диплом о высшем образовании государственного образца (степень бакалавра) по специальности «химическая технология» Годвин получил в 2008 году в Институте менеджмента и технологий (ИМТ) в Энугу (Нигерия). Диплом о послевузовском образовании по специальности «проектирование трубопроводов» он получил в 2012 году в Технологическом институте в штате Махараштра (Индия). Степень магистра делового администрирования по специальности «управление проектами» он получил в 2016 году в Открытом университете Венкатешвара в Итанагаре (Индия).

Годвин является членом следующих профессиональных сообществ: член – Американский институт инженеров-химиков; зарегистрированный инженер в химической технологии – совет по управлению производством Нигерии (COREN); член – Общество инженеров (SOE), Великобритания; член – Международная ассоциация инженеров (IAENG), Гонконг; практикующий специалист – Чартерный институт качества (CQI), Великобритания; профессиональный инженер – Общество профессиональных инженеров (SPEng), Великобритания; менеджер проекта (MPM®) – Американская академия управления проектами (AAPM®); специалист – Международный институт управления рисками и безопасностью (IIRSM), Великобритания.



Godwin Chidiebere Nwafor is an Oilfield Engineering Supervisor/Consultant currently providing consulting services for National Petroleum Services (NPS) in Dammam, Saudi Arabia. Areas of services include pressure pumping operations, acid stimulation through coiled tubing, project management, service coordination and wellsite supervision. Prior to this, Godwin spent 2 years as an Oilfield Consultant in Nigeria working on well cementing operations and pressure pumping services for various clients. Previously,

he spent 6 years with Schlumberger Plc. in Nigeria working initially as a Well Services Field Specialist providing wellsite supervision and execution of well cementing operations and services in land, swamp, off-shore and deep-water rig installations. Lastly, he was the Operations Service Coordinator for the Well Services Operations Planning Center (OPC) based in Port Harcourt Nigeria providing asset planning, inventory control, field support, and operations support for Cementing Services.

Godwin earned a Higher National Diploma – HND (US Bachelors Degree Equivalent) in Chemical Engineering from the Institute of Management & Technology (IMT) Enugu, Nigeria in 2008; a Post Graduate Diploma (PGDip) in Piping Design Engineering from the Maharashtra Institute of Technology (MIT) Pune, India in 2012, and an Executive MBA in Project Leadership & Management from the Venkateshwara Open University Itanagar, India in 2016.

Godwin is affiliated to the following professional organization; Member – American Institute of Chemical Engineers (AIChE); Registered Chemical Engineering Technologist – Council for the Regulation of Engineering in Nigeria (COREN); Member – Society of Operations Engineer (SOE) UK; Member – International Association of Engineers (IAENG) Hong Kong; Practitioner – Chartered Quality Institute (CQI) UK; Fellow & Professional Engineer – Society of Professional Engineers (SPEng) UK; Fellow & Master Project Manager (MPM®) – American Academy of Project Management (AAPM®), and Specialist Fellow – International Institute of Risk and Safety Management (IIRSM) UK.

Введение

Согласно стандарту ISO 16530-1 (издание 2017 года): «стандарт разработан нефтегазодобывающими компаниями и предназначен для использования в нефтегазовой промышленности по всему миру. Стандарт является руководством по управлению целостностью скважины на протяжении всего жизненного цикла. Также в настоящем стандарте изложены минимальные требования к компании, ведущей работы на скважине, необходимые для того, чтобы заявить о соответствии стандарту».

Стандарт рассматривает процесс управления целостностью скважин на каждом этапе эксплуатации, а именно: основные проектирования конструкции скважины; конструкцию скважины; бурение; эксплуатацию; внутрискважинные работы (включая капитальный ремонт) и консервацию.

Назначение стандарта по управлению жизненным циклом целостности скважины

Стандарт описывает независимый метод применения нормативных требований, обеспечивающих целостность скважины на протяжении всего срока эксплуатации. Эти нормативные требования либо уже разработаны, либо в процессе разработки различными нефтегазовыми компаниями.

Основное положение стандарта:

«Система управления целостностью скважин (WIMS) должна обеспечивать поддержание целостности скважин на протяжении всего жизненного цикла за счет применения комбинации технических, эксплуатационных и организационных процессов».

