

УДК 622.276

**Интеллектуальное заканчивание горизонтальных скважин в условиях высокопроницаемых расчленённых коллекторов с маловязкой нефтью**

Урванцев Р.В.

Тюменский Индустриальный Университет (625000, Уральский федеральный округ, Тюменская область, г. Тюмень, ул. Володарского, 38), e-mail: r.v.urvantsev@mail.ru

Процессы разработки нефтяных месторождений охватывают не только область пласта. Всё большую важность при разработке трудноизвлекаемых (ТРИЗ) и остаточных запасов приобретают особенности конструкции самой скважины и способы её заканчивания. Заканчиванием называется комплекс мероприятий по строительству скважины в области её контакта с продуктивным пластом. В 21 веке растёт доля ТРИЗ и растут требования, предъявляемые к конструкции скважины. Т.к. управлять процессом разработки становится всё труднее, то в настоящее время большую популярность приобретает концепция интеллектуального месторождения, характеризующаяся высокой степенью автоматизации процессов разработки. Одной из основ данной концепции является интеллектуальное заканчивание скважин. Такое заканчивание сопровождается поинтервальным вскрытием пласта и позволяет оптимизировать работу отдельных вскрываемых интервалов. Существуют различные системы заканчивания скважин: управляемые с поверхности клапаны и устройства с помощью электропривода и автономные устройства, работа которых не регулируется в режиме реального времени. Каждый из этих типов имеет ряд достоинств и недостатков. В данной статье рассматриваются основные типы интеллектуального заканчивания, а также их применимость в условиях разработки высокорасчленённого пласта с маловязкой нефтью.

**Ключевые слова:** нефть, скважина, пласт, интеллектуальное заканчивание.

**Intellectual completion of horizontal wells in conditions of highly permeable compartmentalized reservoirs with low viscosity oil**

Urvantsev R.V.

Tyumen Industrial University (625000, Ural Federal District, Tyumen region, Tyumen, Volodarskogo Street, 38), e-mail: r.v.urvantsev@mail.ru

The processes oil fields developing cover not only the area of the reservoir. The features of well design and the ways of completing it acquire increasing importance in the development of hard-to-recover and residual reserves. The completion is a set of measures for the well construction in the area of its connection with the productive layer. In the 21st century, the share of hard-to-recover reserves is increasing and the requirements for the well design are growing. Because the process of managing the development process becomes more difficult, then at the present time the concept of intellectual field is becoming very popular, characterized by a high degree of automation of the development processes. One of the foundations of this concept is the intellectual well completion. Such completion is accompanied by a selective formation exposing and allows to optimize the performance of individual intervals. There are various well completion systems: surface-controlled valves and devices using an electric drive and stand-alone devices whose operation is not regulated in real time. Each of these types has a number of advantages and disadvantages. This article presents the main types of intellectual completion, as well as their applicability in the conditions of development of a highly compartmentalized low-viscosity oil reservoir.

**Keywords:** oil, well, reservoir, intellectual completion.

**Введение**

Заканчивание является важным аспектом в процессе строительства скважины. Промысловый опыт свидетельствует, что качество выполнения и успешность работ на всех этапах строительства скважины в значительной степени влияет на её стартовые показатели, что также определяет дальнейшую динамику добычи. Эффективная работа призабойной зоны во многом зависит от того, насколько конструкция забоя соответствует геологическим



5. Клапаны поинтервального контроля притока (КПиК, англ.- ICV) – предназначены для управления притоком в отдельные интервалы скважины, либо стволы, в случае многозабойной скважины.