Основные положения

Стандарт применим ко всем скважинам в нефтяной и газовой промышленности. Также стандарт применим к любой скважине или группе скважин независимо от их срока эксплуатации, местоположения (включая скважины на суше, подводные и морские скважины) или типа (например, фонтанирующие скважины, скважины с механизированным способом добычи, нагнетательные скважины).

Стандарт призван помочь нефтяным и газовым компаниям эффективно управлять целостностью скважин в течение всего жизненного цикла. Для этого стандарт предоставляет:

- Минимальные требования для обеспечения эффективного управления целостностью скважины.
- Рекомендации и методы, которые компании могут применять в больших масштабах, основываясь на показателях риска для каждой конкретной скважины.

Introduction

According ISO 16530 – 1 Standard (2017 Edition), “the standard has been developed by oil and gas producing operating companies and is intended for use in the petroleum and natural gas industries worldwide. It is intended to provide guidance to the well operator on managing well integrity throughout the well life cycle. Furthermore, this standard addresses the minimum compliance requirements for the well operator in order to claim conformity with the standard”.

The standard addresses the process of managing well integrity during each of the well life cycle phases, namely: basis of design; design; construction; operation; intervention (including work-over) and abandonment.

Intent of Well Integrity Life Cycle Standard

An independent method of applying performance standards that assures well integrity over life cycle of the well. These performance standards can be existing or to be developed standards in industry or by Well Operator.

In principle:

“The well integrity management system (WIMS) should assure that well integrity is maintained throughout the well life cycle by the application of a combination of technical, operational and organizational processes”.

Scope

The standard is applicable to all wells that are operated by the petroleum and natural gas industry. It is also applicable to any well, or group of wells, regardless of their age, location (including onshore, subsea and offshore wells) or type (e.g. naturally flowing, artificial lift, injection wells).

It is intended to assist the petroleum and natural gas industry to effectively manage well integrity during the well life cycle by providing:

- Minimum requirements to ensure management of well integrity; and
- Recommendations and techniques that well operators can apply in a scalable manner based on a well’s specific risk characteristics.

Assuring well integrity comprises two main building blocks: *the first is to ensure well integrity during well design and construction, and the second is to manage well integrity throughout the remaining well life thereafter.*

Non-Applicability of ISO 16530 – 1 Standard

The ISO 16530 – 1 Standard is not applicable to well control. *Well control refers to activities implemented to prevent or mitigate unintentional release of formation fluids from the well to its surroundings during drilling, completion, intervention and well abandonment operations, and involves dynamic elements, i.e. BOPs, mud*

Обеспечение целостности скважины состоит из двух основных этапов: первый – обеспечение целостности скважины при проектировании и строительстве, второй – управление целостностью скважины в течение оставшегося срока службы скважины.

Неприменимость стандарта ISO 16530-1

Стандарт ISO 16530-1 не применим к инструментам контроля за скважиной. *Контроль за скважиной – это комплекс организационно-технических мероприятий, направленных на предотвращение или снижение риска неконтролируемого выброса пластовой жидкости из скважины в окружающую среду во время бурения, заканчивания, внутрискважинных работ и ликвидации скважины с помощью динамических элементов оборудования, таких как превенторы, буровые насосы, системы подачи бурового раствора.*

Данный стандарт не применяется к понятию целостности ствола скважины, под которой зачастую понимается «стабильность ствола скважины». *Целостность ствола скважины – это способность пробуренного открытого ствола скважины поддерживать свою форму и оставаться неповрежденным после бурения.*

Процесс обеспечения целостности скважины

Как показано на рис. 1, обеспечение работоспособности барьеров на протяжении жизненного цикла скважины включает в себя следующие компоненты:

- Подземные барьеры, препятствующие оттоку или притоку флюидов из пластов.
- Барьеры, которые предотвращают неконтролируемый выброс флюидов на поверхность.
- Барьеры, которые предотвращают неконтролируемый выброс флюидов в скважинную систему.
- Барьеры, обеспечивающие безопасный доступ в ствол скважины.

ISO 16530-1 – Этапы жизненного цикла скважины

Этапы жизненного цикла скважины имеют общие элементы, методы и процессы, которые являются неотъемлемой частью системы управления целостностью скважины. Стандарт описывает эффективность каждого этапа в рамках системы управления целостностью скважины. На рисунке 2 приведены общие элементы этапов, а также взаимосвязь между ними.

- а) Этап «**Основы проектирования конструкции скважины**» определяет возможные риски для безопасности и риски загрязнения окружающей среды, возникающие

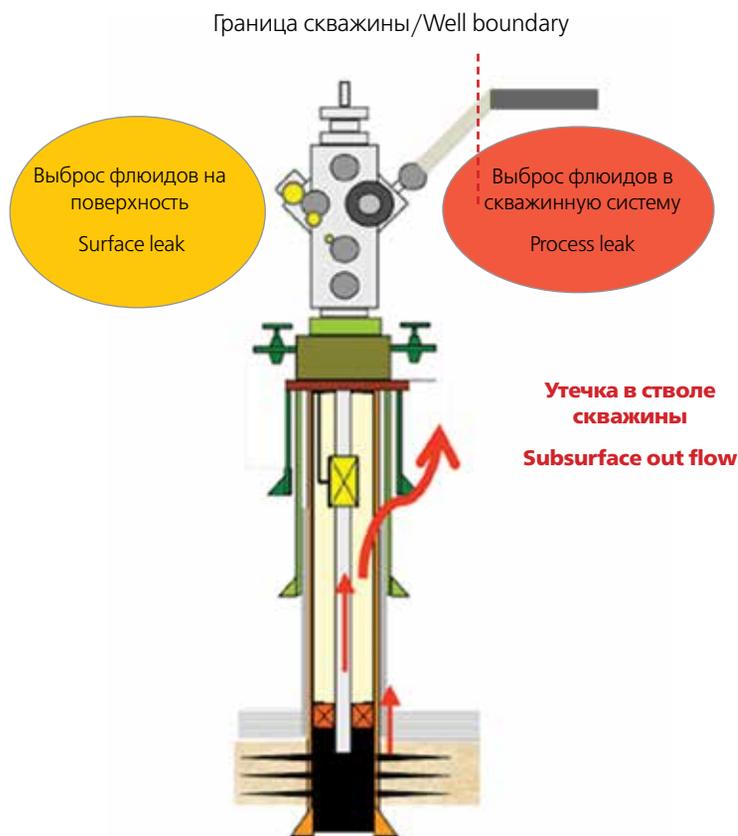


Рисунок 1 – Работоспособность скважинных барьеров
Figure 1 – Assurance of well barriers

pumps, mud systems, etc.

The standard is not applicable to wellbore integrity, sometimes referred to as “borehole stability”. Wellbore integrity is the capacity of the drilled open hole to maintain its shape and remain intact after having been drilled.

Well Integrity Process

Assurance of Well Barriers over lifecycle involves the following process as depicted in figure 1 below:

- Barriers for subsurface that prevent outflow or inflow from subsurface
- Barriers that control the effect off loss off containment to surface
- Barriers that control the effect off loss off containment to process
- Barriers for safe well bore access

ISO 16530-1 Stages of the Well Life Cycle

The phases of the life cycle of a well have common elements, methods and processes, which are integral to the management of well integrity, and the Standard describes the deliverables between each phase within a Well Integrity Management System. Figure 2 below summarizes the elements which are common among phases,

при работе на устье и забое скважины в течение всего жизненного цикла. После выявления данных рисков проводится их анализ с целью разработки методов обеспечения целостности скважины на следующих этапах жизненного цикла.

- б) Этап **«Конструкция скважины»** определяет элементы управления, которые должны быть включены в конструкцию скважины для обеспечения необходимых барьеров, которые позволят управлять выявленными рисками для безопасности и окружающей среды. Конструкция скважины должна учитывать ожидаемые или прогнозируемые изменения в течение жизненного цикла скважины и гарантировать, что определенные на этапе проектирования барьеры обеспечивают снижение рисков для безопасности сотрудников и рисков загрязнения окружающей среды.
- в) Этап **«Строительство скважины»** определяет необходимые или рекомендуемые элементы управления, которые необходимо установить (в том числе в процессе ремонтных работ), а также методы проверки этих элементов для обеспечения необходимого уровня безопасности конструкции скважины. На этом этапе рассматриваются любые отклонения от проекта, требующие повторной проверки на предмет контроля выявленных опасных факторов и рисков.
- г) Этап **«Эксплуатация скважины»** определяет требования, рекомендации и методы управления целостностью скважин в процессе эксплуатации.
- д) Этап **«Внутрискважинные работы»** (включая капитальный ремонт скважин) определяет минимальные требования и рекомендации по оценке барьеров в скважине до и после внутрискважинных работ, во время которых происходит разрушение установленной системы барьеров безопасности.
- е) Этап **«Консервация скважины»** определяет требования и рекомендации по консервации скважины.