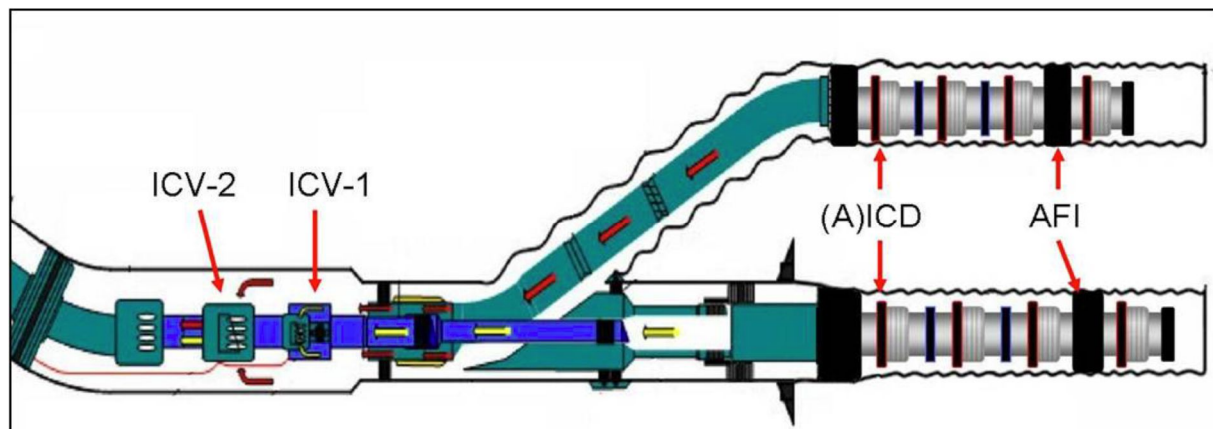


Рисунок 2 – Элементы секционного заканчивания

#### *Системы противопесочного заканчивания*

При заканчивании (освоении) и особенно при эксплуатации скважин, продуктивные коллекторы которых представлены слабосцементированными породами, часто наблюдается вынос песка. В скважине образуются песчаные пробки. По М. Маскету, при образовании песчаных пробок, проницаемость которых в 200 раз больше проницаемости пласта, дебит нефти тем не менее снижается на 34 %. Этот песок содержит до 5 % нефти, и при его удалении возникают проблемы — загрязняется окружающая среда; песок отлагается в трубопроводах, наземном оборудовании; идет его эрозия [1].

В настоящее время в мировой практике добывающие компании используют различные технологии для снижения выноса песка в добывающих скважинах (Рисунок 3). К ним относятся:

- искусственное закрепление горных пород вяжущими и цементирующими веществами,
- селективная или направленная перфорация,
- оборудование забоев механическими фильтрами (как с намывом гравия, так и по отдельности).