Система управления целостностью скважин

Каждая компания, ведущая работы на скважине, должна иметь систему управления целостностью скважин (WIMS), которая обеспечивает поддержание целостности скважин на протяжении всего жизненного цикла за счет применения комбинации технических, эксплуатационных и организационных процессов.

Данная система должна учитывать следующие элементы для всего фонда скважин:



Рисунок 2 – Общие элементы для этапов управления целостностью скважин
Figure 2 – Elements common to the phases of well integrity management

and the relation between the phases.

- a) The **“Basis of Design Phase”** identifies the probable safety and environmental exposure to surface and subsurface hazards and risks that can be encountered during the well life cycle. Once identified, these hazards and risks are assessed such that control methods of design and operation can be developed in subsequent phases of the well life cycle.
- b) The **“Design Phase”** identifies the controls that are to be incorporated into the well design, such that appropriate barriers can be established to manage the identified safety and environmental hazards. The design addresses the expected, or forecast, changes during the well life cycle and assures that the required barriers in the well’s design are based on risk exposure to people and the environment.
- c) The **“Construction Phase”** defines the

- оценку рисков;
- организационную структуру (роли, обязанности, отчетность и компетенции);
- скважинные барьеры безопасности;
- стандарты эффективности;
- проверку барьеров безопасности;
- отчетность и документацию;
- управление процессом внесения изменений;
- непрерывный процесс оптимизации;
- аудит.

Примеры формулировок «должна»

- а) Компания, ведущая работы на скважине, **должна** составить и задокументировать процедуру управления барьерами безопасности, которая включает в себя барьеры для пластовой жидкости, закачиваемых жидкостей, используемого для газлифта газа и рабочих жидкостей.
- б) Компания, ведущая работы на скважине, **должна** учитывать влияние изменений температуры, особенно в подводных или арктических условиях, поскольку при закрытии клапанов с дистанционным управлением ствол скважины, выкидные линии, манифольды, райзеры и другие элементы быстро остывают.
- в) В процедуре управления барьерами **должны** быть отражены специальные требования, которые необходимо принять во внимание. Примеры приведены ниже.
- г) Чтобы обеспечить поддержание целостности скважины, в конце каждого этапа жизненного цикла скважины **должны** выполняться требования к документации, сертификации и проверке барьеров безопасности.
- д) Компания, ведущая работы на скважине, **должна** применять процесс контроля изменений для их учета и регистрации в списке требований к системе управления целостностью конкретной скважины или к общей системе управления целостностью скважин.
- е) Все выбранные материалы и оборудование, которые будут использоваться для создания барьера в скважине, **должны** быть проверены перед установкой в скважине в соответствии с проектом конструкции скважины.
- ё) Перед установкой элемента барьера безопасности его целостность **должна** быть проверена в соответствии с требованиями проекта конструкции скважины.

Требования к барьерам безопасности на этапе «Основы проектирования конструкции скважины»

1. Необходимо определить размеры и глубины установки (глубина по стволу и глубина по вертикали) всех трубных изделий и цемента (в том числе голова цемента), выступающих в качестве элементов барьера безопасности.

required or recommended elements to be constructed (including rework/repair) and verification tasks to be performed in order to achieve the intended design. It addresses any variations from the design which require a revalidation against the identified hazards and risks.

- d) The “**Operational Phase**” defines the requirements or recommendations and methods for managing well integrity during operation.
- e) The “**Intervention Phase**” (including work-over) defines the minimum requirements or recommendations for assessing well barriers prior to, and after, a well intervention which requires breaking the established well barrier containment system.
- f) The “**Abandonment Phase**” defines the requirements or recommendations for permanently abandoning a well.

Well Integrity Management System

The well operator should have a well integrity management system (WIMS) to ensure that well integrity is maintained throughout the well life cycle by the application of a combination of technical, operational and organizational processes.

The WIMS should address the following elements for the well operator’s well stock:

- risk assessment;
- organizational structure (roles, responsibilities, accountabilities and competencies);
- well barriers;
- performance standards;
- well barrier verification;
- reporting and documentation;
- management of change process;
- continuous improvement process;
- auditing.

Examples of “shall” statements

- a) The Well Operator **shall** define and document a barrier philosophy that includes barriers to formation fluids, injected fluids, lift gas and power fluids.
- b) The effects of temperature changes **shall** be taken into account, especially in subsea or arctic situations, since the wellbore, flow lines, manifolds, risers, etc., cool down quickly when remotely actuated valves are closed.
- c) Special considerations that **shall** be taken into account should be captured here, for example:
- d) At the end of each phase in the well life cycle, requirements for documentation, certification and verification shall be met to ensure that management of well integrity is maintained
- e) The Well Operator **shall** apply a management of change (MOC) process to address and record changes to integrity assurance requirements for an individual well or to the well integrity

Не рекомендуется проводить испытания под давлением в случае наличия в скважине зацементированного башмака.

2. Необходимо определить требования к процессу сбора данных при строительстве скважины; эти требования должны указывать, какие данные необходимо получить и какие действия необходимо предпринять во время строительства каждого участка скважины. Также эти требования должны указывать, требуется ли проведение исследований по оценке качества цемента, продолжительных испытаний на герметичность, исследований характера насыщения, гамма-каротаж и т.д.
3. При определении требований к конструкции скважины необходимо учитывать водоносные горизонты с коррозионно-активным флюидом, который может воздействовать на обсадную колонну/цемент и привести к коррозии внешней поверхности колонны-направления. Например, необходимо учитывать меры защиты от коррозионно-активного флюида из водоносного горизонта, специальные требования к цементированию скважины, изменения в конструкции обсадных колонн, требования к минимальной высоте подъема цемента и к комплексу необходимых геофизических исследований, а также стратегию ремонтно-изоляционных работ по цементированию.
4. Компания, ведущая работы на скважине, должна определить критерии эффективности элементов барьера безопасности. Критерии эффективности представляют набор показателей и квалификационных критериев, которые позволяют компании, ведущей работы на скважине, определять, проектировать, закупать и устанавливать требования проверки для всех отдельных элементов барьера безопасности, включая цемент.

Требования к барьерам безопасности на этапе «Строительство скважины»

Необходимо провести оценку качества цемента в соответствии с требованиями проекта конструкции скважины. Если цементировочные работы не соответствовали требованиям проекта конструкции скважины, необходимо рассмотреть возможность использования дополнительных альтернативных методов оценки барьера безопасности.

При составлении плана работ по установке элемента безопасности необходимо учитывать следующие данные, полученные до, во время и после цементирования (список ниже может быть дополнен):

- значительные поглощения при закачке цемента;
- значительные отклонения от плана цементировочных работ, такие как

management system.

- f) All selected materials and equipment that will be used to establish a well barrier **shall** be verified against the well program prior to installation in the well.
- g) When a WBE is installed, its integrity **shall** be verified in accordance with the requirements of the well program

Barrier requirements Basis of Design phase

1. Dimensions and depth labelling (TVD and MD) for all tubular goods and cement (including TOC) defined as WBEs, it is undesirable to pressure-test against a cemented shoe.
2. Identifying data acquisition requirements during the construction of the well; this should indicate what data and activities are required during construction for each well section, and specify whether a cement evaluation log, an extended leak-off test, a saturation log, gamma ray tests, etc., are required.
3. Corrosive aquifer casing/cementation and external corrosion protection of surface casing design considerations, e.g. corrosive aquifers that require corrosion controls during well construction, special cementing requirements, or changes to casing specification; cementing requirements, including minimum casing and plug cement heights and logging requirements, as well as the remedial cementing strategy;
4. The Well Operator should define well design performance standards for the WBEs. Performance standards are a set of specifications and qualification criteria that allows the Well Operator to define, design, procure and establish verification requirements for all the individual WBEs, including cement, that make up the well barriers.

Barrier requirements Construction phase

The cement should be evaluated in accordance with the requirements of the well program. If the cementing operation was not according to the requirements of the well program, the Well Operator should consider using additional alternative verification methods for the barrier.