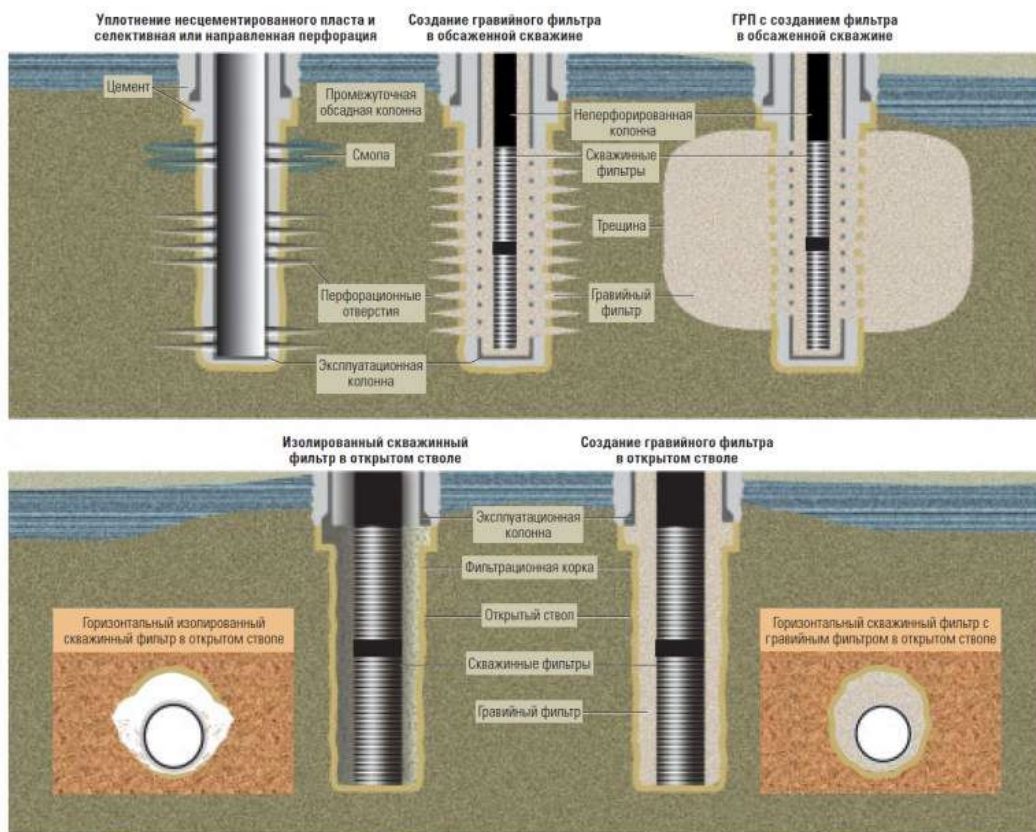


Рисунок 3 – Технологии контроля выноса песка из слабосцементированных коллекторов  
*Пассивные устройства контроля притока (УКП)*

Устройства контроля притока (УКП), которые также еще называют пассивными регуляторами притока (РП) из-за их пассивной природы контроля, предназначены для выравнивания притока в скважину и предотвращения раннего прорыва воды и газа. В состав таких устройств входит ограничитель потока, который создает дополнительный перепад давления, зависящий от объема поступающей жидкости: чем выше дебит, тем больше перепад давления. Таким образом, данное устройство ограничивает приток из высокопроницаемых участков, выравнивая фронт вдоль ствола скважины.

Типичная схема УКП показана на рисунке 4. Сначала добываемая жидкость проходит через экран или песчаный фильтр, затем попадает в специальный отсек, ограничивающий поток жидкости, и после этого уже поступает в основную колонну.

Можно выделить шесть основных типов ограничителя, используемых в настоящее время в нефтяной индустрии: лабиринтный, спиральный, пазовый, трубчатый, штуцерный, ограничитель в виде отверстий.

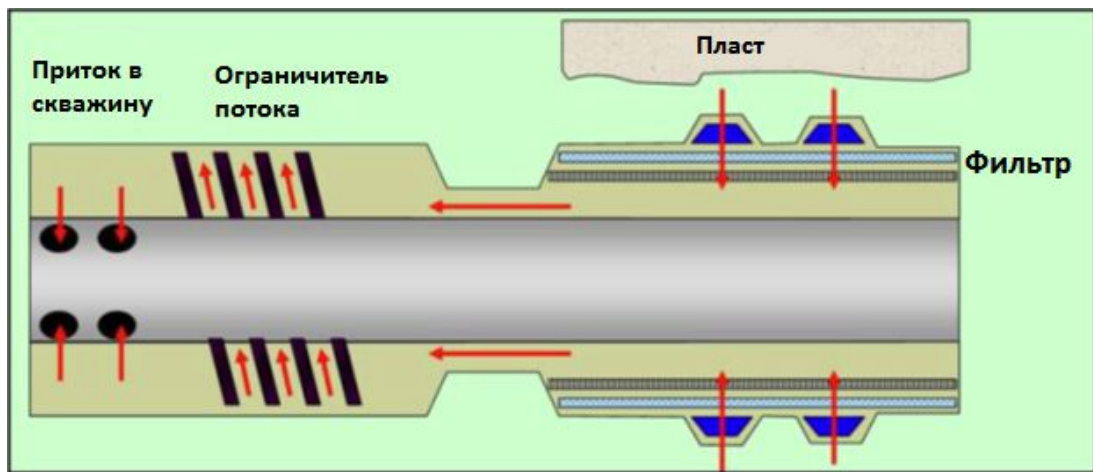


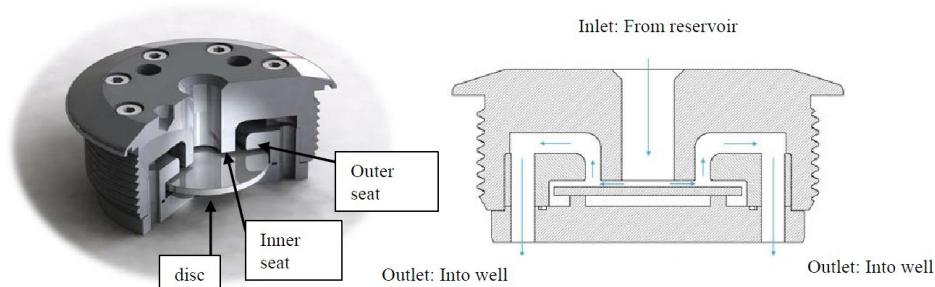
Рисунок 4 – Общая схема УКП [2]