Indications observed prior, during and after the cementing operation that can impact the plan for establishing a competent barrier element include, but are not limited to:

- substantial loss of returns while pumping cement;
- significant deviation from the cementing plan, such as inability to maintain the desired density of the slurry, use of less than designed volume of slurry, etc.;
- premature returns of cement slurry to surface;
- lift pressure of the cement, measured just prior to bumping the plug, which indicates the top of

- невозможность поддержания требуемой плотности раствора, использование раствора в меньшем объеме, чем предусмотрено проектом, и т. д.;
- преждевременный выход цементного раствора на устье;
 - давление подъема цемента, измеренное непосредственно перед посадкой пробки, что указывает на то, что высота подъема цемента в затрубном пространстве недостаточна для изоляции самой верхней зоны возможного притока;
 - приток жидкости до, во время или после цементирования;
 - избыточное давление в обсадной колонне;
 - механические повреждения во время цементирования, например, повреждения хвостовика/обсадной колонны, обратного клапана и цементного раствора;
 - плохое сцепление цемента с колонной по результатам исследований.

Проверка барьеров безопасности

1. Проверка барьера безопасности – это оценка соответствия барьера определенным критериям. Она включает (список может быть дополнен): функциональные испытания, испытания на герметичность, испытания на осевую нагрузку (растяжение и/или сжатие) и верификацию результатов моделирования.
2. Функциональные испытания – это проверка того, работает ли элемент или система по назначению. Испытания должны быть целесообразными и объективными, все результаты должны быть зафиксированы. Как правило, в процесс проверки барьеров безопасности входят следующие типы испытаний:
3. Опрессовка представляет собой повышение давления с помощью устьевого оборудования с целью проверки механической целостности и герметичности компонентов конструкции скважины.
4. Испытание на приток проводится с помощью естественного давления из удаленного источника, например, с помощью пластового давления.
5. Некоторые элементы барьера безопасности, возможно, придется проверять с помощью специального моделирования или типовых испытаний на стадии проектирования, поскольку эксплуатационные испытания могут оказаться непригодными или физически невыполнимыми. Примеры таких испытаний: испытания промежуточных обсадных колонн ударной волной, испытания на скорость закрытия внутрискважинного клапана-отсекателя, а также испытания спущенных обсадных колонн на герметичность в скважинах, где проведение опрессовки не рекомендуется из-за наличия зацементированного башмака. ©

- cement (TOC) is not high enough in the annulus to isolate the uppermost potential flow zone;
- fluid influx prior to, during, or after cementing;
 - excessive casing pressure;
 - mechanical failure during the cement job, e.g. liner/casing, float collar and cement head failures;
 - Poor cement bond log results.

Barrier verification testing

1. A verification test is a check whether or not a component meets its acceptance criteria. It includes (but is not limited to) function testing, leak testing, axial load testing (tension and/or compression) and modelling verification.
2. Function testing is a check as to whether or not a component or system is operating as intended. It should be realistic, objective, and the results recorded. It typically (but not exclusively) consists of empirical testing of
3. Pressure testing is the application of a pressure from a known source to ascertain the mechanical and sealing integrity of the component.
4. Inflow testing, or negative testing, utilizes pressure from a remote source such as reservoir or formation pressure.
5. Certain barrier elements may have to be verified by suitable modelling or type testing at the design stage, since operational testing may not be practical or achievable. Examples of such testing include wave load impact on conductors, slam closure rates for SSSVs and pressure rating of installed casings, where it is undesirable to pressure-test against a cemented shoe. ©

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. International Organization for Standardization (2017). Petroleum and natural gas industries – Well integrity – Part 1: Life cycle governance (ISO 16530-1). Geneva, Switzerland.
2. Nwafor G.C., (2019), "Understanding the Fundamentals of Well Integrity", Coiled Tubing Times Journal (CTT), Issue No.1 (068), June 2019; Page 14–23; ISSN 1817 – 3330, Coiled Tubing Times LLC, Russia. <http://www.cttimes.org/en/technology/nashi-publikatsii-otehnologiyah/understanding-the-fundamentals-of-well-integrity/>
3. Nwafor G.C., (2019), "Successful Cementing Operation: Key Well Design Parameters to Consider" Coiled Tubing Times Journal (CTT), Issue No.1 (067), March 2019; Page 28–33; ISSN 1817 – 3330, Coiled Tubing Times LLC, Russia. <http://www.cttimes.org/en/technology/nashi-publikatsii-otehnologiyah/successful-cementing-operation-key-well-design-parameters-to-consider/>
4. NORSOK standard D-010 (2004). "Well integrity in drilling and well operations". Rev 3, 2004.