### Автономные УКП (AICD) и их применение

Пассивные устройства контроля притока, безусловно, обладают рядом преимуществ перед обычной компоновкой. Однако у таких устройств есть ряд недостатков. Во-первых, они ограничивают приток в скважину, тем самым уменьшая начальные дебиты. Поэтому широкое применение пассивные УКП нашли, в основном, в высокопроницаемых залежах. Во-вторых, значительным критерием успешности применения УКП является правильное представление о фильтрационно-емкостных параметрах пласта как в призабойной зоне, так и в межскважинном пространстве. Однако такие данные, как правило, не доступны на начальной стадии разработки, существуют высокие риски и большая неопределенность. Наконец, эффективность пассивных устройств контроля существенно падает после прорыва воды или газа, поскольку подвижность воды (а тем более газа) значительно выше, чем у нефти, и перепад давления на самом устройстве уменьшается. После прорыва вода или газ продолжают поступать в скважину, тем самым ограничивая приток нефти из других секций скважины.

Автономные УКП, в отличие от пассивных устройств, способны ограничить приток именно нежелательной фазы после ее прорыва, не уменьшая начальный приток нефти в скважину [3].

На сегодняшний день известно два коммерческих продукта, успешно прошедших испытания в полевых условиях: RCP (Rate Control Product) клапаны компании Тендека [4, 5] и FD (Fluid Diode) компании Halliburton [6-8].





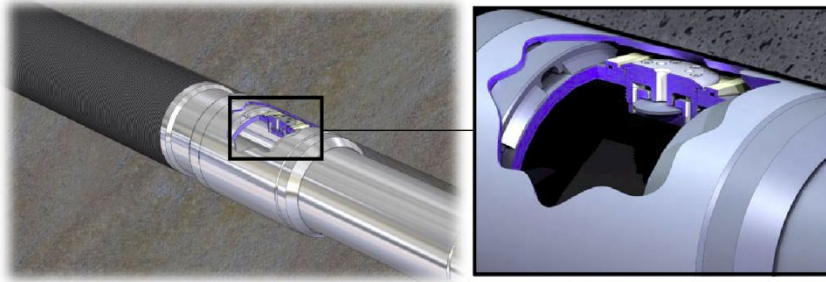


Рисунок 5 – RCP клапан [4]

Принцип действия клапанов RCP (Рисунок 5) основан на законе Бернулли, который указывает, что сумма статического, динамического давлений и потеря давления на трение равны вдоль пути движения жидкости:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \Delta p_{\text{friction loss}}$$

Такое устройство беспрепятственно пропускает жидкость с высокой вязкостью и ограничивает приток воды и газа (Рисунок 6).

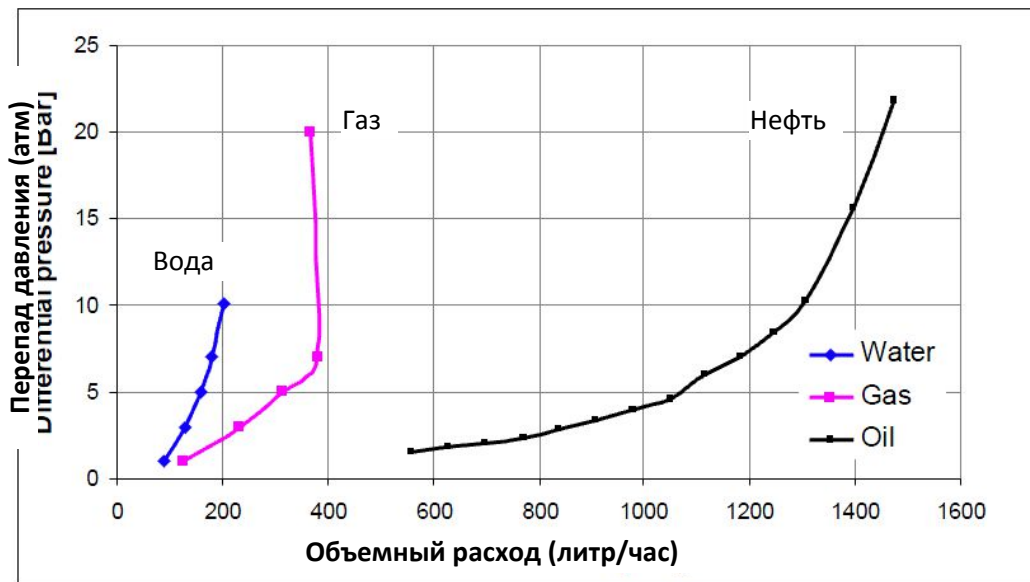


Рисунок 6 – Дополнительный перепад давления на клапане RCP в случае воды, газа и нефти [5]

Принцип действия клапанов FD (Рисунок 8) описан в работе [8]. Конструкция устройства позволяет высоковязкой нефти проходить напрямую внутрь эксплуатационной трубы, тогда как поток менее вязкой воды закручивается вокруг входного отверстия (Рисунок 7), создавая дополнительный перепад давления и уменьшая приток в скважину.

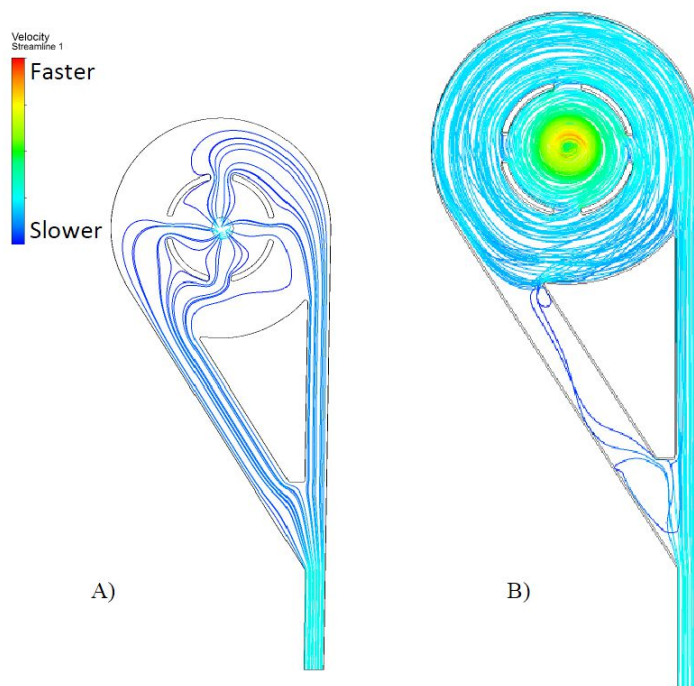


Рисунок 7 – Движение флюида через ограничитель FD: а) нефть, б) вода

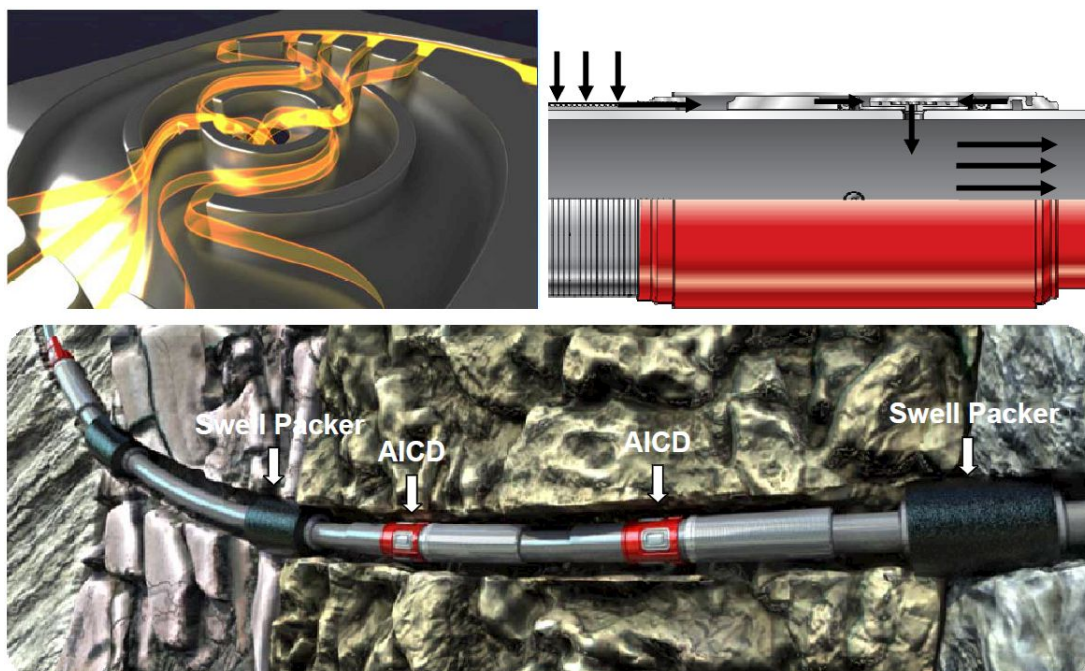


Рисунок 8 – FD клапан

### *Поинтервальные клапаны контроля (КПиК)*

Основа технологии интеллектуальных скважин - управляемые с поверхности скважинные клапаны, используемые для регулирования притока из отдельных зон или боковых стволов, и постоянные скважинные датчики температуры и давления [9].

Все КПиК можно разделить по двум критериям: гибкости и способу контроля.

По гибкости контроля можно выделить три основных типа КПК: двухпозиционные; с полностью открытой или закрытой позицией многопозиционные; клапаны непрерывного контроля.

Для контроля КПК с поверхности необходима контрольная линия. Существует несколько типов: гидравлическая; электрическая; смешанная; гидравлично-электрическая без контрольной линии.

Наиболее распространенным является применение гидравлических и электрических контрольных линий. Однако такие способы контроля накладывают ограничение на число клапанов. На сегодняшний день максимум 6 клапанов могут быть использованы в одной скважине [2].

Интеллектуальное заканчивание обеспечивает возможность входа в несколько коллекторов и их контроль с одним стволом, что существенно влияет на экономические показатели добычи углеводородов. Использование таких систем позволяет увеличить накопленную добычу нефти за счет переключения между зонами и продолжения добычи после прорыва нежелательной фазы в другую зону. Это обеспечивается перекрытием зон прорыва, не препятствуя продолжению добычи.

### **Заключение**

В условиях высокопроницаемых и расчленённых пластов поинтервальные устройства контроля притока могут быть использованы для совместной разработки отдельных пачек. В случае прорыва воды, обводненный интервал может быть изолирован без потери добычи из другого интервала. Пассивные УКП могут быть использованы для выравнивания притока вдоль ствола в монолитной части пласта, в случае неоднородности пластовых свойств, наличии уплотнённых или заглинизированных пропластков, наличии неравномерно распространенных вертикальных барьеров. Выравнивание притока позволит избежать раннего конусообразования, увеличит коэффициент охвата и продлит время работы скважины. Также, использование УКП позволит эффективней провести очистку ствола во время освоения и увеличить коэффициент вскрытия. Небольшая длина бокового горизонтального ствола (до 300 м.) и относительно низкие дебиты являются негативными факторами для использования УКП.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Клайв Беннетт Рик Дикерсон, Стив Купер. Компоновки для создания высокоэффективных гравийных фильтров в горизонтальных скважинах.
2. F.T.M. Al-Khelaiwi. A Comprehensive Approach to the Design of Advanced Well Completions, 2013.



3. Eltazy Khalid Eltaher, и др. Autonomous Inflow Control Valves - their Modelling and "Added Value", SPE-170780-MS, 2014.
4. Martin Halvorsen, и др. Increased oil production at Troll by autonomous inflow control with RCP valves, 2012.
5. Vidar Mathiesen, и др. Autonomous Valve, A Game Changer Of Inflow Control In Horizontal Wells, SPE-145737-MS, 2011.
6. Stephen Greci Brandon Least, Mike Konopczynski, Kim Thornton, Halliburton. Inflow Control Devices Improve Production in Heavy Oil Wells. paper SPE, 2013. 167414.
7. Brandon Least. Autonomous ICD Installation Success in Ecuador Heavy Oil: A Case Study. 2013.
8. Brandon Least, и др. The Theory of a Fluidic Diode Autonomous Inflow Control Device. SPE Middle East Intelligent Energy Conference and Exhibition, 28-30 October 2013, Manama, Bahrain.
9. Стивен Дайер и др. Интеллектуальное заканчивание: автоматизированное управление добычей. Нефтегазовое обозрение, 2008.